

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Mecánica

Tesis

**Optimización de la disponibilidad de la Chancadora  
Cónica HP 800 a través de una propuesta de  
mejora del plan y programa de mantenimiento de  
una empresa Minera en el sur del país**

Erik Yeferson Angulo Sanchez

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero Mecánico

Arequipa, 2025

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



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

**INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE  
INVESTIGACIÓN**

**A** : Decano de la Facultad de Ingeniería  
**DE** : MG. FRANK CESAR RAMOS CASTRO  
Asesor de trabajo de investigación  
**ASUNTO** : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación  
**FECHA** : 5 de Junio de 2025

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para informar que, en mi condición de asesor del trabajo de investigación:

**Título:**

Optimización de la Disponibilidad de la Chancadora Cónica HP 800 a través de una Propuesta de Mejora del Plan y Programa de Mantenimiento de una Empresa Minera en el Sur del País

**Autores:**

1. ERIK YEFERSON ANGULO SANCHEZ – EAP. Ingeniería Mecánica

Se procedió con la carga del documento a la plataforma “Turnitin” y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 15 % de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI  NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores SI  NO   
Nº de palabras excluidas (**en caso de elegir “SI”**):
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI  NO

En consecuencia, se determina que el trabajo de investigación constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad Continental.

Recae toda responsabilidad del contenido del trabajo de investigación sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos conducentes a Grados y Títulos – RENATI y en la normativa de la Universidad Continental.

Atentamente,

**La firma del asesor obra en el archivo original**  
(No se muestra en este documento por estar expuesto a publicación)

## **DEDICATORIA**

**A Dios**, por concederme la salud y la fortaleza necesarias para concluir mis estudios,  
así como por su misericordia y amor infinitos.

**A mi Esposa**, por acompañarme en cada paso, brindarme sus consejos y valores, y  
ofrecerme la motivación constante que me impulsó a alcanzar mis metas; sobre todo,  
gracias por su amor incondicional.

**A mis hijos**, por darme fuerzas, inspirarme y motivarme a culminar esta etapa.

## **AGRADECIMIENTO**

A todos los miembros de mi familia, a mis padres Q.E.P.D., por impulsarme a cumplir mis objetivos, para llegar hasta donde estoy ahora; a mis compañeros de trabajo, por su apoyo y soporte en cada etapa de este proyecto, por último, una gratitud profunda a la Universidad Continental, directivos y plana de docentes quienes fueron los principales autores de la formación recibida.

## ÍNDICE

DEDICATORIA.....	II
AGRADECIMIENTO.....	III
ÍNDICE.....	IV
ÍNDICE DE TABLAS.....	IX
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
RESUMEN.....	XIII
ABSTRACT.....	XIV
INTRODUCCIÓN.....	XV
CAPÍTULO I.....	16
PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO.....	16
1.1. Planteamiento y formulación del problema.....	16
1.1.1. Problema General.....	20
1.1.2. Problemas Específicos.....	20
1.2. Objetivos.....	21
1.2.1. Objetivo General.....	21
1.2.2. Objetivos Específicos.....	21
1.3. Justificación e importancia.....	21
1.3.1. Justificación Técnica.....	21
1.3.2. Justificación Económico.....	21
1.3.3. Justificación Social.....	22

1.3.4.	Importancia.....	22
1.4.	Hipótesis y descripción de variables .....	22
1.4.1.	Hipótesis General.....	22
1.4.2.	Hipótesis Específicos.....	23
1.4.3.	Descripción de Variables.....	23
1.4.4.	Operacionalización de variables.....	24
CAPÍTULO II .....		26
MARCO TEÓRICO.....		26
2.1.	Antecedentes de la investigación.....	26
2.1.1.	Antecedentes Internacionales .....	26
2.1.2.	Antecedentes Nacionales.....	28
2.2.	Bases teóricas .....	29
2.2.1	Chancado.....	29
2.2.1.1.	Chancadora HP – 800.....	30
2.2.1.2.	Componentes mecánicos de Chancadora HP – 800.....	34
2.2.2.	Definición de fallas mecánicas .....	35
2.2.3.	Tipos de fallas mecánicas.....	36
2.2.3.1.	Tipos de falla de la Chancadora HP – 800 .....	36
2.2.4.	Mantenimiento.....	37
2.2.5.	Estrategias del Mantenimiento .....	38
2.2.6	Tipos de Mantenimiento.....	39

2.2.6.1. Mantenimiento Preventivo .....	39
2.2.6.2. Objetivos del Mantenimiento Preventivo .....	40
2.2.6.3. Ventajas y Desventajas del Mantenimiento Preventivo .....	40
2.2.6.4. Mantenimiento Correctivo .....	41
2.2.6.5. Ventajas y Desventajas del Mantenimiento Correctivo .....	41
2.2.6.6. Mantenimiento Predictivo .....	42
2.2.6.7. Ventajas y Desventajas del Mantenimiento Predictivo .....	42
2.2.7. Disponibilidad.....	42
2.2.8. Indicadores de Mantenimiento .....	43
2.2.8.1. Indicador MTBF (Tiempo Medio Entre Fallas) .....	43
2.2.8.2. Indicador MTTR (Tiempo Medio para Reparar).....	43
2.3. Bases conceptuales .....	44
2.3.1. RCM Y AMEF .....	44
2.3.2. Trituradora de Mineral .....	45
CAPÍTULO III .....	47
METODOLOGÍA .....	47
3.1 Método, tipo o alcance de la investigación.....	47
3.2 Diseño de la investigación.....	48
3.3 Materiales y Métodos .....	48
3.4 Población.....	49
3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	50

3.6	Procedimiento.....	50
CAPÍTULO IV.....		53
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		53
4.1.	Presentación de resultados.....	53
4.1.1.	Análisis de situación actual del Plan y Programa de Mantenimiento, <i>Línea Base de Operación de la Chancadora HP 800 (Antes de la Mejora)</i> .....	53
4.1.2.	Indicadores de Mantenimiento (Promedio agosto – diciembre 2023).....	76
4.1.2.1.	Indicadores de Mantenimiento.....	76
4.1.3.	Análisis de Causa Raíz .....	78
4.1.4.	Validación de la Confiabilidad de los Datos Baseline mediante Alfa de Cronbach ..	80
4.1.5.	Análisis costos de perdida por inactividad operativa (agosto – diciembre 2023) .....	83
4.2.	Propuesta de Mejora del Plan y Programa de Mantenimiento .....	85
4.2.1	Plan de mantenimiento diario.....	87
4.2.2	Plan de mantenimiento semanal .....	90
4.2.3	Plan de mantenimiento mensual.....	93
4.2.4	Plan de mantenimiento anual .....	95
4.2.5	Procedimiento Escrito de Trabajo Seguro (PETS).....	100
4.3.	Indicadores De Mantenimiento .....	101
4.3.1	Cálculos de Disponibilidad después de la implementación del nuevo plan de	
4.3.2.	Cálculos y comparación del MTBF Y MTTR Antes y Después de la implementación del nuevo plan de Mantenimiento .....	107
4.3.3.	Análisis De Tendencia Y Estacionalidad Bajo El Concepto De Promedios Móviles.	109

4.3.4.	Comparación De Resultados Mediante Regresión Lineal .....	115
4.3.5.	Cálculos comparativos de reducción de costos por mejora de disponibilidad.....	124
4.4.	Discusión de Resultados.....	125
	Conclusiones .....	127
	Recomendaciones .....	128
	Referencias.....	129
	Anexos.....	133

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Costo total por incumplimiento de disponibilidad .....	19
Tabla 2. Matriz de operacionalización de variables .....	24
Tabla 3. Resumen de valores de la consecuencia.....	52
Tabla 4. Disponibilidad de la chancadora desde agosto a diciembre del 2023 .....	55
Tabla 5. Resumen de disponibilidad de la chancadora desde agosto a diciembre .....	57
Tabla 6. Fallas presentadas en el mes de agosto del 2023.....	62
Tabla 7. Tiempo de inoperatividad por actividad en agosto del 2023.....	63
Tabla 8. Fallas presentadas en el mes de septiembre del 2023 .....	65
Tabla 9. Tiempo de inoperatividad por actividad en septiembre del 2023.....	66
Tabla 10. Fallas presentadas en el mes de octubre del 2023 .....	68
Tabla 11. Tiempo inoperatividad por actividad en octubre del 2023.....	70
Tabla 12. Fallas presentadas en el mes de noviembre del 2023.....	71
Tabla 13. Tiempo de inoperatividad en noviembre del 2023 .....	72
Tabla 14. Fallas presentadas en el mes de diciembre .....	74
Tabla 15. Tiempo de inoperatividad por actividad en diciembre del 2023 .....	75
Tabla 16. Indicadores de mantenimiento (Promedio agosto – diciembre 2023).....	76
Tabla 17. Detalla la distribución mensual y fallas recurrentes.....	77
Tabla 18. Factores inmediatos.....	80
Tabla 19. Matriz de Cronbach.....	81
Tabla 20. Interpretación del alfa de Cronbach aplicado a la evaluación del mantenimiento de la chancadora HP 800 .....	82
Tabla 21. Pérdida económica estimada por inactividad operativa (agosto – diciembre 2023) .....	84
Tabla 22. Plan de mantenimiento diario, semanal, mensual y anual.....	86

Tabla 23. Disponibilidad de la chancadora de enero a marzo del 2024 posterior de la implementación .....	102
Tabla 24. Disponibilidad mensual de enero a marzo del 2023 después de la implementación .....	105
Tabla 25. Resumen de disponibilidad de la chancadora desde enero a marzo posterior de la implementación .....	106
Tabla 26. Horas paradas por mantenimiento no programado de enero a marzo del 2024	107
Tabla 27. Promedios móviles de las horas de inactividad de los meses de agosto a diciembre del 2023 divididos en 20 semanas .....	110
Tabla 28. Promedios móviles de las horas de inactividad de los meses de enero a marzo del 2024.....	112
Tabla 29. Tabla de Cálculos de error en el modelo de promedios móviles.....	114
Tabla 30. Regresión lineal de los meses de enero a marzo del 2024 dividido en 20 semanas con datos reales y predicciones .....	117
Tabla 31. Regresión lineal de los meses de enero a marzo del 2024 dividido en 12 semanas con datos reales y predicciones .....	118
Tabla 32. Tabla de horas hasta la falla y cálculos realizados para el análisis de Weibull.	122
Tabla 33. Ahorro económico estimado por mejora de disponibilidad (enero – marzo 2024 vs 2025).....	124
Tabla 34. Comparación de resultados antes y después de la propuesta de optimización.....	126

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Disponibilidad mecánica chancado secundario 2023 .....	18
Figura 2. Chancadora de cono Norbert HP - 800.....	31
Figura 3. Elementos rotatorios .....	32
Figura 4. Frase y Mainshaft.....	32
Figura 5. Conjunto de movimiento, ajuste y liberación inchancables .....	33
Figura 6. Estructura principal.....	34
Figura 7. Disponibilidad de la chancadora terciaria en agosto.....	58
Figura 8. Disponibilidad de la chancadora terciaria en septiembre.....	58
Figura 9. Disponibilidad de la chancadora terciaria en octubre .....	59
Figura 10. Disponibilidad de la chancadora terciaria en noviembre .....	60
Figura 11. Disponibilidad de la chancadora terciaria en diciembre .....	60
Figura 12. Porcentaje de inoperatividad del mes agosto del 2023 .....	64
Figura 13. Porcentaje de inoperatividad del mes de septiembre .....	67
Figura 14. Porcentaje de inoperatividad del mes de octubre.....	70
Figura 15. Porcentaje de inoperatividad del mes de noviembre.....	73
Figura 16. Porcentaje de inoperatividad del mes de diciembre.....	75
Figura 17. Se muestra la tendencia en el tiempo del MTBF y MTTR .....	77
Figura 18. Diagrama de Ishikawa .....	79
Figura 19. Interpretación de alfa de Cronbach.....	82
Figura 20. Plan de mantenimiento diario .....	88
Figura 21. Plan de mantenimiento semanal .....	91
Figura 22. Plan de mantenimiento mensual .....	94
Figura 23. Plan de mantenimiento anual .....	97
Figura 24. Check List del sistema hidráulico .....	99

Figura 25. Disponibilidad de la chancadora - enero.....	103
Figura 26. Disponibilidad de la chancadora -febrero .....	104
Figura 27. Disponibilidad de la chancadora - marzo .....	105
Figura 28. Comparación de MTBF .....	108
Figura 29. Reducción del MTTR .....	108
Figura 30. Gráfica de promedios móviles de los meses de agosto a diciembre .....	111
Figura 31. Gráfica de promedios móviles de los meses de enero a marzo del 2024.....	113
Figura 32. Gráfica de comparación de regresiones lineales entre ambas tablas.....	119
Figura 33. Gráfica de análisis de Weibull .....	123
Figura 34. Grafica de análisis de Weibull de horas de falla y orden de la falla.....	123

## RESUMEN

El presente proyecto aborda la optimización de la disponibilidad operativa de la Chancadora Cónica HP 800 en una empresa minera ubicada en el sur de Perú. El estudio propone un plan integral de mejora en el programa de mantenimiento, fundamentado en metodologías avanzadas como el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) y el Análisis Modal de Fallos y Efectos (AMEF).

El diagnóstico inicial reveló deficiencias en la gestión del mantenimiento preventivo y predictivo, con problemas críticos como fallas mecánicas recurrentes en componentes vitales, desgaste prematuro de *linners*, y obstrucciones en el sistema de lubricación e hidráulico. Estas deficiencias impactaron directamente los indicadores de mantenimiento, específicamente el MTBF (Tiempo Medio Entre Fallas) y el MTTR (Tiempo Medio para Reparar), generando tiempos de inactividad elevados y una baja disponibilidad operativa.

Los hallazgos del estudio proponen un programa de mantenimiento estructurado, que abarca cronogramas diarios, semanales, mensuales y anuales. Adicionalmente, se emplearon herramientas como el análisis de Weibull para estimar la vida útil de componentes clave, y regresión lineal para modelar y predecir la eficiencia post - implementación de las mejoras.

En conclusión, la propuesta no solo asegura una mayor confiabilidad y disponibilidad operativa del equipo, sino que también reduce los costos asociados a mantenimientos correctivos, incrementa la seguridad del entorno laboral y fomenta una cultura de mantenimiento basado en datos y estrategias avanzadas. Este enfoque puede elevar la disponibilidad operativa de la chancadora desde valores críticos hacia niveles superiores al 95%.

*Palabras clave: Análisis Modal de Fallos y Efectos (AMEF), Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF), Tiempo Medio para Reparar (MTTR), disponibilidad, confiabilidad, Gestión de mantenimiento.*

## ABSTRACT

This project addresses the optimization of the operational availability of the HP 800 Cone Crusher in a mining company located in southern Peru. The study proposes a comprehensive improvement plan for the maintenance program, grounded in advanced methodologies such as Reliability-Centered Maintenance (RCM) and Failure Mode and Effects Analysis (FMEA).

The initial diagnosis identified deficiencies in preventive and predictive maintenance management, highlighting critical issues such as recurrent mechanical failures in vital components, premature liner wear, and obstructions in the lubrication and hydraulic systems. These deficiencies directly impacted maintenance indicators, specifically MTBF (Mean Time Between Failures) and MTTR (Mean Time to Repair), resulting in elevated downtime and low operational availability.

The study's findings propose a structured maintenance program encompassing daily, weekly, monthly, and annual schedules. Additionally, tools such as Weibull analysis were employed to estimate the lifespan of key components, and linear regression was used to model and predict efficiency post-implementation of the improvements.

In conclusion, the proposal not only ensures greater reliability and operational availability of the equipment but also reduces costs associated with corrective maintenance, enhances workplace safety, and fosters a maintenance culture based on data and advanced strategies. This approach can elevate the crusher's operational availability from critical levels to values exceeding 95%.

*Keywords: Failure Mode and Effects Analysis (FMEA), Mean Time Between Failures (MTBF), Mean Time to Repair (MTTR), availability, reliability, maintenance management.*

## INTRODUCCIÓN

La eficiencia y confiabilidad de una chancadora cónica en la industria minera es crucial para garantizar la continuidad operativa y maximizar la producción. En este contexto, la Chancadora Cónica HP 800 emerge como una pieza fundamental en el proceso de trituración de mineral en una empresa minera ubicada en el sur del país. Sin embargo, su disponibilidad puede verse comprometida por diversas razones, desde fallos mecánicos hasta deficiencias en el plan y programa de mantenimiento. Por lo tanto, la optimización de la disponibilidad de esta chancadora se convierte en un objetivo primordial para mejorar la productividad y rentabilidad de la operación minera.

El presente estudio se enfoca en abordar esta problemática mediante una propuesta integral de mejora del plan y programa de mantenimiento de la Chancadora Cónica HP 800. Se parte del reconocimiento de la importancia estratégica de este equipo dentro del proceso productivo minero y se establece como objetivo principal incrementar su disponibilidad operativa. Para lograr este propósito, se plantea un enfoque sistemático que combina la revisión detallada de las prácticas de mantenimiento actuales con la identificación de áreas de mejora y la implementación de acciones correctivas específicas.

La investigación se desarrollará mediante un enfoque mixto que integra tanto métodos cualitativos como cuantitativos. Se llevará a cabo un análisis de la literatura existente del mantenimiento de chancadoras cónicas y optimización de disponibilidad en la industria minera. Además, se realizarán entrevistas a expertos en mantenimiento y operación de equipos mineros, así como con el personal técnico encargado del mantenimiento de la Chancadora Cónica HP 800 en la empresa objeto de estudio.

A través de este estudio, se espera generar conocimiento significativo que contribuya a mejorar las prácticas de mantenimiento de chancadoras cónicas en la industria minera, específicamente en lo que respecta a la optimización de la disponibilidad. Los resultados obtenidos no solo beneficiarán a la empresa minera en cuestión, sino que también podrán ser aplicados por otras compañías del sector para mejorar la eficiencia y rentabilidad de sus operaciones. En última instancia, este trabajo busca promover una cultura de mantenimiento proactivo y estratégico que permita enfrentar los desafíos operativos en un entorno minero cada vez más competitivo y exigente.

# CAPÍTULO I

## PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

### 1.1. Planteamiento y formulación del problema

La minería es un sector fundamental para el desarrollo económico de cualquier nación, ya que contribuye principalmente a la riqueza y sustentabilidad de las comunidades. Esta industria maneja grandes volúmenes de material, por lo que requiere equipos que funcionen ininterrumpidamente durante toda su vida útil. Sin embargo, al trabajar en condiciones extremas para cumplir los objetivos de producción, causan desgaste prematuro en sus componentes. Los desperfectos técnicos y los altos costos operativos son las razones principales para retirar el equipamiento minero, pues afectan la eficiencia y productividad esperada, incrementando los costos de operación debido al envejecimiento del equipo, lo cual implica mayores gastos para menores rendimientos (1).

En el Perú, los servicios de mantenimiento y aseguramiento de calidad son esenciales para el sector minero. SGS Perú ha destacado por sus servicios industriales, especialmente en mantenimiento preventivo y correctivo, así como en el aseguramiento de la calidad de proyectos mineros (2). La tendencia actual se inclina hacia la realización de mantenimientos programados que permiten a las plantas operar sin complicaciones y evitan mantenimientos correctivos innecesarios, por lo tanto, mejora la eficacia y productividad en la operación en esta industria.

En estudios similares, en Cajamarca, se observó “un problema relacionado con la disponibilidad de los equipos en la planta de chancado de una empresa minera. La implementación de un plan de mantenimiento preventivo bien estructurado logró mejorar la disponibilidad de los equipos”, incrementándola del 84.72% al 97.81%. Este plan incluyó el mantenimiento de equipos críticos como cintas transportadoras, zarandas y chancadoras, y resultó ser económicamente viable, generando ahorros significativos para la empresa (3).

De igual manera, en Arequipa, un estudio se centró en el “diseño de un sistema de gestión de mantenimiento preventivo para una chancadora cónica MP1000”. Este estudio identificó las áreas que requerían mayor atención y diseñó un sistema de mantenimiento basado en la metodología RCM y AMEF. El análisis de criticidad de

los sistemas de chancado mostraron que algunos sistemas eran críticos y necesitaban un enfoque especial en mantenimiento preventivo, lubricación, inspección y predictivo (4). La implementación de este sistema de gestión de mantenimiento mejoró la eficiencia y disponibilidad de la chancadora, demostrando la importancia de un mantenimiento bien estructurado en la industria minera

El presente proyecto se centra en optimizar la disponibilidad de la Chancadora Cónica HP 800 en una empresa minera en el sur de Perú. Actualmente, el plan de mantenimiento de esta chancadora no sigue las mejores prácticas de la industria, lo que resulta en fallos frecuentes y tiempos de inactividad prolongados. De esto, se derivan las principales causales de esta problemática:

- La falta de supervisión adecuada de los sistemas de lubricación e hidráulicos reduce la eficiencia del proceso y lo hace subóptimo.
- Por material (Desgaste, roturas, fatiga y variaciones en la mineralogía del material.)
- Errores humanos del personal de producción y mantenimiento debido a factores personales, falta de instrucción o capacitación
- Influencias externas atípicas que afectan al equipo

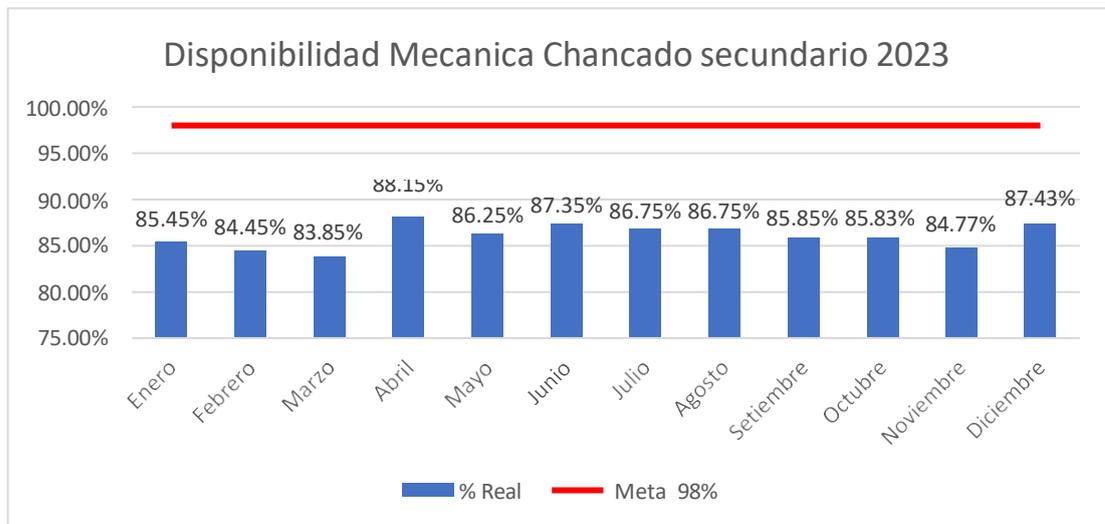
Por lo tanto, se ve necesario este proyecto que tiene como principal objetivo desarrollar una propuesta de mejora del plan y programa de mantenimiento, incluyendo acciones específicas para reducir el tiempo de inactividad y optimizar la disponibilidad del equipo, alineándose con las necesidades y exigencias de la industria minera actual.

En la operación de una empresa minera en el sur del país, se ha identificado que la chancadora cónica HP 800 presenta una baja disponibilidad debido a fallas recurrentes en su funcionamiento, tales como fallas mecánicas inesperadas, desgaste acelerado de piezas clave (críticos) y tiempos prolongados de detención para llevar a cabo mantenimiento correctivo. Estos inconvenientes impactan directamente la producción de la planta, generando pérdidas económicas significativas y reduciendo la eficiencia operativa de la operación.

En el periodo 2023, la planta de chancado secundario mostró una disponibilidad promedio del 86.07%. A continuación, se muestra el detalle del periodo 2023 en la Figura 1.

## Figura 1

### Disponibilidad mecánica chancado secundario 2023



Fuente: Elaboración propia

Nota: la imagen muestra la **disponibilidad mensual del área de chancado secundario durante el año 2023**, comparando el **porcentaje real alcanzado** (barras azules) frente a la **meta establecida del 98 %** (línea roja). Se muestra que en **ningún mes se alcanzó el objetivo**, siendo abril (88.15 %) el mes con la mayor disponibilidad, y marzo (83.85 %) el de menor desempeño. Esta tendencia evidencia una **brecha constante respecto al objetivo**, indicando la necesidad de reforzar acciones de mantenimiento y control para alcanzar los niveles deseados de disponibilidad operativa.

También, se realizó un análisis de costo de pérdidas que tuvo la empresa en el periodo 2023 por incumplimiento de la disponibilidad, basada en los datos de gráfica anterior obteniendo los siguientes resultados.

**Tabla 1**

*Costo total por incumplimiento de disponibilidad periodo 2023.*

Costo total por incumplimiento de disponibilidad									
Mes	Disponibilidad			TMS/día	TMS Perdidos	Libras Cu Perdidas	precio de la libra de cobre\$/ lb Cu	Pérdida mensual (USD)	Total, Perdida Mensual (USD)
	% Meta	% Real	Variación (%)						
Enero	98	85.45	12.55	60000	233430	2677442.1	3.79	10147505.6	10148205.6
Febrero	98	84.45	13.55	60000	235770	2704281.9	3.79	10249228.4	10249928.4
Marzo	98	83.85	14.15	60000	263190	3018789.3	3.79	11441211.5	11441911.5
Abril	98	88.15	9.85	60000	177300	2033631	3.79	7707461.49	7708161.49
Mayo	98	86.25	11.75	60000	218550	2506768.5	3.79	9500652.62	9501352.62
Junio	98	87.35	10.65	60000	191700	2198799	3.79	8333448.21	8334148.21
Julio	98	86.75	11.25	60000	209250	2400097.5	3.79	9096369.53	9097069.53
Agosto	98	86.75	11.26	60000	209436	2402230.92	3.79	9104455.19	9105155.19
Setiembre	98	85.83	12.15	60000	218700	2508489	3.79	9507173.31	9507873.31
Octubre	98	85.93	12.17	60000	226362	2596372.14	3.79	9840250.41	9840950.41
Noviembre	98	84.77	13.23	60000	238140	2731465.8	3.79	10352255.4	10352955.4
Diciembre	98	87.43	10.57	60000	196602	2255024.94	3.79	8546544.52	8547244.52
<b>Costo Total de Pérdida</b>									<b>113834956</b>

*Fuente:* Elaboración propia

Nota: Durante el año 2023, la disponibilidad mecánica real del sistema de chancado secundario se mantuvo por debajo de la meta operativa del 98 %, registrando valores promedio entre 83.85 % y 88.15 % mensuales. Esta brecha generó una pérdida acumulada de aproximadamente **2.47 millones de toneladas métricas secas (TMS)** de mineral que no fueron procesadas. Dicha pérdida se traduce en un total estimado de **29.18 millones de libras de cobre** no recuperadas, considerando la ley promedio de planta.

A un precio promedio de **3.79 USD por libra de cobre**, se estima que el impacto económico mensual oscila entre **7.7 y 11.4 millones de dólares estadounidenses**, totalizando una pérdida anual superior a **113 millones USD**. Estos valores evidencian la magnitud de las consecuencias económicas derivadas de una baja disponibilidad mecánica, validando la necesidad de una estrategia de mantenimiento más eficiente y proactiva.

Todos los calculo y datos obtenidos en base en los parámetros operativos del plan de producción anual 2023 de la empresa minera en el sur del país, que se estima un **tonelaje molido promedio de 2,600 toneladas por hora**, con una **ley de cobre de 0.585%** y una **recuperación metalúrgica de 88.97%**. A partir de estos valores, se calcula una producción de **425.83 kg/h de cobre fino**, equivalente a **937.98 libras por hora**.

Considerando un precio de cobre de **3.79 USD/libra** y un costo operativo total de **74.41 cUSD/libra**, se obtiene un **ingreso bruto por cobre de 113,065 USD/hora** y un ingreso neto (descontando costos) de **110,159 USD/hora**. Este valor representa la pérdida económica potencial por cada hora de paralización de una línea de chancado, y servirá como base para el análisis de impacto económico en la propuesta de optimización del mantenimiento.

#### **1.1.1. Problema General**

- ¿Cómo se puede optimizar la disponibilidad de la Chancadora Cónica HP 800 mediante una propuesta de mejora del plan y programa de mantenimiento en una empresa minera del sur del país?

#### **1.1.2. Problemas Específicos**

- ¿Cómo se puede realizar un análisis detallado del plan y programa de mantenimiento actual de la chancadora cónica HP 800 en una empresa minera del sur del país?
- ¿Qué acciones específicas deben incluirse en una propuesta de mejora del plan y programa de mantenimiento para optimizar la disponibilidad de la chancadora cónica HP 800?
- ¿Cómo se puede diseñar una propuesta de mejora del plan y programa de mantenimiento que incluya acciones correctivas para reducir el tiempo de inactividad de la chancadora?

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo General**

- Optimizar la disponibilidad de la Chancadora Cónica HP 800 a través de una Propuesta de Mejora del Plan y Programa de Mantenimiento de una Empresa Minera en el Sur del País

### **1.2.2. Objetivos Específicos**

- Realizar un análisis detallado del plan y programa de mantenimiento actual de la chancadora cónica HP 800 en la empresa minera del sur del país
- Desarrollar una propuesta de mejora del plan y programa de mantenimiento que incluya acciones específicas para optimizar la disponibilidad de la chancadora cónica HP 800
- Diseñar una propuesta de mejora del plan y programa de mantenimiento, que incluya acciones correctivas para reducir el tiempo de inactividad de la chancadora
- Determinar la disponibilidad posterior de la implementación de la propuesta de mejora del plan y el programa de mantenimiento en una empresa minera en el Sur del país

## **1.3. Justificación e importancia**

### **1.3.1. Justificación Técnica**

La optimización de la disponibilidad de la Chancadora Cónica HP 800 mediante una propuesta de mejora del plan y programa de mantenimiento es crucial desde un punto de vista técnico. La operación continua y eficiente de este equipo es vital para cumplir con los objetivos de producción en la empresa minera. Al realizar un análisis detallado del plan de mantenimiento actual y desarrollar una propuesta de mejora, se pueden identificar y corregir las fallas recurrentes y los puntos críticos del equipo, asegurando así su operación ininterrumpida y su rendimiento óptimo.

### **1.3.2. Justificación Económico**

Desde un punto de vista económico, la mejora del plan y programa de mantenimiento de la Chancadora Cónica HP 800 puede generar importantes ahorros. La reducción del tiempo de inactividad del equipo disminuye los costos operativos asociados a la reparación y reemplazo de piezas, así como los costos derivados de la pérdida de producción. Además, un mantenimiento más eficiente puede prolongar la

vida útil del equipo, reduciendo la necesidad de inversiones en nuevos equipos. Por lo tanto, esta propuesta tiene el potencial de mejorar la rentabilidad de la empresa minera.

Durante el año 2023, las desviaciones respecto a la meta de disponibilidad generaron pérdidas estimadas en más de \$113 millones. Este valor fue calculado en base al tonelaje promedio procesado, contenido metálico y precio de mercado del cobre. Además, la parada de una sola línea de producción del área de representa una pérdida económica de aproximadamente \$37,707 por hora, mientras que la de una chancadora HP800 equivale a cerca de \$18,854 por hora. Estos valores justifican la necesidad de optimizar la gestión de mantenimiento.

### **1.3.3. Justificación Social**

La optimización del mantenimiento de la Chancadora Cónica HP 800, también, tiene un impacto social positivo. Al asegurar una operación más eficiente y reducir los tiempos de inactividad, se contribuye a la estabilidad laboral de los trabajadores que dependen de la continuidad de las operaciones mineras. Por último, un mantenimiento adecuado, también, puede minimizar los riesgos de accidentes laborales, promoviendo un entorno de trabajo más seguro.

### **1.3.4. Importancia**

La importancia de este proyecto radica en su capacidad para mejorar la eficiencia operativa y la rentabilidad de la empresa minera. Al optimizar la disponibilidad de la Chancadora Cónica HP 800, se garantiza una mayor continuidad en la producción, lo cual es esencial para mantener la competitividad en el mercado minero. Además, este proyecto puede servir como modelo para otras empresas mineras que enfrentan desafíos similares con sus equipos, contribuyendo así a la mejora general de las prácticas de mantenimiento en la industria. Por último, la implementación exitosa de esta propuesta puede tener un efecto positivo en la economía local y en la seguridad laboral, subrayando la relevancia de este proyecto desde múltiples perspectivas.

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

### **1.4.1. Hipótesis General**

- La implementación de una propuesta de mejora del plan y programa de mantenimiento optimizará la disponibilidad de la Chancadora Cónica HP 800 en una empresa minera en el sur del país.

#### 1.4.2. Hipótesis Específicos

- Un análisis detallado del plan y programa de mantenimiento actual de la chancadora cónica HP 800 revelará áreas críticas que contribuyen a la baja disponibilidad de la máquina en la empresa minera del sur del país.
- El desarrollo de una propuesta de mejora del plan y programa de mantenimiento que incluya acciones específicas incrementará significativamente la disponibilidad de la chancadora cónica HP 800, “Aumentar la disponibilidad de 85% a  $\geq 95\%$  en el primer trimestre de prueba del nuevo plan de Mantenimiento”.
- La implementación de una propuesta de mejora del plan y programa de mantenimiento que incorpore acciones correctivas reducirá el tiempo de inactividad de la chancadora cónica HP 800, mejorando así su eficiencia operativa “Reduciendo el MTTR en un 50% al final del primer trimestre”.

#### 1.4.3. Descripción de Variables

- **Variable independiente:** Propuesta de mejora del Plan y Programa de mantenimiento
- **Variable dependiente:** Disponibilidad

#### 1.4.4. Operacionalización de variables

**Tabla 2**

*Matriz de operacionalización de variables*

Variable	Descripción	Dimensión	Indicador	Instrumento
<b>Independiente</b>	Esta proposición de mejora de la gestión de mantenimiento es un conjunto de estrategias y acciones diseñadas para optimizar la gestión y operación de los equipos en una organización.	Diagnóstico del equipo	Estado actual de cómo se encuentran los equipos	<i>Check List</i>
Propuesta de optimización de la gestión de mantenimiento	Implica evaluar el estado actual, identificar áreas de mejora y aplicar intervenciones específicas para aumentar la eficiencia y reducir el tiempo de inactividad del equipo.	Programa de mantenimiento de los equipos	Tiempo estimado de vida útil del equipo	Cronograma de mantenimiento
<b>Dependiente</b>	La disponibilidad es la medida del tiempo durante el cual un equipo o sistema está operativo y funcionando correctamente cuando se necesita. Se expresa como un porcentaje del tiempo total disponible en el que el equipo está en condiciones de realizar sus funciones requeridas, excluyendo el tiempo de inactividad por mantenimiento o reparaciones.	Tiempo medio entre Fallos	Indicador MTBF	$\frac{\text{Tiempo total disponible} - \text{Tiempo de inactividad}}{\text{N}^\circ \text{ de paradas}}$
Disponibilidad		Tiempo medio para reparar	Indicador MTTR	$\frac{\text{Tiempo total de reparación}}{\text{N}^\circ \text{ de paradas}}$

*Fuente:* Elaboración propia.

*Nota:* En la Tabla 2, la Matriz de operacionalización de variables es una herramienta clave para estructurar y definir cómo se medirán y evaluarán las variables dentro del estudio propuesto. En este caso, se presentan dos variables: la independiente (Propuesta de mejora del Plan y Programa de Mantenimiento) y la dependiente (Disponibilidad). Ambas son esenciales para evaluar el impacto de las mejoras en los procesos de mantenimiento de una organización.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes de la investigación

##### 2.1.1. Antecedentes Internacionales

En México, elaboraron un programa de conservación basado en las filosofías de mantenimiento productivo total y mantenimiento centrado en la confiabilidad, para mejorar las medidas de desempeño se debe mejorar el servicio prestado a los componentes físicos por parte del área de mantenimiento. Con la finalidad de mejorar el plan de mantenimiento y aumentar la productividad en el proceso de operación, es necesario mejorar la confiabilidad de las máquinas de producción de la empresa estableciendo y aplicando nuevas estrategias de mantenimiento, mejorando las condiciones de operatividad, sin olvidar la seguridad, haciendo una evaluación de los riesgos para conocer cuáles son los peligros y adoptar medidas para controlarlos con eficacia. Con el RCM centraremos la atención en maximizar la disponibilidad y desempeño de equipos, mientras que con el TPM lo que se hace es mejorar la calidad y aumentar la seguridad industrial, por lo que la decisión de la aplicación de cualquiera de estas metodologías en una organización agrega valor a toda la organización (5).

En China, mejoraron el rendimiento de corte con púa cónica, por ende, analizaron la posición de fractura de la placa de roca con un lado restringido por la pica para estudiar el efecto de las propiedades de la roca y los parámetros estructurales de la placa de roca sobre la fuerza de corte. Los resultados indicaron que la fractura de la placa de roca se produce principalmente en el lado restringido y en el centro de la placa de roca. La fuerza de corte de la pica cónica se ve afectada por los parámetros estructurales de la placa de roca y los lados de restricción del número de la placa de roca. La fuerza de corte aumenta obviamente con el aumento del espesor de la placa, la profundidad del punto de corte y la resistencia a la compresión uniaxial de la roca. Sin embargo, la influencia del número de lados de la restricción de la placa de roca es opuesta. Proporciona una base para mejorar el rendimiento de corte del pico y predecir la fractura de la placa de roca (6).

En Ecuador, realizaron un análisis de la situación actual del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) en la industria, así como mostrar en forma detallada

una metodología para su aplicación. Para complementar dicho objetivo, se realizó un análisis bibliográfico, para lo cual se consultaron las principales bases de datos que contienen literatura especializada sobre esta temática, además se realizó un estudio histórico lógico del surgimiento y evolución de este tipo de gestión de mantenimiento. Los resultados exponen las bases teóricas y fundamentan la gestión del mantenimiento centrada en la confiabilidad con respecto a los aspectos actuales, tradiciones y particularidades de la gestión eficiente del mantenimiento. Se detalló, además, el procedimiento para la elaboración del análisis de modos y efectos de fallas (AMEF), mostrando que tanto el procedimiento RCM como la metodología AMEF son sistemáticos y parten de una secuencia lógica, orientada a priorizar los equipos y reducir los costos de la actividad de mantenimiento en la medida que se crea una confiabilidad operacional (7).

En Colombia, proponen un diseño y la implementación del plan de mantenimiento preventivo en pequeñas industrias que empezaron en forma de proyectos familiares o de manera artesanal, las cuales no tuvieron la posibilidad de adoptar una estrategia de mantenimiento como el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM), que permite identificar los equipos más críticos, mediante un análisis de criticidad para el proceso y adoptar estrategias a fin de posibilitar la eliminación de la ocurrencia de fallas. La metodología empleada en esta investigación, que fue aprendida en los cursos de Mantenimiento del programa de Ingeniería Mecánica de la Universidad Libre, permitió generar formatos que facilitaron el manejo de los equipos y la visualización de la información. La microempresa, caso de estudio, cuya razón social se denomina Granitos y Mármoles Acabados SAS presta servicios de mantenimiento a todo tipo de piedra natural hace más de 20 años, sin efectuar ninguna estrategia de mantenimiento para sus equipos, por lo que, buscando optimizar métodos productivos contempló la necesidad de implementar la estrategia. El estudio se complementó con un análisis financiero: cálculo de ROI y TIR, que posibilitó la evaluación de la inversión en mantenimiento, no solamente como un gasto. La aplicación de procedimientos teóricos y analíticos permitió verificar que los servicios que presta la empresa tienden a volverse más eficientes, demostrando con cifras la retribución económica que genera un plan de mantenimiento para este sector en específico. El aporte de esta investigación a las investigaciones futuras radica en la elaboración de un plan de mantenimiento en empresas PYME que no han tenido esta

cultura técnica u operacional con los equipos, y que, a largo plazo, les genera un menor lucro cesante y una mayor productividad cuando se invierte en mantenimiento (8).

### **2.1.2. Antecedentes Nacionales**

En Cerro de Pasco, se desarrolló un plan de mantenimiento preventivo para una cantera, en el cual realizó un análisis crítico de los equipos de la empresa, en este caso, una trituradora de mandíbulas, un cono y una pantalla de fallas, de manera que un plan de mantenimiento preventivo plan de acción y plan de formación. Como resultado, pudo reducir el tiempo de inactividad por mantenimiento en 203 horas, con un tiempo de actividad promedio de 59 horas hasta la falla, nueve horas de tiempo de inactividad y 87% de disponibilidad. Finalmente, se realizó un análisis de costo-beneficio, que resultó en la implementación de un mantenimiento con una TIR del 54%, un período de recuperación de un año, siete meses y 23 días y un indicador de costo - Utilidad de S / 1.75, lo que podría demostrar que su propuesta era rentable para la empresa bajo análisis (9).

En Cajamarca, se tuvo como objetivo principal proponer un plan de mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad de los equipos en la planta de chancado. Con un enfoque aplicado y cuantitativo, no experimental, se implementaron planes y controles de mantenimiento que lograron aumentar la disponibilidad promedio de los equipos del 84.72% inicial al 97.81% durante el periodo de enero a octubre de 2020, representando un incremento del 13.54%. La jerarquización identificó 16 equipos críticos que requieren mantenimiento preventivo, como cintas transportadoras, zarandas y chancadoras, además de cinco equipos semi críticos y uno de baja criticidad. Económicamente, la propuesta de mantenimiento generaría ingresos de S/516,830.98 anualmente y S/43,069.24 mensualmente, demostrando su viabilidad. En conclusión, la implementación del plan de mantenimiento preventivo ha aumentado significativamente la disponibilidad mecánica de la planta de chancado, validando su viabilidad económica y operativa (3).

En Ancash, se implementó un programa de mantenimiento preventivo para reducir las paradas de equipos en la planta concentradora y mejorar la disponibilidad operativa con el fin de incrementar la productividad minera. Con un enfoque aplicado de investigación básica y diseño experimental mixto, se utilizó observación y entrevistas como técnicas de recolección de datos. Los resultados mostraron que la implementación aumentó la disponibilidad operacional de los equipos, mejorando las

horas de operación de 77.15% a 95.16% y el tonelaje diario procesado de 654.797 a 817.69 toneladas de mineral. Esto condujo a un incremento del 20.81% en la producción de concentrado de cobre con contenido de plata, de 13.307 a 16.081 toneladas por día. Además, la implementación del programa redujo las paradas no planificadas, beneficiando económicamente a la empresa y contribuyendo positivamente al ambiente al evitar derrames y contaminaciones (10).

En Apurímac, se desarrolló un plan de mantenimiento preventivo para mejorar la confiabilidad y disponibilidad de la chancadora. Se aplicó la metodología RCM, incluyendo el análisis de criticidad mediante FMEA, para identificar componentes críticos como los cojinetes y el sistema de sellos. Los resultados indicaron que los intervalos de mantenimiento preventivo recomendados, basados en el análisis de confiabilidad utilizando la metodología de Weibull, son de aproximadamente 350 horas para los cojinetes y 440 horas para los sellos. Este enfoque permite mantener operativa la chancadora de manera más efectiva, reduciendo paradas no planificadas y mejorando así la producción de la unidad Minera las BAMBAS en la Región Apurímac (11).

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1 Chancado**

El chancado es un circuito inicial para la obtención de concentrado de mineral, cuya función es la reducción de grandes trozos de rocas a fragmentos pequeños. Las chancadoras son las protagonistas de este circuito, generalmente trabaja en seco y se realiza en dos o tres etapas que son chancadora primaria, secundaria y ocasionalmente terciaria. Asimismo, la principal función del circuito de chancado es generar un producto de calidad granulométrica óptima para molienda, que es de 13 mm, para optimizar el consumo energético en molienda, así como disminuir la cantidad de cascajo y carga recirculante.

El área de chancado contiene máquinas configuradas de manera serial. Estas ejercen presiones entre elementos de gran capacidad a velocidades variables según sea el equipo en cuestión, la acción de chancar se aplica sobre la roca por un elemento móvil que se junta y se separa de un elemento fijo, la roca es sujeta y presionada entre estos dos elementos metálicos. Si las deformaciones de las rocas, producto del chancado producidas por las fuerzas aplicadas, no superan el límite elástico, entonces, no se producirá el chancado.

Por lo contrario, si se supera el límite elástico en los puntos donde se aplica la presión entre estos dos elementos (fijo y móvil) las que causan que la energía de deformación, corran hasta la superficie y las grietas se propaguen causando las fracturas de las rocas. Una vez que las rocas han sido fracturadas, los fragmentos caen según sea la medida del cierre entre elemento fijo y móvil hacia una faja transportadora que lo trasladará a una zaranda para su clasificación según la apertura de la malla utilizada, los finos que tienen la granulometría necesaria se destinan a molienda y los que no tienen aún la granulometría necesaria son destinados a la siguiente etapa de chancado o recirculan hasta obtener el producto en el tamaño necesario para tener una buena molienda.

Hay cuatro formas de reducir el tamaño de las rocas que son por compresión, impacto, deslizamiento y atrición (fricción):

- **Impacto**

Esto se aplica al impacto de un objeto móvil en el otro, cuando ambos sujetos se mueven e influyen, cuando se enfrentan a una exposición dinámica.

- **Fricción**

Se refiere a la reducción del tamaño de un material debido a la fricción entre dos superficies que son más duras que el material que se está mecanizando.

- **Deslizamiento**

Se trata de la reducción del tamaño del material mediante deslizamiento, que consiste en cortar el material a través de ranuras.

- **Compresión**

Las trituradoras suelen ser sometidas a compresión, como su nombre indica, trituración por compresión entre dos superficies, este método se suele utilizar en trituradoras de cono y mandíbulas.

#### **2.2.1.1. Chancadora HP – 800**

El chancador HP-800 es un tipo de trituradora de cono que comparte principios funcionales similares al chancador giratorio, aunque con diferencias clave en su diseño. A diferencia del chancador giratorio, el chancador de cono tiene un eje vertical más

corto y no está soportado por una araña. Además, el diseño del manto y cóncava es específicamente adaptado para operar con eficiencia en la trituración por compresión.

## Figura 2

*Chancadora de cono Nordberg HP - 800*



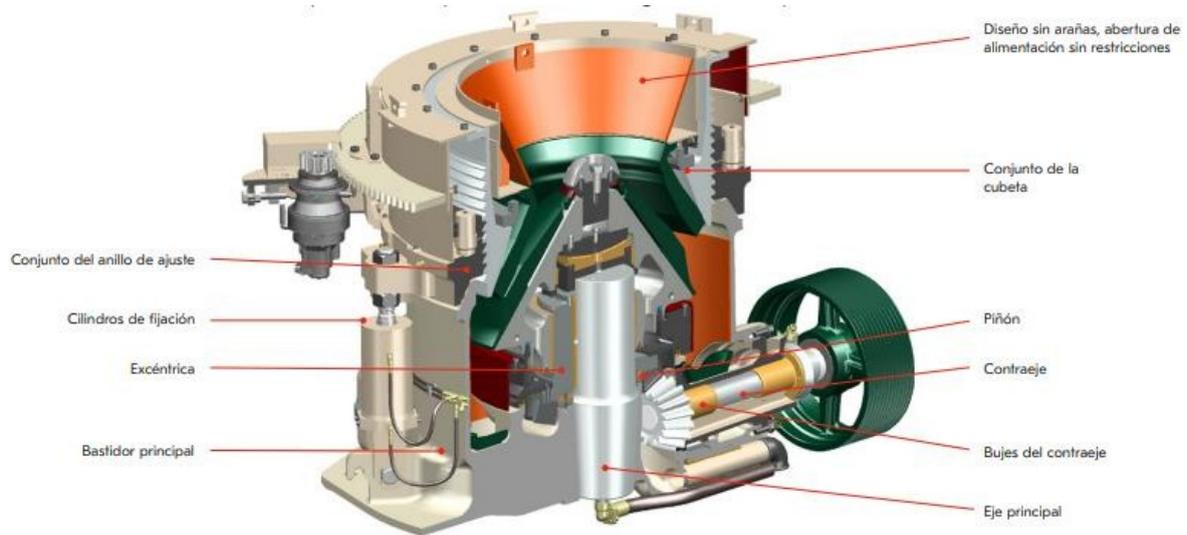
*Nota.* Tomado del Manual de Instrucciones Chancador de cono Nordberg HP – 800 (12)

La excéntrica del chancador de cono opera a velocidades considerablemente más altas que la del chancador giratorio, generalmente entre 700 y 1000 rpm. Este equipo debe ser analizado en cuatro secciones principales para entender sus partes fundamentales:

- Elementos Rotatorios: Incluye la cabeza, buje excéntrico, bujes, sellos, excéntrica, piñón-corona, mecanismo de accionamiento, soportes, tuerca de fijación y plato de alimentación.

### Figura 3

#### Elementos rotatorios

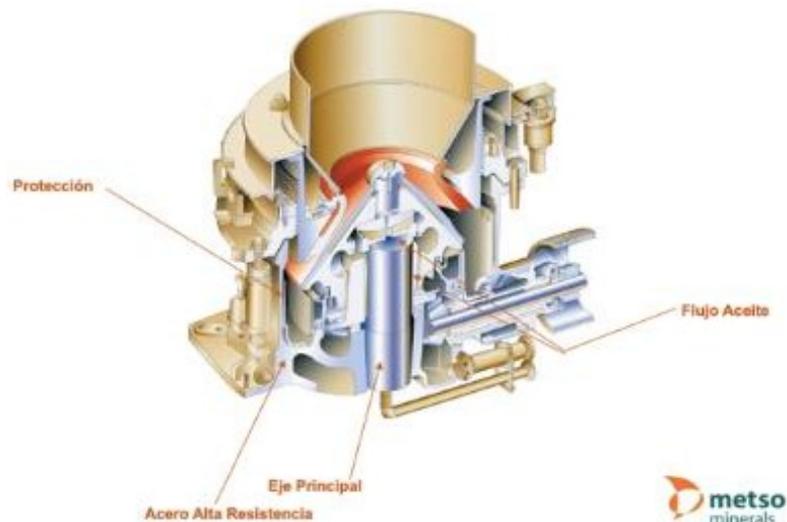


*Nota.* Tomado del Manual de Instrucciones Chancador de cono Nordberg HP – 800 (12)

- *Frame y Mainshaft:* Compuesto por el eje principal, protección y estructuras de acero de alta resistencia.

### Figura 4

#### Frame y Mainshaft



*Nota.* Tomado del Manual de Instrucciones Chancador de cono Nordberg HP – 800 (12)

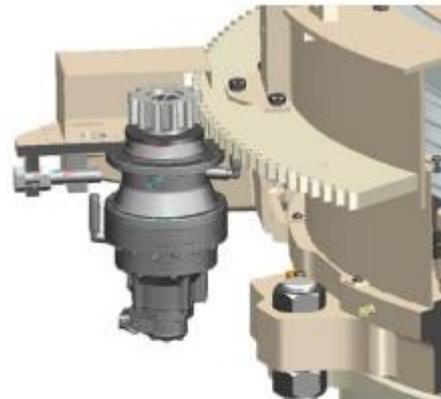
- *Movimiento, Ajuste y Liberación de Inchancables:* Involucra cuñas de fijación de la coraza, corazas, sistemas hidráulicos de despeje y motor.

## Figura 5

### Conjunto de movimiento, ajuste y liberación inchancables



Reactividad y recuperación instantánea en caso de sobrecarga gracias a los acumuladores conectados a los cilindros de liberación de trampas



Motor hidráulico para el ajuste de la configuración y la apertura de la chancadora para el servicio y el cambio de revestimiento

*Nota.* Tomado del Manual de Instrucciones Chancador de cono Nordberg HP – 800 (12)

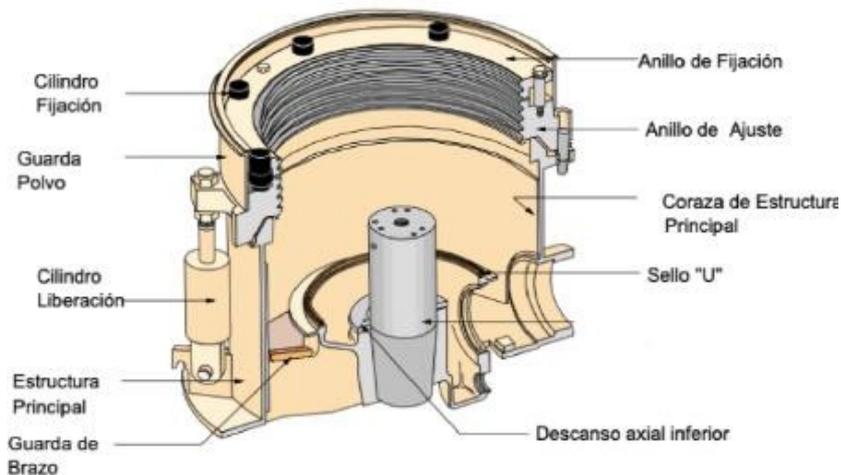
Cada sección, desempeña un rol crucial en la operación eficiente del chancador HP-800, asegurando tanto su durabilidad como su capacidad para manejar grandes volúmenes de material en entornos mineros exigentes.

La estructura principal del chancador, según se muestra en la Figura 1-8 del manual de Metso, está compuesta por varios componentes esenciales que garantizan su operación efectiva y duradera en entornos mineros exigentes. Incluye un anillo de fijación, anillo de ajuste, coraza de estructura principal, sello "U", descanso axial inferior, cilindros de liberación y cilindros de fijación.

Estos componentes desempeñan un rol crucial en el funcionamiento del chancador. Por ejemplo, el anillo de fijación y el anillo de ajuste aseguran la correcta posición y ajuste de las partes móviles, mientras que la coraza de estructura principal y las planchas circulares protegen la integridad de la estructura frente al constante impacto del mineral durante el proceso de chancado. Los cilindros de liberación y fijación permiten movimientos controlados y mantenimiento eficiente, contribuyendo así a prolongar la vida útil del equipo y reducir los tiempos de inactividad.

**Figura 6**

*Estructura principal*



*Nota.* Tomado del Manual de Instrucciones Chancador de cono Nordberg HP – 800 (12)

### **2.2.1.2. Componentes mecánicos de Chancadora HP – 800**

La Chancadora Nordberg serie HP 800 está compuesta por diversos componentes fundamentales que aseguran su funcionamiento eficiente y confiable. Entre estos componentes destacan:

- Bowl: Situado en la parte inferior del chancador, este componente alberga el material a ser triturado.
- Cabeza: Ubicada en la parte superior, contiene la cavidad de trituración donde se realiza el proceso de reducción del material.
- Conjunto de Excéntrica: Transmite el movimiento al conjunto de contra eje, facilitando la energía necesaria para la trituración.
- Conjunto de Contra Eje: Responsable de transmitir la energía al conjunto de piñón y eje principal, crucial para el proceso de trituración.
- Conjunto de Piñón y Eje Principal: Ejecuta la trituración del material mediante el movimiento inducido por el conjunto de excéntrica y contra eje.
- Carcasa del Chancador: Estructura de acero que protege los componentes internos del chancador y permite acceso para mantenimiento y reparaciones.

- Tolva de Alimentación: Recibe y distribuye uniformemente el material hacia la cavidad de trituración, garantizando un proceso eficiente.

Es esencial realizar revisiones periódicas y mantenimiento preventivo de cada uno de estos componentes para asegurar el óptimo funcionamiento de la Chancadora Nordberg serie HP 800. Utilizar piezas de repuesto originales y de alta calidad es fundamental para prolongar la vida útil del equipo y minimizar los costos asociados a reparaciones y tiempos de inactividad.

### **2.2.2. Definición de fallas mecánicas**

Las fallas mecánicas se refieren a eventos o procesos en los que un material o estructura no puede resistir una carga o condiciones de operación, resultando en deformación plástica o fractura. Estas fallas pueden originarse por diversas causas como cargas excesivas, deterioro por edad, fatiga cíclica o corrosión. Es crucial realizar inspecciones y mantenimiento adecuados para prevenir y detectar estas fallas antes de que se conviertan en problemas de seguridad (13).

Las fallas mecánicas se clasifican según su naturaleza y origen:

- Falla Gradual: Ocurre gradualmente debido al envejecimiento o desgaste, y puede preverse con mantenimiento preventivo o monitoreo.
- Falla Repentina: Ocurre de manera imprevista y no puede anticiparse con inspecciones regulares.
- Falla Parcial: Se presenta cuando hay una desviación en las características sin una pérdida completa de la funcionalidad requerida.
- Falla Completa: Resulta en la pérdida total de la funcionalidad de la entidad.
- Falla Catastrófica: Es una mezcla de falla completa e imprevista.
- Falla de Degradación: Inicia como una falla parcial y gradual que con el tiempo puede convertirse en una falla completa.

La tasa de fallas  $\lambda$  se define como la proporción de entidades que fallan dentro de un período  $[t; t+\Delta t]$ , después de haber funcionado correctamente hasta el momento "t".

### **2.2.3. Tipos de fallas mecánicas**

Las fallas mecánicas abarcan una variedad de tipos que reflejan distintas condiciones y causas subyacentes (13). A continuación, se detallan algunos de estos tipos:

- **Falla por Fatiga:** Ocurre cuando una estructura o componente experimenta cargas cíclicas repetidas, resultando en la formación y propagación de fisuras microscópicas que pueden llevar eventualmente a una fractura completa.
- **Falla por Sobrecarga:** Se presenta cuando una estructura o componente es sometido a una carga que supera su capacidad de resistencia, causando deformaciones plásticas significativas o incluso fracturas.
- **Falla por Corrosión:** Sucede cuando un material se deteriora debido a la exposición prolongada a agentes corrosivos como la humedad, productos químicos agresivos o ambientes salinos.
- **Falla por Desgaste:** Se produce por el desgaste gradual de un material debido al contacto repetido con otra superficie, resultando en pérdida de material y eventual deterioro funcional.
- **Falla por Deformación Plástica:** Ocurre cuando un material se deforma permanentemente debido a la aplicación de una carga que excede su límite elástico, sin llegar a la fractura, pero comprometiendo su integridad estructural.
- **Falla por Fragilidad:** Esta falla se caracteriza por la fractura súbita y sin advertencia previa de un material, generalmente debido a la presencia de defectos internos que debilitan su estructura.

#### **2.2.3.1. Tipos de falla de la Chancadora HP – 800**

La Chancadora HP-800, fundamental en operaciones mineras, puede experimentar varios tipos de fallas que impactan su desempeño y confiabilidad. Aquí se detallan los principales:

- **Fallas Mecánicas:** Ocurren cuando alguna parte de la chancadora se rompe o deforma, lo que puede interrumpir su funcionamiento normal.
- **Fallas Eléctricas:** Se presentan cuando componentes eléctricos como motores o interruptores fallan, afectando el proceso de trituración.

- Fallas Hidráulicas: Al depender de sistemas hidráulicos, cualquier fallo en estos puede resultar en la parada completa de la chancadora.
- Fallas de Lubricación: Una lubricación inadecuada puede acelerar el desgaste de las piezas críticas de la chancadora.
- Fallas en el Control de Proceso: Problemas en los sistemas de control pueden llevar a operaciones ineficientes o dañar los componentes.
- Fallas Estructurales: La integridad estructural de la chancadora es vital para resistir las cargas severas durante la trituración.

Estas fallas resaltan la necesidad de un mantenimiento preventivo riguroso y sistemas de monitoreo efectivos para asegurar la operación continua y segura de la Chancadora HP-800 en entornos mineros exigentes.

#### **2.2.4. Mantenimiento**

El concepto de mantenimiento ha evolucionado a lo largo del tiempo, reflejando cambios drásticos en las prácticas industriales y tecnológicas. Históricamente, el mantenimiento solía ser predominantemente reactivo, donde los equipos se reparaban solo después de haber fallado, resultando en tiempos de inactividad imprevistos y costosos. Sin embargo, con el avance hacia la era moderna de tecnología avanzada y decisiones informadas por datos, el enfoque hacia el mantenimiento ha cambiado radicalmente. Durante la Revolución Industrial, el mantenimiento era una actividad reactiva y poco planificada. Las organizaciones operaban sus equipos hasta que sufrían fallas, lo cual era frecuentemente riesgoso y poco eficiente. A medida que avanzaba el siglo XX, especialmente durante las guerras mundiales, se reconoció la importancia crítica del mantenimiento. Surgieron enfoques más sistemáticos como el Mantenimiento Productivo Total (TPM) y el análisis de la causa raíz, estableciendo bases para una gestión más estructurada. En la década de 1960, el mantenimiento preventivo ganó prominencia. Este enfoque implicaba programar inspecciones regulares, así como tareas de mantenimiento para identificar y corregir problemas potenciales antes de que condujeran a fallas. Aunque mejoró la confiabilidad de los activos, continuó siendo evidente la necesidad de optimización y planificación más avanzada en el mantenimiento (14).

### 2.2.5. Estrategias del Mantenimiento

Según Casáis, las estrategias de mantenimiento deben adaptarse a las necesidades operativas de cada instalación, buscando maximizar la disponibilidad de los equipos y reducir la inactividad (15). A continuación, se resumen las principales estrategias utilizadas en la industria.

- Estrategia Correctivo: Se aplica cuando los equipos fallan. Es viable para sistemas no críticos, ya que no implica consecuencias graves. Se basa en intervenciones reactivas y tareas básicas como inspecciones visuales y lubricación.
- Estrategia Sistemático: Consiste en intervenciones programadas según el tiempo de operación. Incluye tareas rutinarias, inspecciones, lubricación y reparaciones periódicas para prevenir fallas mayores.
- Estrategia Condicional: Se ejecuta solo cuando las condiciones del equipo lo requieren. Se basa en monitoreo y pruebas que determinan si es necesario intervenir. Permite actuar solo cuando se detectan desviaciones en el estado del equipo.
- Estrategia Predictivo: Evalúa el estado del equipo durante su funcionamiento normal o paradas naturales. Las intervenciones se planifican según resultados de pruebas técnicas, anticipando fallas sin necesidad de que existan síntomas visibles.
- Estrategia de Alta Disponibilidad: Dirigida a equipos críticos que deben operar con mínima inactividad. Según la norma SAE JA1011 y estudios en minería, se considera alta disponibilidad cuando supera el 90%. Se agrupan tareas de mantenimiento y reemplazo de componentes en paradas programadas como el “overhaul”.
- Estrategia de Alta Fiabilidad: Aplicada a equipos donde la confiabilidad es crucial, como chancadoras. Busca mantener un **MTBF superior a 150 horas**, evitando fallas mediante acciones preventivas avanzadas y rigurosas. Rango de Fiabilidad en la Industria Minera:
  - **Baja:** MTBF < 100 h
  - **Media:** MTBF entre 100 – 150 h
  - **Alta:** MTBF > 150 h

Para cuantificar la disponibilidad y la fiabilidad, lo hacemos mediante indicadores clave enfocados al mantenimiento:

- **Disponibilidad operacional:**

$$\text{Formula: Disponibilidad} = \frac{\text{MTBF}}{\text{MTBF} + \text{MTTR}} \times 100$$

**Dónde:**

- **MTBF** = Tiempo Medio Entre Fallas
- **MTTR** = Tiempo Medio de Reparación
- **Fiabilidad – MTBF (tiempo medio entre fallas)**

$$\text{Formula: MTBF} = \frac{\text{Tiempo total de operaci3n}}{\text{Numero de Fallas}}$$

## 2.2.6 Tipos de Mantenimiento

Los métodos de mantenimiento industrial son fundamentales para asegurar el óptimo desempeño de los equipos, la continuidad en la producción y la longevidad de las máquinas. Estas técnicas no solo previenen problemas operativos y el impacto financiero negativo durante las fallas, sino que también garantizan la excelencia operativa, la seguridad del personal y la competitividad de las industrias. Mantener máquinas en condiciones óptimas es crucial para cumplir con los plazos de producción de manera efectiva. Los tipos principales de mantenimiento incluyen el correctivo, preventivo, predictivo, overhaul (o cero horas), y en uso. La combinación de estos métodos asegura un funcionamiento continuo y seguro, minimizando paradas prolongadas y accidentes laborales, así como maximizando la eficiencia y la capacidad operativa de los equipos industriales (16).

### 2.2.6.1. Mantenimiento Preventivo

El mantenimiento preventivo se establece como un método confiable para administrar los equipos según un programa coherente para reducir la frecuencia de las averías. Según Emaint, el mantenimiento preventivo promueve la salud y la seguridad de los trabajadores, al tiempo que mejora la productividad y ahorra costos (17). Según Talva, algunos tipos de mantenimientos preventivos se realizan a intervalos regulares para medir la criticidad, mientras que otros se

basan en el uso y solo se toman medidas correctivas cuando las máquinas no alcanzan los parámetros aceptados. A diferencia del mantenimiento reactivo, el mantenimiento preventivo predice los fallos de los equipos mucho antes de que retrasen el resto de la cadena de producción. Este enfoque estratégico no solo maximiza la vida útil de los activos, sino que también reduce el tiempo de inactividad no planificado y mejora la eficiencia operativa en general, siendo una prioridad para muchas fábricas y empresas modernas que buscan optimizar su rendimiento (18).

#### **2.2.6.2. Objetivos del Mantenimiento Preventivo**

Los objetivos del mantenimiento preventivo son cruciales para extender la vida útil de una máquina y prevenir posibles errores antes de que afecten la producción. Según Mejía, este enfoque garantiza el correcto funcionamiento continuo de los equipos al programar intervenciones periódicas, evitando así paradas no planificadas que podrían interrumpir los procesos productivos de la empresa. Además, al anticiparse a posibles fallos, se reducen significativamente los costos de reparación, ya que se evita el deterioro progresivo que podría llevar a averías más graves o incluso a la pérdida total de la máquina. Este tipo de mantenimiento es especialmente crucial en sectores como la aviación, el ferrocarril o las centrales nucleares, donde la prevención de errores puede tener repercusiones críticas y potencialmente catastróficas (19).

#### **2.2.6.3. Ventajas y Desventajas del Mantenimiento Preventivo**

El mantenimiento preventivo, que implica la revisión sistemática y planificada de equipos para prevenir fallos debido al uso, desgaste o envejecimiento (20), ofrece diversas ventajas y desventajas que impactan en la operativa industrial.

En cuanto a las ventajas, destaca la capacidad de aumentar la vida útil de los activos al identificar y corregir problemas menores antes de que se conviertan en fallos graves. Esto no solo mejora la fiabilidad de los equipos, sino que también reduce los costos asociados con reparaciones mayores y las interrupciones imprevistas en la producción. Además, al regular los tiempos de operación de los activos, se optimiza la eficiencia energética y se minimizan los desperdicios, mejorando la calidad y consistencia de los productos finales (20).

Por otro lado, las desventajas incluyen el costo inicial significativo para implementar programas de mantenimiento preventivo, que requieren inversiones en tecnología, herramientas y formación especializada para el personal técnico. Además, mantener un programa riguroso puede llevar a realizar intervenciones de mantenimiento que podrían no ser siempre necesarias, aumentando los costos operativos y la complejidad de la gestión. Además, la inflexibilidad del mantenimiento preventivo, frente a cambios repentinos en las condiciones operativas, puede limitar su efectividad en entornos industriales dinámicos y adaptativos (20).

#### **2.2.6.4. Mantenimiento Correctivo**

El mantenimiento correctivo es fundamental y ampliamente reconocido en la gestión de equipos industriales. Consiste en intervenir para corregir o resolver problemas una vez que estos han ocurrido. Como señala Mejía: "Se refiere a las acciones tomadas para corregir o solucionar problemas con los equipos una vez que estos ya han ocurrido". Puede ser tanto no planificado, como una respuesta inmediata a una avería, o planificado, donde se realiza la reparación tras detectar un fallo durante una inspección rutinaria (19). A pesar de su aparente simplicidad y la ausencia inicial de requerimientos tecnológicos avanzados para la monitorización, depende exclusivamente de este tipo de mantenimiento puede llevar a una mayor inactividad del equipo y a costos de reparación más altos a largo plazo.

#### **2.2.6.5. Ventajas y Desventajas del Mantenimiento Correctivo**

Las ventajas del mantenimiento correctivo son evidentes en situaciones donde la simplicidad y la respuesta inmediata son cruciales. Según Toro, "no requiere de un plan o programación especial, se realiza cuando surge la necesidad". Esto lo hace ideal para organizaciones con recursos limitados o equipos menos críticos, ya que no implica costos adicionales en tecnología avanzada o personal especializado. Además, al no necesitar herramientas o tecnologías complejas, su ejecución es directa y no demanda una preparación extensiva. Sin embargo, estas ventajas vienen acompañadas de desventajas significativas: puede resultar en períodos prolongados de inactividad del equipo, lo que afecta la continuidad operativa y puede incrementar los costos a largo plazo debido a reparaciones más costosas y menos eficientes. La falta de

monitorización regular aumenta el riesgo de fallos graves no anticipados, lo cual puede comprometer la seguridad y la fiabilidad de los equipos. Además, sin una intervención proactiva, existe el riesgo de desgaste prematuro de los componentes, lo que afecta negativamente la eficiencia operativa y la vida útil de los equipos (14).

#### **2.2.6.6. Mantenimiento Predictivo**

El mantenimiento predictivo va más allá del mantenimiento preventivo al basarse en la monitorización continua de la condición actual de los equipos y la programación de tareas de mantenimiento cuando los indicadores sugieren una posible falla próxima (14). Utiliza tecnologías avanzadas como análisis de vibraciones, termografía y ultrasonidos para detectar anomalías, así como tomar decisiones informadas de mantenimiento.

#### **2.2.6.7. Ventajas y Desventajas del Mantenimiento Predictivo**

Las ventajas, el mantenimiento predictivo se destaca por su alta eficiencia gracias a la precisión de las intervenciones basadas en datos reales. Permite reducir el mantenimiento innecesario al actuar solo cuando es realmente necesario, lo cual no solo optimiza el uso de recursos, sino que también maximiza la vida útil del equipo al prevenir desgastes prematuros. Además, ofrece la capacidad de adaptarse a las condiciones cambiantes del equipo y su entorno operativo, minimizando las interrupciones y mejorando la disponibilidad operativa (14).

#### **2.2.7. Disponibilidad**

La disponibilidad de un equipo se refiere a la medida en que este puede desempeñar su función de manera satisfactoria durante un período específico después de haber pasado por un proceso de mantenimiento (21). Se expresa típicamente como un porcentaje del tiempo en el que el sistema está listo para operar o producir. La fórmula para calcular la disponibilidad es la siguiente:

$$Disponibilidad = \left( \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \right) \times 100\%$$

La disponibilidad mecánica, según los requisitos del cliente para contratos de mantenimiento, se define en función de las horas y la disponibilidad

garantizada durante un período determinado (22). Este indicador es crucial para asegurar que los equipos estén operativos cuando se los necesita, minimizando así el tiempo de inactividad y maximizando la eficiencia operativa.

La disponibilidad esperada tras la implementación del plan de mantenimiento optimizado es de **98.0 %**, alineada con el estándar operativo establecido en el plan de producción 2024 de la planta de chancado secundario. Esta meta se fijó considerando que la disponibilidad histórica promedio fue de 86.12 % en el 2023, y representa un objetivo alcanzable al aplicar acciones focalizadas sobre las fallas recurrentes identificadas mediante FMEA y RCM.

## **2.2.8. Indicadores de Mantenimiento**

Los indicadores de mantenimiento son herramientas esenciales para monitorizar y optimizar la gestión estratégica del sector de mantenimiento. Son fundamentales para evaluar la eficiencia operativa, prever fallos y mejorar la confiabilidad de los equipos (23). A continuación, se detallan dos de los indicadores más importantes

### **2.2.8.1. Indicador MTBF (Tiempo Medio Entre Fallas)**

El MTBF, acrónimo de Mean Time Between Failures o "tiempo medio entre fallas", es crucial para evaluar la fiabilidad de un equipo. Permite calcular el tiempo promedio que una máquina puede operar antes de presentar una falla que requiera reparación (23). El cálculo del MTBF se realiza dividiendo el tiempo total disponible por el número de fallos, proporcionando así una medida de la confiabilidad de la máquina.

$$MTBF = \frac{\textit{Tiempo total disponible} - \textit{Tiempo de inactividad}}{\textit{N}^\circ \textit{ de Paradas}}$$

Se espera alcanzar un **MTBF promedio de 150 horas** luego de la implementación del nuevo plan de mantenimiento. Este valor se basa en el estándar mínimo aceptable para equipos críticos de chancado en operaciones mineras, y representa una mejora respecto al MTBF observado en el 2023.

### **2.2.8.2. Indicador MTTR (Tiempo Medio para Reparar)**

El MTTR, conocido como Mean Time To Repair, indica el tiempo promedio que lleva reparar un equipo desde que se detecta la falla hasta que

vuelve a estar operativo (23). Este indicador es crucial para evaluar la eficiencia de los procedimientos de mantenimiento, ya que un MTTR bajo indica una rápida respuesta y reparación de fallos, lo cual es fundamental para minimizar el tiempo de inactividad y mantener la productividad.

$$MTTR = \frac{\textit{Tiempo total de reparación}}{\textit{N}^{\circ} \textit{ de Paradas}}$$

Se proyecta alcanzar un **MTTR de 4.0 horas**, lo que implica una reducción respecto al valor promedio de 7.4 horas observado en el análisis baseline. Esta mejora se logrará mediante una mejor planificación de recursos, disponibilidad de repuestos críticos y aplicación de protocolos de respuesta rápida establecidos en el plan RCM.

## 2.3. Bases conceptuales

### 2.3.1. RCM Y AMEF

**RCM** (Reliability-Centered Maintenance) o Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad a las chancadoras secundarias es un enfoque estratégico para optimizar el mantenimiento enfocándose en la confiabilidad operativa, la seguridad y el costo-beneficio. Elegimos la chancadora secundaria por su impacto en la producción y alta criticidad en el proceso de chancado.

**La AMEF** (Análisis Modal de Efectos y Fallos) es una herramienta muy útil para identificar, evaluar y mitigar los posibles fallos en un sistema o equipo antes de que ocurran. En el contexto de un plan de mantenimiento para una chancadora secundaria (común en plantas mineras para trituración de mineral), aplicar un AMEF permite mejorar la confiabilidad del equipo y evitar paradas no programadas que pueden resultar costosas.

Para cada modo de falla, se evalúa:

- **Severidad (S)**: Impacto del fallo (1–10)
- **Ocurrencia (O)**: Probabilidad de que ocurra (1–10)
- **Detección (D)**: Probabilidad de detectar el fallo antes de que ocurra (1–10)

$$NPR = S \times O \times D$$

Los modos con NPR más altos deben ser tratados con prioridad.

### **Definir Acciones de Mejora.**

Ejemplos de acciones:

- Implementar sensores de vibración para monitoreo en línea
- Aumentar frecuencia de inspecciones visuales y termográficas
- Rediseñar el plan de mantenimiento preventivo basado en condiciones
- Capacitar al personal técnico en diagnóstico predictivo

### **Seguimiento y Retroalimentación**

- Revisar regularmente la evolución de los modos de falla
- Ajustar el AMEF con base en datos reales (fallas ocurridas, horas MTBF)
- Actualizar el plan de mantenimiento según mejoras implementadas

#### **2.3.2. Trituradora de Mineral**

Es una máquina cónica que gira, impulsada por un sistema de transmisión de corona y piñón conectado a un motor eléctrico. Se emplea para triturar y mezclar minerales, operando mediante impacto y fricción: las bolas dentro del cilindro caen desde la parte superior y generan la reducción de tamaño por el golpe que producen.

- **Sistema eléctrico**

El sistema eléctrico de la chancadora HP 800 se encarga de suministrar y distribuir la energía necesaria al motor principal, los controles y los sensores del equipo. Su función es garantizar alimentación estable a todos los componentes eléctricos (motores, tableros de control, iluminación y sistemas de monitoreo) para que la chancadora opere de manera continua y segura.

- **Sistema de lubricación**

El sistema de lubricación de la chancadora HP 800 tiene dos propósitos principales: suministrar aceite para reducir la fricción y enfriar los componentes críticos. Su función esencial es evitar el contacto directo entre los bujes de

bronce y la superficie fija del eje excéntrico. Al mantener una película continua de aceite, se minimiza el desgaste y se asegura el movimiento suave y constante del manto durante la trituración.

- **Sistema de transmisión**

se compone de los componentes que transfieren la potencia del motor al eje excéntrico y al manto. Incluye el piñón, la corona y los cojinetes que soportan el movimiento. Estos elementos garantizan que el par motor se transmita de manera eficiente y estable, facilitando la rotación del manto y la trituración del mineral.

- **Tolvas de Alimentación y descarga**

Este sistema está diseñado para alimentar y descargar de mineral, la chancadora es alimentada por una zaranda a través de un Hopper. Una vez ingresado el mineral y procesado, este es descargado por la tolva de compensación hacia la faja transportadora.

## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA

#### 3.1 Método, tipo o alcance de la investigación

La investigación propuesta adoptará un enfoque cuantitativo experimental para abordar de manera exhaustiva la problemática de optimización de la disponibilidad de la Chancadora Cónica HP 800 en la empresa minera del sur del país. En este sentido, se emplearán métodos cualitativos como la revisión detallada de la literatura existente sobre mantenimiento de chancadoras cónicas y optimización de disponibilidad en la industria minera. Esta revisión permitirá obtener un panorama completo de las mejores prácticas, tendencias y desafíos en el mantenimiento de equipos similares, así como identificar lagunas en el conocimiento actual que podrían ser abordadas en la investigación.

Por otro lado, se utilizaron métodos cuantitativos, donde se recopilaron y analizaron datos empíricos obtenidos de la operación real del equipo, tales como los tiempos de inactividad, tiempos de reparación y frecuencia de mantenimiento preventivo. Estos datos fueron organizados en cuadros estadísticos (ver Tablas 11, 12, 13, 14 y 18), los cuales permitieron aplicar un análisis riguroso mediante indicadores como la disponibilidad, MTTR y MTBF, así como técnicas de promedios móviles y regresión lineal. Este análisis facilitó la identificación de patrones de falla, tendencias de mejora y permitió sustentar las propuestas de optimización del plan de mantenimiento sin establecer relaciones de causalidad directa, pero sí evidenciando correlaciones operativas significativas entre los indicadores evaluados.

En términos del tipo de investigación, se trata de un estudio aplicado que tiene como objetivo proporcionar soluciones prácticas y aplicables a un problema específico en el contexto de la industria minera. Es importante destacar que la investigación estará enmarcada dentro de un enfoque participativo, involucrando a diferentes actores relevantes dentro de la empresa minera, desde el personal técnico encargado del mantenimiento de la chancadora hasta los responsables de la toma de decisiones a nivel gerencial. Esta colaboración garantizará una comprensión profunda de las necesidades y desafíos específicos de la organización, así como una mayor aceptación y adopción de las recomendaciones propuestas.

En cuanto al alcance de la investigación, se centrará específicamente en la Chancadora Cónica HP 800 como objeto de estudio principal; sin embargo, se considerará su integración dentro del contexto operativo más amplio de la empresa minera. Esto incluirá la evaluación de la interacción y dependencia de la chancadora con otros equipos y procesos dentro de la planta de trituración, así como la consideración de factores externos como condiciones ambientales, disponibilidad de repuestos y recursos humanos. De esta manera, el alcance de la investigación abarcará no solo aspectos técnicos y operativos, sino también aspectos organizacionales y contextuales que puedan influir en la disponibilidad de la chancadora y en la efectividad de las medidas de mejora propuestas.

### **3.2 Diseño de la investigación**

El diseño de la investigación se fundamenta en un enfoque cuantitativa Experimental para abordar de manera integral la problemática de optimización de la disponibilidad de la Chancadora Cónica HP 800 en la empresa minera del sur del país. Por un lado, se realizará una revisión exhaustiva de la literatura existente sobre mantenimiento de chancadoras cónicas y optimización de disponibilidad en la industria minera, permitiendo identificar mejores prácticas y lagunas en el conocimiento actual. Por otro lado, se recopilarán y analizarán datos empíricos obtenidos de la operación real del equipo, tales como tiempos de inactividad, tiempos de reparación y frecuencia de mantenimiento preventivo, sometiéndolos a un análisis estadístico riguroso para identificar patrones y relaciones causales. Además, se llevarán a cabo entrevistas semiestructuradas con expertos en mantenimiento y operación de equipos mineros, así como con el personal técnico encargado del mantenimiento de la chancadora, para obtener información cualitativa sobre prácticas actuales, así como posibles áreas de mejora en el plan y programa de mantenimiento del equipo. Este enfoque integrador permitirá generar recomendaciones efectivas para mejorar la disponibilidad de la chancadora cónica y contribuir al aumento de la eficiencia en la operación minera.

### **3.3 Materiales y Métodos**

Para llevar a cabo la investigación sobre la optimización de la disponibilidad de la Chancadora Cónica HP 800 en la empresa minera del sur del país, se emplearán una serie de materiales y métodos que permitirán abordar de manera efectiva la problemática planteada. En cuanto a los materiales, se requerirá acceso a la documentación técnica relacionada con la chancadora, como manuales de operación y

mantenimiento, registros de mantenimiento previos, y cualquier otro documento relevante. Además, será necesario disponer de acceso a bases de datos académicas y científicas para la revisión de literatura relacionada con el mantenimiento de chancadoras cónicas y optimización de disponibilidad en la industria minera.

En cuanto a los métodos, se seguirá un enfoque mixto que combinará tanto métodos cualitativos como cuantitativos. Para el componente cualitativo, se realizarán entrevistas semiestructuradas con expertos en mantenimiento y operación de equipos mineros, así como con el personal técnico encargado del mantenimiento de la chancadora en la empresa minera. Estas entrevistas proporcionarán información detallada sobre prácticas actuales, desafíos operativos y posibles áreas de mejora en el plan y programa de mantenimiento del equipo. Para el componente cuantitativo, se recopilarán y analizarán datos empíricos obtenidos de la operación real de la Chancadora Cónica HP 800, tales como tiempos de inactividad, tiempos de reparación y frecuencia de mantenimiento preventivo. Los datos fueron analizados utilizando herramientas de Excel para identificar patrones, tendencias y posibles relaciones entre variables. Se organizaron en tablas y figuras que permitieron visualizar claramente la información, destacando frecuencias de eventos clave, como tiempos de inactividad y reparación. Este enfoque facilitó la identificación de puntos críticos de mejora operativa, proporcionando una base sólida para las recomendaciones propuestas. Las tablas y gráficos generados en Excel sirvieron como soporte visual y empírico para fundamentar las conclusiones, asegurando que las sugerencias se basaran en evidencia cuantitativa clara y accesible.

### **3.4. Población y Muestra**

#### **3.4.1 Población**

La población se entiende como el conjunto completo de unidades que comparten características relevantes para el estudio y de las cuales se extraen los datos. En este caso, la población está conformada por las seis chancadoras serie HP 800.

### 3.4.2. Muestra

La muestra está constituida por dos chancadoras HP 800, seleccionadas por presentar los mayores índices de inactividad y por ser representativas de las condiciones operativas de la planta. En esta investigación, la muestra sería 2 Chancadoras de **HP – 800 - 5** y **HP – 800 – 6**.

Se seleccionaron las chancadoras **HP800-5** y **HP800-6** por ser las más representativas del proceso terciario, al encontrarse en operación continua y registrar el mayor número de fallas correctivas durante el año 2023. Esta selección se basó en criterios de criticidad operacional, nivel de exposición al desgaste y accesibilidad para levantar información técnica y operativa

### 3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Las técnicas utilizadas para la realización de la investigación fueron la observación y la encuesta, y como instrumentos se emplearon la ficha de observación y el cuestionario.

- **La observación:** La observación directa implica examinar el objeto de estudio en su entorno natural sin intervenir ni modificarlo. Se recopilan datos simplemente observando cómo se comporta el equipo en su operación habitual.
- **Análisis documental:** Se obtiene datos de fuente primaria, el instrumento que se acostumbra a utilizar es la ficha de registro de datos.
- **Instrumentos:** Manual del equipo, fichas de registro
- **Análisis de datos:** Los datos que se analizaron son el control de horas por reparación o falla, disponibilidad mecánica de los equipos los cuales fueron analizados con el Microsoft Excel mediante tablas y gráficos.

### 3.6 Procedimiento

El procedimiento para el desarrollo de la presente investigación se realizó mediante 3 etapas: las cuales se describen de la siguiente manera. etapa de pre-campo, etapa de campo y etapa de post campo.

#### 3.6.1 Etapa de pre campo

En esta etapa, se realiza la revisión de antecedentes, estudios previos, realizados con referencia al tema en estudio el cual se da en diferentes ámbitos, tanto local, nacional como internacional, para lo cual se recurrió a los repositorios

virtuales de las distintas universidades, lo cual nos permita tener referencia con respecto al tema de mantenimiento preventivo para incrementar la disponibilidad mecánica de los equipos en la planta de chancado de una empresa minera.

### 3.6.2 Etapa de Campo

En esta etapa de campo, se logrará recolectar información con respecto a: manuales de mantenimiento de los equipos en estudio y recolección de información de tiempos de fallas y tiempos de reparación de los equipos de la planta chancadora los cuales servirán calcular la disponibilidad inicial o actual.

Para calcular el porcentaje de disponibilidad, utilizaremos la siguiente fórmula.  
% disponibilidad del equipo

$$Disponibilidad = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

**Donde.**

- **MTBF:** Es el tiempo promedio que es capaz de operar un o equipo, instalación dispositiva a una capacidad requerida sin interrupciones dentro de un periodo de tiempo.
- **MTTR:** Es el tiempo promedio en el que un equipo, puede ser reparado, desde que el equipo falló, hasta que el equipo es nuevamente puesto en servicio.

Con base en los porcentajes de disponibilidad obtenidos, se diseñó un plan de mantenimiento preventivo orientado a mejorar la operación de los equipos en la planta de chancado. Para cada máquina, se creó un formato de mantenimiento que especifica la frecuencia de las intervenciones y que se acompaña de un check list para verificar cada tarea. Además, se jerarquizaron los equipos de chancado mediante criterios de criticidad y consecuencias de falla, tal como se detalla en la tabla siguiente.

**Tabla 3**

*Resumen de valores de la consecuencia*

<b>VALOR</b>	<b>CONSECUENCIA</b>
1	A
2	A
3	B
4	B
5	C
6	C
7	D
8	D
9	E
10	E

*Fuente:* Elaboración propia

Nota: En la Tabla 3, el Resumen de Valores de la Consecuencia es un formato de clasificación de riesgos o impactos asociados a ciertos eventos, acciones o situaciones en un contexto organizacional o técnico. En este caso, se organiza una escala del 1 al 10, donde cada valor numérico corresponde a una consecuencia específica que aumenta en severidad o impacto a medida que los valores numéricos ascienden. Esta estructura facilita la evaluación de riesgos y la toma de decisiones con base en la gravedad de las posibles consecuencias.

### **3.6.3. Etapa de post campo**

En esta etapa, se digitalizaron y organizaron los datos recolectados en campo utilizando los programas Microsoft Word y Microsoft Excel. Además, se elaboraron tablas y gráficos que muestran los resultados obtenidos, permitiendo una identificación más precisa del aumento en la disponibilidad mecánica de los equipos en la planta de chancado de la empresa minera.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Presentación de resultados

##### 4.1.1. Análisis de situación actual del Plan y Programa de Mantenimiento, *Línea Base de Operación de la Chancadora HP 800 (Antes de la Mejora)*

Para este análisis, nos enfocaremos en el segundo semestre del 2023. Durante este periodo, las chancadoras en estudio enfrentaron una serie de desafíos que impactaron directamente en su disponibilidad operativa y rendimiento. Uno de los problemas críticos detectados fue la recurrencia de obstrucciones en los filtros de aceite, provocando un aumento notable en el diferencial de presión dentro del sistema de lubricación. Esta condición comprometió severamente la eficacia del proceso de lubricación, resultando en un desgaste prematuro de componentes vitales como los liners y afectando negativamente la integridad del sistema de trituración en general.

Además, se evidenciaron deficiencias en el funcionamiento de la bomba de lubricación, la cual mostró una disminución en su capacidad de flujo, tal como lo revelaron los registros operativos y de mantenimiento. Estas anomalías no solo redujeron la eficiencia del sistema de lubricación, sino que también contribuyeron notablemente a incrementar los tiempos de inactividad de la chancadora, impactando en la producción y los costos operativos.

Las acciones correctivas implementadas durante este periodo, según el plan de mantenimiento preventivo establecido, se centraron en inspecciones rigurosas y el reemplazo regular de filtros de aceite. Sin embargo, la persistencia de las fallas indicó claramente la necesidad urgente de una revisión a detalle del plan de mantenimiento, así como la implementación inmediata de estrategias avanzadas de monitoreo y diagnóstico para mejorar la confiabilidad operativa, así como reducir los efectos adversos sobre la producción.

Para abordar estas preocupaciones, se consideró crucial realizar análisis de causa raíz detallados, involucrando tanto al equipo de mantenimiento como a especialistas en ingeniería de procesos. Esto permitió identificar factores contribuyentes como la calidad del aceite utilizado, las condiciones ambientales de operación y posibles irregularidades en el ajuste de parámetros de operación críticos. Estos

hallazgos fueron fundamentales para desarrollar un plan de acción integral que no solo mitigara las fallas actuales, sino que también fortaleciera la base para un mantenimiento proactivo y predictivo más efectivo en el futuro cercano.

En consecuencia, se procederá a presentar la disponibilidad observada durante el mismo período para las chancadoras HP 800-5 y HP 800-6, encargadas del chancado terciario en la planta. Ambas unidades experimentaron una disponibilidad fluctuante, influenciada principalmente por los problemas recurrentes de lubricación y las fallas en componentes clave como los linners y el sistema hidráulico. Estas interrupciones afectaron directamente la capacidad de procesamiento de la planta, resultando en tiempos de inactividad no programados y un impacto en la producción general.

**Tabla 4**

*Disponibilidad de la chancadora desde agosto a diciembre del 2023*

<u>Agosto Chancado</u>			<u>Septiembre Chancado</u>			<u>Octubre Chancado</u>			<u>Noviembre Chancado</u>			<u>Diciembre Chancado</u>		
Terciario			Terciario			Terciario			Terciario			Terciario		
Fecha	Diario	% Acum.	Fecha	Diario	% Acum.	Fecha	Diario	% Acum.	Fecha	Diario	% Acum.	Fecha	Diario	% Acum.
1-Ago	51.85%	51.85%	1-Set	96.18%	96.18%	1-Oct	96.94%	96.94%	1-Nov	83.47%	83.47%	1-Dic	100.00%	100.00%
2-Ago	99.58%	75.72%	2-Set	93.06%	94.62%	2-Oct	77.36%	87.15%	2-Nov	96.46%	89.97%	2-Dic	100.00%	100.00%
3-Ago	98.61%	83.35%	3-Set	45.65%	78.30%	3-Oct	100.00%	91.43%	3-Nov	92.66%	90.86%	3-Dic	92.50%	97.50%
4-Ago	37.00%	71.76%	4-Set	71.97%	76.72%	4-Oct	96.53%	92.71%	4-Nov	98.13%	92.68%	4-Dic	100.00%	98.13%
5-Ago	40.76%	65.56%	5-Set	100.00%	81.37%	5-Oct	100.00%	94.17%	5-Nov	100.00%	94.14%	5-Dic	93.96%	97.29%
6-Ago	98.78%	71.10%	6-Set	100.00%	84.48%	6-Oct	83.43%	92.38%	6-Nov	88.54%	93.21%	6-Dic	19.56%	84.34%
7-Ago	87.47%	73.44%	7-Set	95.73%	86.08%	7-Oct	66.59%	88.69%	7-Nov	99.31%	94.08%	7-Dic	100.00%	86.57%
8-Ago	90.76%	75.60%	8-Set	91.67%	86.78%	8-Oct	93.52%	89.30%	8-Nov	96.47%	94.38%	8-Dic	100.00%	88.25%
9-Ago	99.31%	78.24%	9-Set	64.91%	84.35%	9-Oct	88.98%	89.26%	9-Nov	99.70%	94.97%	9-Dic	95.14%	89.02%
10-Ago	86.18%	79.03%	10-Set	96.41%	85.56%	10-Oct	100.00%	90.34%	10-Nov	69.19%	92.39%	10-Dic	84.92%	88.61%
11-Ago	89.31%	79.96%	11-Set	97.57%	86.65%	11-Oct	98.15%	91.05%	11-Nov	99.31%	93.02%	11-Dic	36.57%	83.88%
12-Ago	99.03%	81.55%	12-Set	95.02%	87.35%	12-Oct	88.03%	90.79%	12-Nov	1.27%	85.38%	12-Dic	94.31%	84.75%
13-Ago	100.00%	82.97%	13-Set	20.95%	82.24%	13-Oct	84.68%	90.32%	13-Nov	68.98%	84.11%	13-Dic	89.03%	85.08%
14-Ago	69.79%	82.03%	14-Set	82.57%	82.26%	14-Oct	96.18%	90.74%	14-Nov	95.83%	84.95%	14-Dic	86.57%	85.18%
15-Ago	83.91%	82.16%	15-Set	100.00%	83.45%	15-Oct	95.23%	91.04%	15-Nov	60.98%	83.35%	15-Dic	68.50%	84.07%
16-Ago	94.04%	82.90%	16-Set	88.77%	83.78%	16-Oct	34.79%	87.53%	16-Nov	92.70%	83.94%	16-Dic	87.65%	84.29%
17-Ago	94.79%	83.60%	17-Set	97.69%	84.60%	17-Oct	92.22%	87.80%	17-Nov	97.45%	84.73%	17-Dic	91.03%	84.69%
18-Ago	98.10%	84.40%	18-Set	95.14%	85.18%	18-Oct	88.31%	87.83%	18-Nov	86.09%	84.81%	18-Dic	97.22%	85.39%
19-Ago	91.17%	84.76%	19-Set	93.52%	85.62%	19-Oct	88.15%	87.85%	19-Nov	99.31%	85.57%	19-Dic	96.35%	85.96%
20-Ago	94.49%	85.25%	20-Set	90.14%	85.85%	20-Oct	66.01%	86.76%	20-Nov	91.44%	85.86%	20-Dic	90.20%	86.18%
21-Ago	91.85%	85.56%	21-Set	94.25%	86.25%	21-Oct	92.48%	87.03%	21-Nov	81.94%	85.68%	21-Dic	100.00%	86.83%
22-Ago	100.00%	86.22%	22-Set	66.32%	85.34%	22-Oct	87.22%	87.04%	22-Nov	88.63%	85.81%	22-Dic	84.84%	86.74%
23-Ago	52.01%	84.73%	23-Set	97.85%	85.89%	23-Oct	93.19%	87.30%	23-Nov	96.76%	86.29%	23-Dic	98.61%	87.26%
24-Ago	96.35%	85.21%	24-Set	80.39%	85.66%	24-Oct	85.57%	87.23%	24-Nov	54.19%	84.95%	24-Dic	96.99%	87.66%
25-Ago	100.00%	85.81%	25-Set	87.27%	85.72%	25-Oct	80.35%	86.96%	25-Nov	100.00%	85.55%	25-Dic	66.57%	86.82%
26-Ago	94.59%	86.14%	26-Set	99.54%	86.25%	26-Oct	85.12%	86.89%	26-Nov	100.00%	86.11%	26-Dic	89.54%	86.93%
27-Ago	88.10%	86.22%	27-Set	51.96%	84.98%	27-Oct	85.31%	86.83%	27-Nov	48.15%	84.70%	27-Dic	87.57%	86.95%
28-Ago	88.55%	86.30%	28-Set	100.00%	85.52%	28-Oct	94.91%	87.12%	28-Nov	83.00%	84.64%	28-Dic	82.43%	86.79%
29-Ago	85.97%	86.29%	29-Set	88.87%	85.26%	29-Oct	86.53%	87.10%	29-Nov	85.00%	84.65%	29-Dic	93.54%	86.56%
30-Ago	100.00%	86.75%	30-Set	91.97%	85.85%	30-Oct	45.83%	85.72%	30-Nov	88.00%	84.77%	30-Dic	99.31%	87.43%
						31-Oct	89.13%	85.83%						

*Fuente:* Elaboración propia

*Nota.* La tabla está organizada por meses (agosto a diciembre) y muestra la **disponibilidad mecánica diaria y acumulada** de la Chancadora. Para cada día del mes, se presentan dos columnas:

- **Diario (%):** Este valor representa la **disponibilidad mecánica de ese día específico**. Es decir, qué porcentaje del tiempo programado para operar el equipo fue efectivamente aprovechado sin fallas ni paradas.
- **Acum. (%):** Es el **promedio acumulado de la disponibilidad** desde el primer día del mes hasta ese día específico. Este valor **se actualiza diariamente** y permite observar la tendencia promedio de la disponibilidad conforme avanza el mes.

### ¿Cómo se calcula el promedio diario mensual?

El **promedio mensual de disponibilidad** se obtiene al finalizar el mes y equivale al último valor registrado en la columna “% Acum.”.

### Ejemplo:

- Para **agosto**, el valor final en la columna “% Acum.” del 30 de agosto es **86.75%** → este es el **promedio mensual** de disponibilidad de ese mes.
- Para **septiembre**, el valor al 30 de septiembre es **85.56%**, que representa su promedio mensual.

### ¿Qué se está acumulando?

No se está acumulando una suma de tiempos, sino que se calcula un **promedio progresivo**. El valor de la columna “% Acum.” para un día “n” se calcula así:

$$\text{Promedio acumulado día } n = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Disponibilidad diaria}_i}{n}$$

## ¿Para qué sirve este enfoque?

- **Identificar tendencias:** Si el promedio acumulado sube o baja a lo largo del mes, indica si la operación está mejorando o deteriorándose.
- **Comparar con la meta:** La empresa tiene una meta del 98% de disponibilidad. Comparar el promedio acumulado con este valor permite saber si están cumpliendo los estándares.

**Tabla 5**

*Resumen de disponibilidad de la chancadora desde agosto a diciembre*

Muestra últimos 5 meses del 2023	Disponibilidad		
	Real	Meta	Variación
Agosto	86.75%	98.00%	11.26%
Setiembre	85.85%	98.00%	12.15%
Octubre	85.83%	98.00%	12.17%
Noviembre	84.77%	98.00%	13.23%
Diciembre	87.43%	98.00%	10.57%
	86.12%	98.00%	11.88%

*Fuente:* Elaboración propia

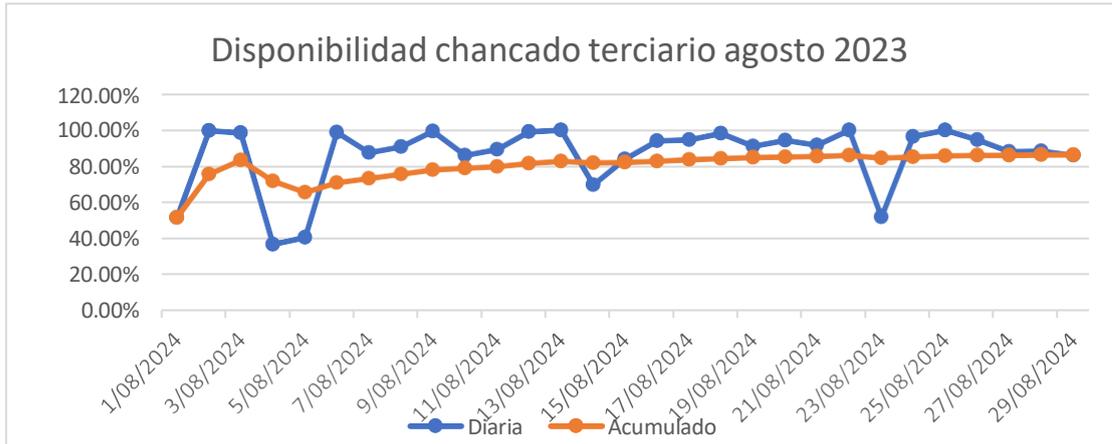
*Nota.* En la tabla se muestra un resumen de los resultados de nuestro análisis a "Disponibilidad Real" es el porcentaje alcanzado en cada mes. La "Meta" es la disponibilidad objetivo del 98%. La "Variación" muestra la diferencia entre la disponibilidad real y la meta de cada mes. Durante los últimos cinco meses de 2023, la disponibilidad real de la empresa ha sido inferior a la meta del 98%. El promedio de la disponibilidad real fue del **86.12%**, con una variación promedio de **11.88%** respecto al objetivo. El **Mes con mejores resultados:** Diciembre alcanzó la mayor disponibilidad real con **87.43%**. El **Mes con peor resultado:** Noviembre tuvo la menor disponibilidad real con **84.77%**. La **variación** entre la disponibilidad real y la meta varió entre **10.57%** y **13.23%** a lo largo de los meses. En resumen, aunque hubo ciertos altibajos, la disponibilidad real se mantuvo por debajo del objetivo establecida de 98%, siendo esto la principal problemática del área de mantenimiento

A continuación, procedemos a presentar las gráficas que muestran la disponibilidad diaria y acumulada de la chancadora HP 800-5 y HP 800-6 durante el

período de agosto a diciembre de 2023. Estas gráficas permitirán una visualización clara de las fluctuaciones en la disponibilidad operativa de las unidades de chancado terciario a lo largo del tiempo, destacando los picos y valles que reflejan los períodos de operación efectiva y los momentos de inactividad.

**Figura 7**

*Disponibilidad de la chancadora terciara en agosto*

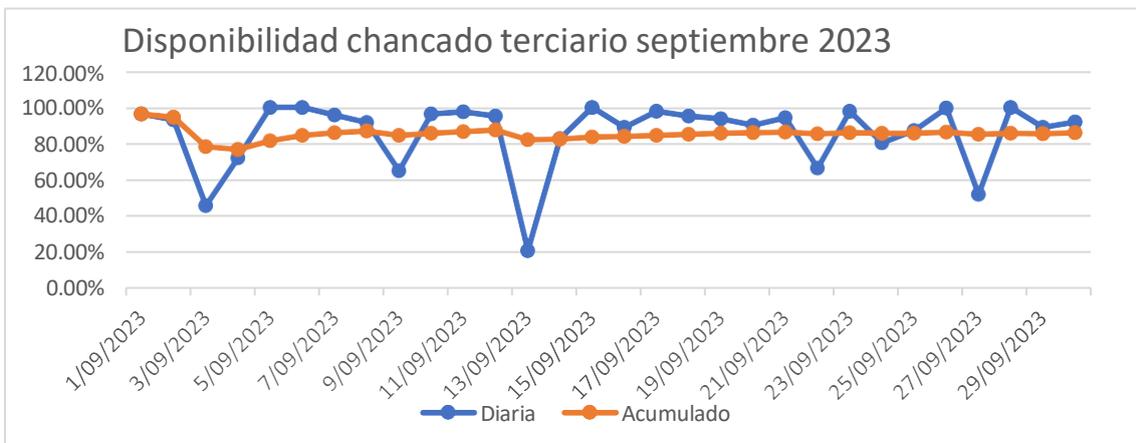


Fuente: Elaboración propia.

Nota: En agosto de 2023, la chancadora terciaria mostró alta disponibilidad al inicio, pero con caídas notables el 7 y 15 de agosto. La disponibilidad diaria fue variable, mientras que la acumulada se mantuvo estable alrededor del 90%, reflejando un rendimiento general aceptable pese a fallas puntuales.

**Figura 8**

*Disponibilidad de la chancadora terciara en septiembre*

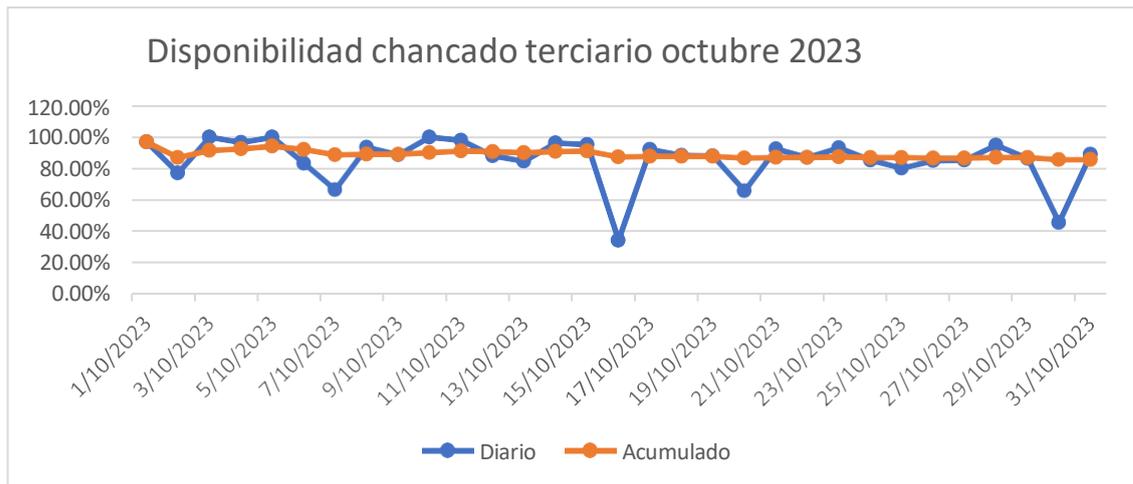


Fuente: Elaboración propia.

En septiembre de 2023, la chancadora terciaria presentó variaciones en su disponibilidad diaria, con caídas marcadas el 14 y 20. A pesar de estos eventos, predominó una buena operatividad. La disponibilidad acumulada osciló entre 76% y 85%, cerrando el mes con 85.85%, quedando 11.25% por debajo de la meta.

**Figura 9**

*Disponibilidad de la chancadora terciaria en octubre*

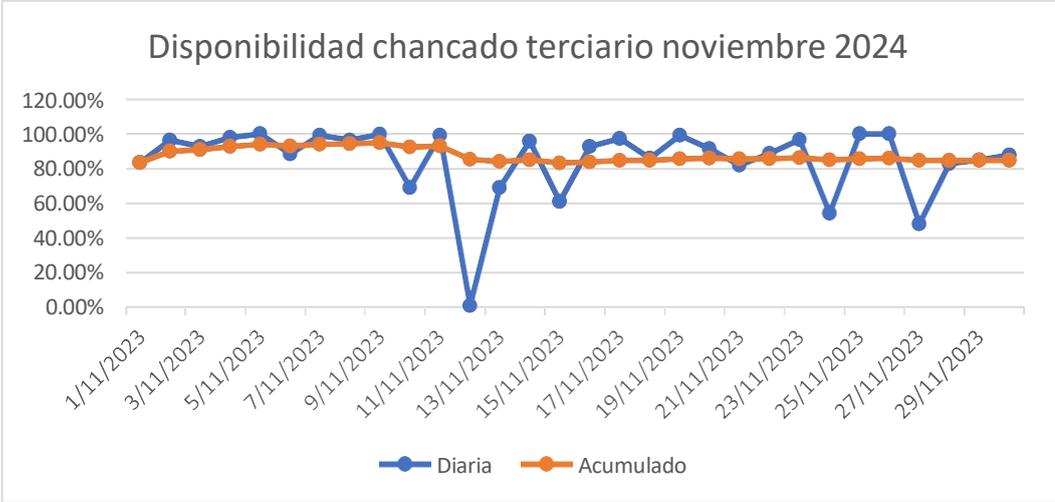


*Fuente:* Elaboración propia.

*Nota.* La Figura 9 correspondiente al mes de En octubre de 2023, la chancadora terciaria mostró una disponibilidad diaria mayor al 90% durante casi todo el mes. El 18 de octubre hubo una caída significativa por debajo del 40%, probablemente por una falla crítica. La recuperación fue rápida. La disponibilidad acumulada se mantuvo estable cerca del 90%, reflejando un buen desempeño general pese a eventos puntuales.

**Figura 10**

*Disponibilidad de la chancadora terciara en noviembre*

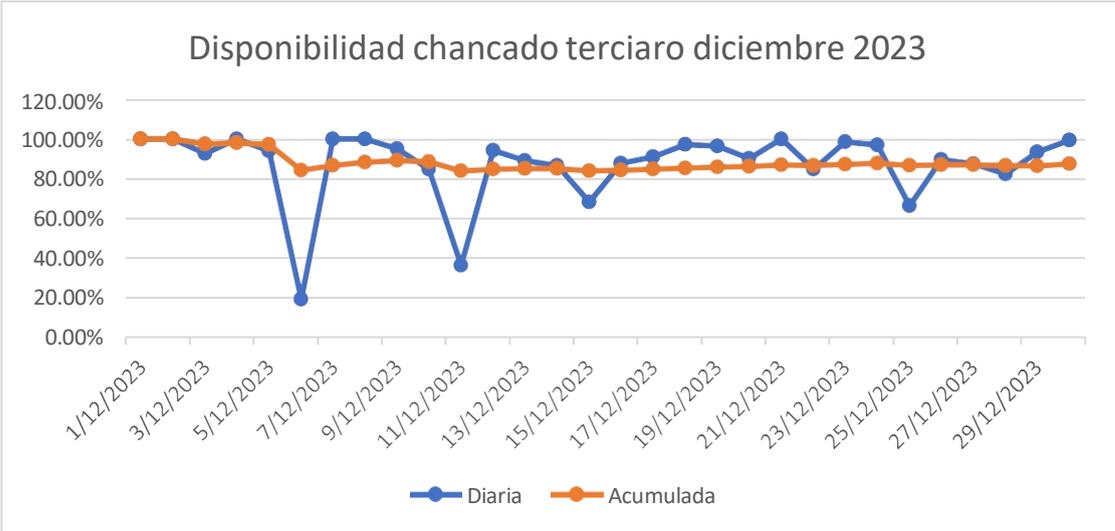


Fuente: Elaboración propia.

Nota: En la Figura 10, refleja un buen desempeño en el proceso de chancado terciario, aunque es necesario analizar más a fondo el evento del 12 de noviembre, que afectó significativamente el rendimiento diario. El comportamiento posterior muestra una operación eficiente que supo recuperarse rápidamente, lo que es indicativo de una gestión adecuada de la contingencia.

**Figura 11**

*Disponibilidad de la chancadora terciara en diciembre*



Fuente: Elaboración propia.

Nota: En la Figura 11, en comparación con noviembre, el gráfico muestra la disponibilidad diaria y acumulada del chancado terciario durante diciembre de 2023.

- La **disponibilidad diaria** presenta variaciones notables, con caídas bruscas los días 7, 13 y 26.
- La **disponibilidad acumulada** se mantiene estable, alrededor del 85%, sin grandes oscilaciones.
- Se evidencia una recuperación progresiva en la segunda mitad del mes. En resumen, aunque hubo días críticos, el rendimiento global se mantuvo dentro de un rango aceptable.

Después de analizar la disponibilidad mensual de la chancadora terciaria de agosto a diciembre de 2023, se identificaron diversas fallas operativas que afectaron su rendimiento. Durante este período, problemas eléctricos, problemas mecánicos y deficiencias en los sistemas de lubricación e hidráulicos. Cada incidente fue registrado, incluyendo detalles como la fecha y turno de ocurrencia, la descripción de la falla, las horas de demora, el modo de falla específico identificado y las acciones correctivas aplicadas. Estos registros detallados fueron fundamentales para evaluar el rendimiento del equipo, planificar intervenciones de mantenimiento preventivo y mejorar la confiabilidad operativa del sistema en general, a continuación, se presentan las fallas mencionadas:

**Tabla 6**

*Fallas presentadas en el mes de agosto del 2023*

Fecha	Equipo	Turno	Horas	Tipo de Mantto	Modo Falla	Sistema	Componente
1-Ago	HP 800 - 5	A	11.67	No Programado	Falla sistema Hidráulico	Sistema Hidráulico	Electro_ válvulas
2-Ago	HP 800 - 6	A	10.67	Programado	En espera	-	-
3-Ago	HP 800 - 5	B	1	Operativa	Operaciones	-	-
4-Ago	HP 800 - 6	A	15.1	No Programado	Falla sistema Hidráulico	Sistema Hidráulico	Electro_ válvulas
5-Ago	HP 800 - 5	A	14.2	No Programado	Falla sistema Hidráulico	Sistema Hidráulico	Electro_ válvulas
6-Ago	HP 800 - 6	B	1	Operativa	Operaciones	-	-
7-Ago	HP 800 - 5	A	9.75	Programado	En espera	-	-
8-Ago	HP 800 - 5	B	12	Operativa	Operaciones	-	-
9-Ago	HP 800 - 6	A	9.75	Programado	En espera	-	-
10-Ago	HP 800 - 6	B	6	Operativa	Operaciones	-	-
11-Ago	HP 800 - 5	A	3.25	Operativa	Operaciones	-	-
12-Ago	HP 800 - 6	A	3.25	Operativa	Operaciones	-	-
13-Ago	HP 800 - 6	B	1.92	Operativa	Operaciones	-	-
14-Ago	HP 800 - 6	A	0.83	Operativa	Operaciones	-	-
15-Ago	HP 800 - 6	B	0.5	Operativa	Operaciones	-	-
16-Ago	HP 800 - 5	A	4	Programado	Desgaste	Elementos desgaste	de Forros
17-Ago	HP 800 - 6	A	0.37	Operativa	Operaciones	-	-
18-Ago	HP 800 - 6	A	0.67	Operativa	Operaciones	-	-
19-Ago	HP 800 - 5	A	0.93	Operativa	Operaciones	-	-
20-Ago	HP 800 - 6	A	3.37	Programado	Desgaste	Elementos desgaste	de Forros
21-Ago	HP 800 - 6	A	0.47	Operativa	Operaciones	-	-
22-Ago	HP 800 - 5	B	0.45	No Programado	Temperatura Alta	Sistema Transmisión	Correas
23-Ago	HP 800 - 6	B	0.45	No Programado	Temperatura Alta	Sistema Transmisión	Correas
24-Ago	HP 800 - 5	A	0.87	Operativa	Operaciones	-	-
25-Ago	HP 800 - 5	A	4	Programado	En espera	-	-
26-Ago	HP 800 - 5	B	0.37	No Programado	Alto Amperaje	Sistema Transmisión	Correas
27-Ago	HP 800 - 5	B	0.27	No Programado	Alto Amperaje	Sistema Eléctrico	Motor
28-Ago	HP 800 - 6	A	2	Programado	Falla sistema Hidráulico	-	-
29-Ago	HP 800 - 6	A	0.52	Programado	-	-	-
30-Ago	HP 800 - 6	B	0.37	No Programado	Alto Amperaje	Sistema Transmisión	Correas
			<b>Hora Acumuladas</b>	<b>120</b>			

*Fuente:* Elaboración propia

Nota. La Tabla 5 presentada muestra un registro detallado de las paradas de mantenimiento de los equipos HP 800 - 5 y HP 800 - 6 durante el mes de agosto, incluyendo información clave como fecha, turno, duración de la parada (en horas), tipo de mantenimiento, modo de falla, sistema afectado y componente involucrado a continuación explicamos los datos:

- Total, de horas acumuladas: 120 horas exactas de inoperatividad en el mes
- Tipos de mantenimiento:

- Parada Operativa: La categoría más frecuente, abarcando eventos menores o rutinas (como inspecciones o maniobras)
- No Programado: 7 eventos destacados, con tiempos prolongados, especialmente relacionados con fallas del sistema hidráulico y transmisión
- Programado: Asociado a desgaste y trabajos planificados como cambio de forros
- Modos de falla recurrentes:
  - Falla del sistema hidráulico (varias veces con electro-válvulas afectadas).
  - Temperatura alta y alto amperaje, especialmente en componentes como correas y motor
  - Desgaste, en particular de forros
- Fechas críticas:
  - 1, 2, y 4 de agosto: Eventos de larga duración (más de 10 horas cada uno), representando gran parte del total acumulado
  - A partir del 10 de agosto, las paradas tienden a ser de menor duración (<4 horas)

Los datos evidencian que una proporción significativa de las paradas fueron atribuibles a fallas no programadas de origen hidráulico y eléctrico, además de mantenimientos operativos y correctivos. Las fechas críticas de inactividad sugieren oportunidades de mejora en la planificación, repuestos y respuesta ante fallas. Este análisis sirve como base para optimizar el plan de mantenimiento preventivo y predictivo del equipo.

Tras analizar detalladamente las fallas registradas en agosto de 2023, se categorizó el tiempo de inoperatividad por actividad para identificar el porcentaje correspondiente a cada una, como se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 7**

*Tiempo de inoperatividad por actividad en agosto del 2023*

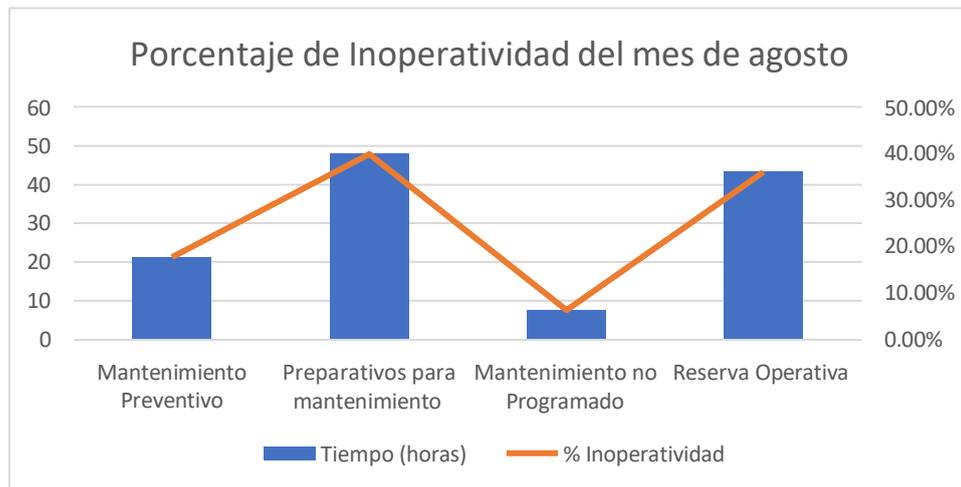
<b>Actividad</b>	<b>Tiempo (Horas)</b>	<b>% Inoperatividad</b>
Mantenimiento Preventivo	21.34	17.73%
Preparativos para mantenimiento	47.97	39.87%
Mantenimiento no Programado	7.65	6.36%
Reserva Operativa	43.37	36.04%
<b>Total</b>	<b>120.33</b>	<b>100.00%</b>

*Fuente:* Elaboración propia.

La tabla muestra la distribución del tiempo de inoperatividad total (120.33 horas) de la chancadora según el tipo de actividad que lo generó. El principal causante fue el tiempo destinado a **preparativos para mantenimiento**, con **47.97 horas (39.87%)**, seguido por la **reserva operativa** con **43.37 horas (36.04%)**. El **mantenimiento preventivo** representó **21.34 horas (17.73%)**, mientras que el **mantenimiento no programado** tuvo la menor incidencia, con **7.65 horas (6.36%)**. Estos datos evidencian que los procesos logísticos previos al mantenimiento y las reservas no operativas impactan significativamente en la disponibilidad del equipo.

**Figura 12**

*Porcentaje de inoperatividad del mes de agosto del 2023*



*Fuente:* Elaboración propia.

Nota: En la Figura 12, se muestra que el porcentaje de inoperatividad del mes de agosto, desglosado por tipo de causa. Se observa que los preparativos para mantenimiento y la reserva operativa fueron las principales fuentes de inactividad, representando cada una cerca del 40 % del tiempo total perdido. En contraste, el mantenimiento no programado tuvo el menor impacto en horas, aunque sigue contribuyendo al total de indisponibilidad. Esta distribución sugiere que una gran parte del tiempo inactivo está planificado, lo que representa una oportunidad de mejora en la eficiencia del mantenimiento preventivo y de los tiempos de preparación.

Se procede a calcular el porcentaje de inoperatividad de los demás meses para obtener una visión completa del rendimiento operativo y las áreas de mejora. En el Anexo 2, se pueden encontrar las fallas de manera más específica y detallada, a continuación,

**Tabla 8***Fallas presentadas en el mes de setiembre del 2023*

Fecha	Equipo	Turno	Horas	Tipo de mantenimiento	Modo Falla	Sistema	Componente
2023/09/03	HP 800 - 5	A	1.23	Operaciones	Operaciones	-	-
2023/09/04	HP 800 - 5	A	2.37	Programado	-	-	-
2023/09/04	HP 800 - 5	A	0.52	Programado	-	-	-
2023/09/04	HP 800 - 5	B	2.00	Operativa	Operaciones	Operaciones	-
2023/09/04	HP 800 - 5	B	0.67	Operativa	-	-	-
2023/09/04	HP 800 - 6	A	1.72	Programado	-	-	-
2023/09/12	HP 800 - 5	B	0.17	No Programado	-	-	-
2023/09/13	HP 800 - 5	A	10.42	Programado	Parada de planta	-	-
2023/09/13	HP 800 - 5	B	8.40	Programado	Parada de planta	-	-
2023/09/13	HP 800 - 6	A	10.42	Programado	Parada de planta	-	-
2023/09/13	HP 800 - 6	B	8.40	Programado	Parada de planta	-	-
2023/09/14	HP 800 - 5	A	8.02	Programado	-	-	-
2023/09/14	HP 800 - 6	A	8.02	Programado	-	-	-
2023/09/16	HP 800 - 5	A	7.00	Programado	-	-	-
2023/09/17	HP 800 - 5	A	1.67	Operativa	-	-	-
2023/09/17	HP 800 - 6	A	1.67	Operativa	-	-	-
2023/09/20	HP 800 - 5	A	0.90	Operativa	-	-	-
2023/09/20	HP 800 - 5	B	1.00	Operativa	-	-	-
2023/09/20	HP 800 - 6	A	4.00	Programado	-	-	-
2023/09/20	HP 800 - 6	A	0.50	No Programado	-	-	-
2023/09/20	HP 800 - 6	B	0.50	No Programado	diferencial de presión	Sistema de Lubricación	Filtros
2023/09/20	HP 800 - 6	B	4.00	Programado	-	-	-
2023/09/21	HP 800 - 5	A	0.18	Operativa	-	-	-
2023/09/21	HP 800 - 6	A	2.17	No Programado	Fuga de aceite	Sistema de Lubricación	Tanque
2023/09/22	HP 800 - 6	B	0.17	No Programado	soltura	Sistema de transmision	Correas
2023/09/24	HP 800 - 6	A	3.17	No Programado	Desgaste	Sistema de transmision	Correas
2023/09/24	HP 800 - 6	A	1.00	No Programado	-	-	-
2023/09/26	HP 800 - 5	B	0.33	Operativa	-	-	-
2023/09/26	HP 800 - 6	B	0.33	No Programado	Ruido anormal	Sistema de transmisión	Poleas
2023/09/27	HP 800 - 4	A	5.08	Programado	-	-	-
2023/09/30	HP 800 - 5	A	1.70	Operativa	-	-	-
2023/09/30	HP 800 - 6	A	1.70	Operativa	-	-	-
Hora Acumuladas			99.43				

Fuente: Elaboración propia.

La tabla muestra el registro detallado de inoperatividades ocurridas en las chancadoras HP800-5 y HP800-6 durante septiembre de 2023, acumulando un total de 99.43 horas de parada. Se identifican distintos tipos de mantenimiento: programado, no programado, operativo y reserva operativa. Las paradas más críticas se concentraron entre el 12 y el 14 de septiembre, con eventos de parada de planta por mantenimiento programado que superaron las 8 horas por turno.

En cuanto a fallas no programadas, se detectaron problemas mecánicos asociados a sistemas de lubricación (fuga de aceite, diferencial de presión), transmisión (desgaste, ruido, soldadura) y componentes como correas y poleas. Este análisis permite identificar no solo los modos de falla más frecuentes, sino también los componentes vulnerables y sistemas críticos, lo cual es clave para la aplicación del AMEF y el plan RCM.

**Tabla 9**

*Tiempo de inoperatividad por actividad en septiembre del 2023*

<b>Actividad</b>	<b>Tiempo (horas)</b>	<b>% Inoperatividad</b>
Mantenimiento Preventivo	2.00	2.01%
Preparativos para Mantenimiento	25.39	25.54%
Mantenimiento No Programado	16.00	16.09%
Mantenimiento Programado	56.04	56.36%
<b>Total</b>	<b>99.43</b>	<b>100.00%</b>

*Fuente:* Elaboración propia.

Nota. La tabla resume el tiempo total de inoperatividad registrado en septiembre de 2023 para las chancadoras HP800, acumulando 99.43 horas de detención. El principal causante fue el mantenimiento programado, con 56.04 horas (56.36 %), seguido de los preparativos para mantenimiento, que representaron un 25.54 % del tiempo inactivo. El mantenimiento no programado aportó un 16.09 %, mientras que el mantenimiento preventivo tuvo una incidencia mínima (2.01 %).

Este desglose evidencia que existe una oportunidad de optimización en la gestión y preparación de tareas programadas, así como en la reducción del mantenimiento correctivo, mediante acciones predictivas o preventivas más eficaces.

### Figura 13

Porcentaje de inoperatividad del mes de septiembre



Fuente: Elaboración propia.

*Nota.* En el gráfico, se muestra que, en septiembre del 2023, se analizó que mantenimiento preventivo tiene 2.01% esta actividad, lo que indica que podría estar insuficientemente priorizada; preparativos para mantenimiento tiene un (25.54%), la alta inoperatividad asociada sugiere que los procesos de preparación pueden estar presentando ineficiencias que afectan la productividad, mantenimiento no programado tiene el 16.09%. Esta actividad es esencial para abordar fallas imprevistas, mantenimiento programado tiene un 56.36%; estas actividades la que más horas consume, pero debe complementarse con un aumento en las actividades preventivas para asegurar que la programación no se vea afectada por emergencias.

**Tabla 10***Fallas presentadas en el mes de octubre del 2023*

Fecha	Equipo	Turno	Horas Parada	Tipo de mantenimiento	Modo Falla	Sistema	Componente
2023/10/04	HP 800 - 5	A	2.50	Operativa	Rotura	Sistema de Mallas	Mallas
2023/10/04	HP 800 - 6	A	2.50	Operativa	Rotura	Sistema de Mallas	Mallas
2023/10/06	HP 800 - 5	A	1.40	Operativa	-	-	-
2023/10/06	HP 800 - 6	A	1.40	Operativa	-	-	-
2023/10/12	HP 800 - 5	A	0.58333	Operativa	-	-	-
2023/10/12	HP 800 - 6	A	0.58333	Operativa	-	-	-
2023/10/13	HP 800 - 5	A	2.33333	Operativa	-	-	-
2023/10/13	HP 800 - 6	A	2.33333	Operativa	-	-	-
2023/10/14	HP 800 - 5	A	4.33333	Programado	-	-	-
2023/10/14	HP 800 - 6	A	0.5	Operativa	-	-	-
2023/10/15	HP 800 - 5	B	2.15	Operativa	-	-	-
2023/10/15	HP 800 - 6	B	2.15	Operativa	-	-	-
2023/10/16	HP 800 - 5	A	10.15	Programado	-	-	-
2023/10/16	HP 800 - 5	B	4.33333	Programado	-	-	-
2023/10/16	HP 800 - 6	A	10.15	Programado	-	-	-
2023/10/16	HP 800 - 6	B	4.33333	Programado	-	-	-
2023/10/17	HP 800 - 5	A	4.63333	Operativa	-	-	-
2023/10/17	HP 800 - 6	A	0.63333	No Programado	Saturación	Sistema de lubricación	Filtros
2023/10/17	HP 800 - 6	A	4	Programado	-	-	-
2023/10/18	HP 800 - 5	A	0.43333	Operativa	-	-	-
2023/10/18	HP 800 - 5	B	0.35	No Programado	Alto Diferencial de Presión	Sistema de lubricación	Filtros
2023/10/18	HP 800 - 6	A	0.43333	Operativa	-	-	-
2023/10/18	HP 800 - 6	B	0.35	Operativa	-	-	-
2023/10/19	HP 800 - 5	A	7.53333	Programado	-	-	-
2023/10/19	HP 800 - 5	B	1	Operativa	-	-	-
2023/10/19	HP 800 - 6	A	7.53333	Programado	-	-	-
2023/10/19	HP 800 - 6	B	1	No Programado	Fuga de Aceita	Sistema hidráulico	Cilindros
2023/10/20	HP 800 - 6	A	5.75	No Programado	Fuga de Aceite	Sistema de Fijación	Cilindros
2023/10/22	HP 800 - 5	A	0.66667	Reserva Operativa	-	-	-
2023/10/22	HP 800 - 6	A	0.66667	Reserva Operativa	-	-	-
2023/10/23	HP 800 - 5	A	1.31667	Reserva Operativa	-	-	-
2023/10/23	HP 800 - 6	A	1.31667	Reserva Operativa	-	-	-
2023/10/24	HP 800 - 5	A	3.15	No Programado	Alta Temperatura	Sistema de lubricación	Tanque
2023/10/29	HP 800 - 5	A	2.5	Operativa	-	-	-
2023/10/29	HP 800 - 6	A	2.5	Operativa	-	-	-
Horas Acumuladas			97.500				

*Fuente:* Elaboración propia.

*Nota.* La tabla muestra el registro de paradas de los equipos HP 800 - 5 y HP 800 - 6 durante el mes de octubre de 2023, indicando fecha, turno, duración de la parada, tipo de mantenimiento, modo de falla, sistema afectado y componente intervenido. Resumen general:

- Total, de horas acumuladas: 97.5 horas de inoperatividad en el mes.
- Tipos de mantenimiento registrados:
  - Operativa: Mayor cantidad de registros, muchos de corta duración.
  - Programado: Varias intervenciones prolongadas (hasta 7.5 horas), especialmente entre el 14 y 19 de octubre.
  - No programado: Incluye fallas como fuga de aceite, alta temperatura y diferencial de presión, afectando sistemas de lubricación, hidráulico y fijación.
  - Reserva operativa: Aparece en los días 22 y 23, con valores repetidos.
- Modos de falla destacados:
  - Fuga de aceite (19 y 20 de octubre).
  - Saturación de filtros, alta temperatura, y alto diferencial de presión.
  - Fallas mecánicas relacionadas con sistema de mallas, lubricación, hidráulico, y fijación.
- Fechas críticas: 18 y 19 de octubre: Programado y no programado con mayor duración (hasta 7.5 h). Del 4 al 6 de octubre: Eventos repetidos de rotura en el sistema de mallas.

En conclusión, el mes de octubre presenta una combinación de paradas operativas frecuentes y mantenimientos programados largos, además de fallas críticas como fugas y sobrecalentamientos en los sistemas hidráulico y de lubricación, ante la necesidad de fortalecer las actividades de mantenimiento predictivo y monitoreo de condiciones para prevenir eventos no programados.

**Tabla 11**

*Tiempo de inoperatividad por actividad en octubre del 2023*

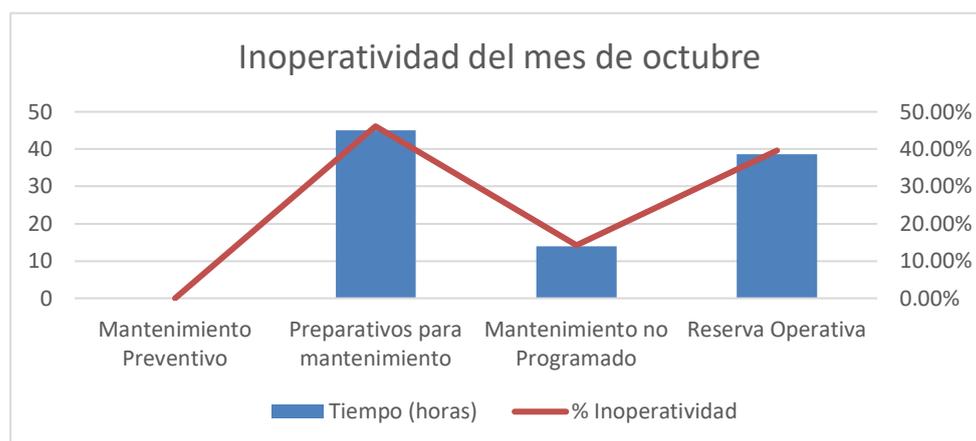
<b>Actividad</b>	<b>Tiempo (horas)</b>	<b>% Inoperatividad</b>
Mantenimiento Preventivo	0	0.00%
Preparativos para Mantenimiento	44.96665	46.12%
Mantenimiento No Programado	13.9	14.26%
Mantenimiento Programado	38.63335	39.62%
<b>Total</b>	<b>97.5</b>	<b>100.00%</b>

*Fuente:* Elaboración propia.

*Nota.* La tabla presenta la distribución del tiempo de inoperatividad total (97.5 horas) de la chancadora durante el mes evaluado. El mayor impacto se debió a preparativos para mantenimiento, con 44.97 horas (46.12%), seguido del mantenimiento programado con 38.63 horas (39.62%). El mantenimiento no programado representó 13.9 horas (14.26%), mientras que no se registraron horas por mantenimiento preventivo (0%). Esto indica que no se implementaron actividades preventivas durante el periodo

**Figura 14**

*Porcentaje de inoperatividad del mes de octubre*



*Fuente:* Elaboración propia.

*Nota.* La Grafica evidencia que, en octubre de 2023, se analizó que la carencia de horas dedicadas al mantenimiento preventivo es preocupante, ya que este tipo de mantenimiento es fundamental para evitar problemas futuros y mejorar la fiabilidad operativa, la falta de actividades en esta área podría llevar a un aumento en el mantenimiento no

programado y, por ende, a una mayor inoperatividad; Preparativos para Mantenimiento tiene un 46.12% con 44.97 horas dedicadas, esta actividad representa la mayor parte del tiempo de inoperatividad; Mantenimiento No Programado tiene un 14.26%; Mantenimiento Programado tiene un 39.62% y representa una parte considerable del tiempo de inoperatividad.

**Tabla 12**

*Fallas presentadas en el mes de noviembre del 2023*

Fecha	Equipo	Turno	Horas Parada	Tipo de mantenimiento	Modo Falla	Sistema	Componente
2023/11/01	HP 800 - 5	A	9.86667	Programado	-	-	-
2023/11/01	HP 800 - 5	B	2.03333	Programado	-	-	-
2023/11/01	HP 800 - 6	A	9.86667	Programado	-	-	-
2023/11/01	HP 800 - 6	B	2.03333	Programado	-	-	-
2023/11/10	HP 800 - 5	A	4.41667	Programado	-	-	-
2023/11/10	HP 800 - 6	A	0.66667	Operativa	-	-	-
2023/11/14	HP 800 - 5	A	11.6667	Programado	Parada de Planta		
2023/11/14	HP 800 - 5	B	12	Programado	Parada de Planta		
2023/11/14	HP 800 - 6	A	11.6667	Programado	Parada de Planta		
2023/11/14	HP 800 - 6	B	12	Programado	Parada de Planta		
2023/11/15	HP 800 - 5	A	7.08333	Operativa	-	-	-
2023/11/15	HP 800 - 6	A	7.08333	Operativa	-	-	-
2023/11/19	HP 800 - 5	A	0.33333	Operativa	-	-	-
2023/11/19	HP 800 - 6	A	3.33333	Programado	-	-	-
2023/11/21	HP 800 - 5	A	0.5	No Programado	Alto Diferencial de Presión	Sistema de lubricación	Filtros
2023/11/21	HP 800 - 6	A	0.5	No Programado	Alto Diferencial de Presión	Sistema de lubricación	Filtros
2023/11/24	HP 800 - 5	A	7.35	Operativa	-	-	-
2023/11/24	HP 800 - 6	A	7.35	Operativa	-	-	-
Horas Acumuladas			109.75				

*Fuente:* Elaboración propia.

*Nota.* La tabla presenta el registro de paradas de los equipos HP 800 - 5 y HP 800 - 6 durante noviembre de 2023, con un total acumulado de 109.75 horas de inoperatividad.

- La mayor parte de las detenciones se debieron a mantenimientos programados, especialmente los días 1, 10 y 14 de noviembre, con jornadas de hasta 12 horas continuas.
- Se destacan cuatro eventos de "Parada de Planta" el 14 de noviembre, afectando ambos equipos y turnos, con una duración significativa.
- Las paradas operativas también fueron frecuentes entre el 15 y el 24 de noviembre, representando tiempos moderados (7.0 a 7.35 horas).
- Se reportaron dos eventos de mantenimiento no programado el 21 de noviembre, ambos por "Alto Diferencial de Presión" en el sistema de lubricación, afectando los filtros.

En conclusión, durante noviembre, la inoperatividad estuvo dominada por actividades programadas y paradas generales de planta, con pocos eventos de falla técnica imprevista. No obstante, los casos de presión anormal en el sistema de lubricación evidencian la importancia del monitoreo continuo para evitar daños mayores o paradas inesperadas.

**Tabla 13**

*Tiempo de inoperatividad por actividad en noviembre del 2023*

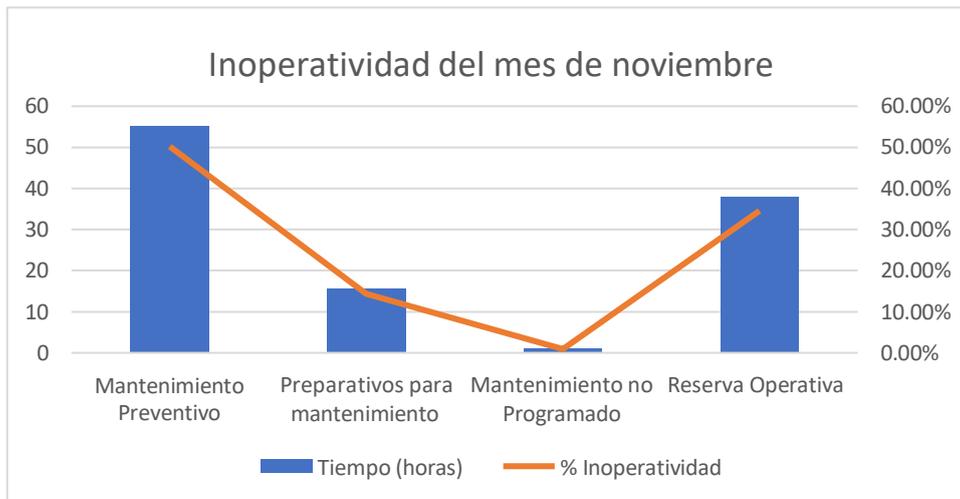
<b>Actividad</b>	<b>Tiempo (horas)</b>	<b>% Inoperatividad</b>
Mantenimiento Preventivo	55.1004	50.21%
Preparativos para Mantenimiento	15.7	14.31%
Mantenimiento No Programado	1	0.91%
Mantenimiento Programado	37.9496	34.57%
<b>Total</b>	<b>109.75</b>	<b>100.00%</b>

*Fuente:* Elaboración propia.

*Nota.* Aquí muestra la distribución de la inoperatividad acumulado (109.75 horas), destacando que el mantenimiento preventivo representó el 50.21 % del tiempo total, seguido por el mantenimiento programado con 34.57 %. Los preparativos para mantenimiento aportaron un 14.31 %, mientras que el mantenimiento no programado tuvo una incidencia mínima de solo 0.91 %. Estos resultados reflejan un buen control sobre fallas inesperadas, pero también evidencian la necesidad de optimizar la eficiencia del mantenimiento preventivo para reducir su efecto en la disponibilidad operativa.

**Figura 15**

*Porcentaje de inoperatividad del mes de noviembre*



*Fuente:* Elaboración propia.

*Nota.* La Figura 14 muestra que, en noviembre de 2023, el mantenimiento preventivo tiene un 50.21%, representando más de la mitad del tiempo total de inoperatividad. Este incremento significativo en comparación con octubre es un paso positivo, ya que un enfoque sólido en el mantenimiento preventivo conlleva a reducir las fallas y mejora la fiabilidad general de los equipos; preparativos para mantenimiento tiene un 14.31% el tiempo es considerablemente menor que en octubre; mantenimiento no programado tiene un 0.91%, lo que sugiere que las actividades preventivas y programadas están funcionando bien y el mantenimiento programado tiene un 34.57%. Este enfoque planificado sigue siendo fundamental para la gestión de mantenimiento.

**Tabla 14***Fallas presentadas en el mes de diciembre del 2023.*

Fecha	Equipo	Turno	Horas	Tipo de mantenimiento	Modo Falla	Sistema	Componente
2023/12/06	HP 800 - 5	A	12	Programado	Parada de Planta		
2023/12/06	HP 800 - 5	B	9.33333	Programado	Parada de Planta		
2023/12/06	HP 800 - 6	B	9.33333	Programado	Parada de Planta		
2023/12/09	HP 800 - 5	A	3.16667	Programado	-	-	-
2023/12/09	HP 800 - 6	A	0.75	Operativa	-	-	-
2023/12/10	HP 800 - 5	B	4.91667	Operativa	-	-	-
2023/12/10	HP 800 - 6	B	4.91667	Operativa	-	-	-
2023/12/11	HP 800 - 5	A	12	Operativa	-	-	-
2023/12/11	HP 800 - 5	B	0.5	Operativa	-	-	-
2023/12/11	HP 800 - 5	B	2.33333	Operativa	-	-	-
2023/12/11	HP 800 - 6	A	12	Operativa	-	-	-
2023/12/11	HP 800 - 6	B	0.5	Operativa	-	-	-
2023/12/11	HP 800 - 6	B	2.33333	Operativa	-	-	-
2023/12/15	HP 800 - 5	B	0.83333	Operativa	-	-	-
2023/12/17	HP 800 - 5	A	0.66667	Operativa	-	-	-
2023/12/17	HP 800 - 6	A	3.08333	Programado	-	-	-
2023/12/19	HP 800 - 5	A	0.66667	Operativa	-	-	-
2023/12/19	HP 800 - 6	A	0.66667	No Programado	Bajo Flujo	Sistema de lubricación	Bomba
2023/12/22	HP 800 - 5	A	3.66667	Operativa	-	-	-
2023/12/23	HP 800 - 5	A	0.33333	No Programado	Bajo Flujo	Sistema de lubricación	Filtros
2023/12/23	HP 800 - 6	A	0.33333	Operativa	-	-	-
Horas Acumuladas			84				

Fuente: Elaboración propia.

*Nota.* La tabla muestra el registro de inoperatividad de las chancadoras HP 800-5 y HP 800-6 durante diciembre de 2023, acumulando un total de 84 horas. La mayor parte del tiempo inactivo se debió a mantenimiento programado, especialmente el día 6, con más de 30 horas por paradas de planta. También, se reportan tiempos asociados a condiciones operativas menores durante el resto del mes.

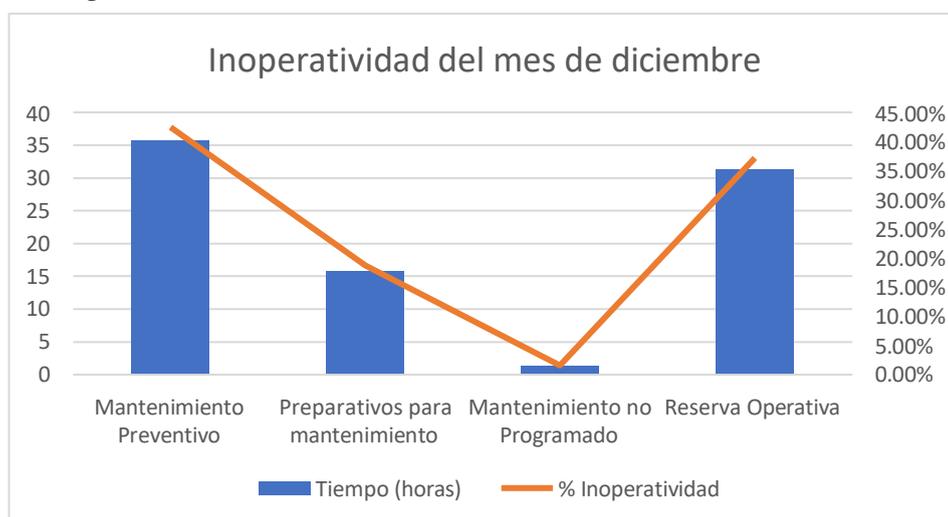
Se identificaron dos eventos de mantenimiento no programado relacionados con bajo flujo en el sistema de lubricación, afectando componentes como la bomba y los filtros. Aunque su impacto fue bajo en horas, evidencian la importancia de monitorear continuamente este sistema crítico para evitar futuras fallas mayores.

**Tabla 15***Tiempo de inoperatividad por actividad en diciembre del 2023*

<b>Actividad</b>	<b>Tiempo (horas)</b>	<b>% Inoperatividad</b>
Mantenimiento Preventivo	35.6667	42.46%
Preparativos para Mantenimiento	15.75	18.75%
Mantenimiento No Programado	1.33333	1.59%
Mantenimiento Programado	31.25	37.20%
<b>Total</b>	<b>84</b>	<b>100.00%</b>

*Fuente:* Elaboración propia.

*Nota.* La tabla presenta la distribución del tiempo de inoperatividad total (84 horas) de la chancadora según el tipo de actividad realizada. El mantenimiento preventivo representa la mayor parte, con 35.67 horas (42.46%), seguido del mantenimiento programado con 31.25 horas (37.20%). Los preparativos para mantenimiento aportaron 15.75 horas (18.75%), mientras que el mantenimiento no programado tuvo una incidencia mínima, con apenas 1.33 horas (1.59%). Este resultado refleja una gestión preventiva activa, aunque con oportunidades de mejora en la optimización de tiempos y en la planificación de actividades auxiliares.

**Figura 16***Porcentaje de inoperatividad del mes de diciembre**Fuentes:* Elaboración propia.

*Nota.* En esta Figura, se muestra que, en diciembre de 2023, mantenimiento preventivo tiene un 42.46%, aunque es una disminución respecto a noviembre, sigue siendo un componente clave; preparativos para mantenimiento tiene un 18.75%, aunque menor en comparación con

meses anteriores; mantenimiento no programado tiene un 1.59%, el tiempo destinado al mantenimiento no programado es mínimo, lo que se traduce en menos interrupciones inesperadas; el mantenimiento programado tiene un 37.20%, el mantenimiento programado continúa siendo una actividad clave, lo que asegura que las operaciones se mantengan dentro de los planes establecidos, mantener este enfoque ayudará a prever posibles problemas y mantener la eficiencia operativa.

#### 4.1.2. Indicadores de Mantenimiento (Promedio agosto – diciembre 2023)

##### 4.1.2.1. Indicadores de Mantenimiento

Del mismo modo, se presenta el análisis efectuado sobre los tiempos promedio entre fallas (MTBF) y los tiempos promedio de reparación (MTTR) correspondientes al proceso de chancado.

**Tabla 16**

*Indicadores De Mantenimiento (Promedio Agosto – Diciembre 2023)*

<b>Indicador</b>	<b>Valor</b>
MTBF (Horas)	26.4
MTTR (Horas)	7.4
Disponibilidad operacional	86.12%
Meta de disponibilidad	98.00%
Brecha	-11.88 puntos %

*Fuente:* Registros de mantenimiento y operación HP 800-5 y HP 800-6.

*Nota.* La tabla muestra que la chancadora presenta un MTBF de 26.4 horas y un MTTR de 7.4 horas, resultando en una disponibilidad operacional del 86.12%, por debajo de la meta del 98%. La brecha es de -11.88 puntos porcentuales, lo que evidencia una diferencia significativa respecto al objetivo establecido.

Durante el periodo evaluado, se registraron un total de **257** horas de inactividad asociadas a mantenimientos correctivos no planificados, con una media mensual de 51.4 horas por equipo.

**Tabla 17**

*Detalla la distribución mensual e Fallas Recurrentes.*

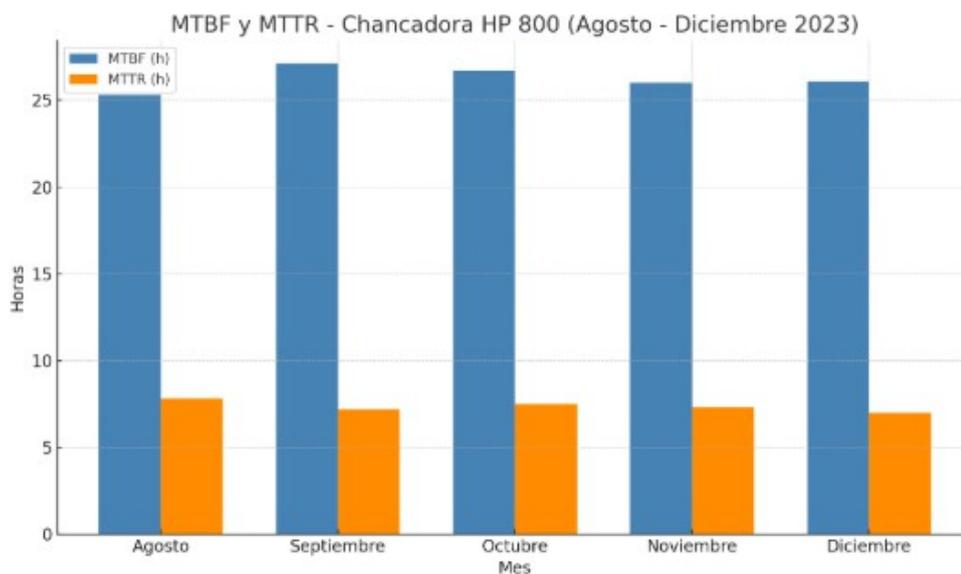
Mes	Horas de Parada	Fallas Recurrentes
Agosto	60 h	Obstrucción de filtros, desgaste de liners
Septiembre	48 h	Fallas hidráulicas
Octubre	52 h	Bomba de lubricación
Noviembre	51 h	Sobrecalentamiento de motor
Diciembre	46 h	Desalineamiento de eje principal

*Fuentes:* Elaboración propia.

*Nota.* En la Tabla, se muestra la distribución de horas de parada por mes debido a fallas recurrentes.

**Figura 17**

*Se muestra la tendencia en el tiempo del MTBF y MTTR*



*Fuentes:* Elaboración propia

*Nota.* El Gráfico muestra la comparación mensual entre los indicadores **MTBF** (Mean Time Between Failures) y **MTTR** (Mean Time To Repair) correspondientes a la chancadora HP 800 durante el segundo semestre de 2023.

### **MTBF (Barras azules):**

- Representa el tiempo promedio de operación continua sin fallas.
- Oscila entre **25.3 y 27.1 horas**, indicando una **alta frecuencia de fallas**.
- El valor más alto se registró en septiembre (27.1 h) y el más bajo en agosto (25.3 h).

### **MTTR (Barras naranjas):**

- Representa el tiempo promedio requerido para reparar una falla.
- Se mantiene **por encima de 7 horas** cada mes.
- El valor más alto fue en agosto (7.8 h) y el más bajo en diciembre (7.0 h).

### **En consecuencia:**

- La **brecha entre MTBF y MTTR es estrecha**, lo que evidencia una **operación inestable**, con poco tiempo disponible entre fallas y un tiempo de reparación prolongado.
- Este comportamiento afecta negativamente la **disponibilidad del equipo**; justifica la intervención y sirve como línea base para medir mejoras posteriores.

A continuación, se expone un diagrama de causa-efecto (Ishikawa) que permite identificar los factores que contribuyen a la baja disponibilidad operativa. Este análisis facilita la visualización de los principales problemas agrupados en cuatro categorías clave: mano de obra, métodos, materiales y maquinaria.

#### **4.1.3. Análisis de Causa Raíz**

Para el análisis emplearemos El diagrama de Ishikawa a continuación ilustra las causas principales del problema de baja disponibilidad de la chancadora HP 800, organizadas en las categorías indicadas. Cada categoría agrupa factores raíz identificados en La investigación. Por ejemplo, en **Personas**, se han considerado fallas como errores humanos y falta de capacitación; en **Métodos** se incluyen prácticas como mantenimiento reactivo, inspecciones mal ejecutadas y ausencia de programación preventiva; en **Maquinaria** se identifican fallas hidráulicas, alta temperatura, alto amperaje, desalineamiento y filtros obstruidos; en **Medio Ambiente** se destaca la presencia de polvo ambiental, alta humedad y condiciones térmicas extremas; y en **Materiales** se menciona desgaste prematuro de componentes (forros, liners) y uso de lubricantes inadecuados. El diseño emplea texto

claro y ramificaciones jerarquizadas para mostrar cómo cada causa contribuye al efecto final (baja disponibilidad).

**Figura 18**

*Diagrama de Ishikawa*



*Fuentes:* Elaboración propia

El análisis de la chancadora HP 800 evidencia que actualmente se cuenta únicamente con planes básicos de inspección, lo que ha conllevado a una elevada frecuencia de fallas. Esta situación afecta negativamente la disponibilidad de los equipos requeridos para la producción. Las paradas no programadas generan costos significativos, los cuales se incrementan mes a mes, impactando de manera directa en indicadores clave como la disponibilidad, el MTBF y el MTTR.

**Tabla 18**

*Factores Inmediatos*

ID	FACTORES INMEDIATOS
1	Presencia de errores humanos en operaciones y mantenimiento
2	Falta de capacitación técnica específica en mantenimiento de chancadoras
3	Mantenimiento reactivo con escasa planificación preventiva
4	Inspecciones realizadas sin procedimientos estandarizados
5	Presencia de fallas hidráulicas recurrentes (válvulas, presión)
6	Filtración y lubricación inadecuadas (filtros obstruidos, lubricantes sucios)
7	Fallas por sobrecarga eléctrica o alta temperatura (motor, transmisión)
8	Desgaste prematuro de componentes por condiciones ambientales severas
9	Escasez de repuestos y materiales durante paradas críticas

*Fuentes:* Elaboración propia

**4.1.4. Validación de la Confiabilidad de los Datos Baseline mediante Alfa de Cronbach**

Tras haber identificado los factores inmediatos que inciden en la baja disponibilidad operativa de la chancadora HP 800 en la planta de chancado, se aplicó una encuesta estructurada (ver Anexo 01) al personal del área de mantenimiento mecánico 10 técnicos especialistas en el área. Esta herramienta permitió asignar una ponderación objetiva a cada uno de los factores identificados, en función del nivel de impacto que generan en la problemática estudiada.

Para validar la confiabilidad interna de las respuestas obtenidas, se aplicó el **coeficiente Alfa de Cronbach**, utilizando 9 ítems que evaluaron diferentes aspectos críticos relacionados con el mantenimiento de la chancadora

**Tabla 19**

*Matriz de Cronbach*

Técnico	Datos									SUMA
	Item1	Item2	Item3	Item4	Item5	Item6	Item7	Item8	Item9	
Técnico 01	8	10	8	9	8	10	10	9	8	80
Técnico 02	8	7	8	8	6	8	6	8	7	66
Técnico 03	10	8	8	9	10	10	9	10	10	84
Técnico 04	8	10	10	9	9	8	10	10	10	84
Técnico 05	6	6	7	6	8	8	6	8	8	63
Técnico 06	8	8	10	10	10	9	9	9	8	81
Técnico 07	7	6	6	7	7	7	8	7	8	63
Técnico 08	7	9	8	7	7	7	9	8	7	69
Técnico 09	8	8	10	10	9	10	8	9	8	80
Técnico 10	7	9	8	9	9	8	7	7	8	72

	Item1	Item2	Item3	Item4	Item5	Item6	Item7	Item8	Item9
Varianza	1.01	1.89	1.61	1.64	1.61	1.25	1.96	1.05	0.96

*Fuente:* Elaboración Propia

Formula:

$$\alpha = \frac{K}{K-1} \left[ 1 - \frac{\sum Vi}{Vt} \right]$$

$$\alpha = \frac{9}{9-1} \left[ 1 - \frac{12.98}{65.56} \right]$$

$$\alpha = 0,902$$

Parámetro	Valor
<b>K</b> (ítems)	9
<b>Sumatoria VI</b>	12.98
<b>Varianza total (Vt)</b>	65.56
<b>α</b> (Alfa de Cronbach)	<b>0.902</b> <input checked="" type="checkbox"/>

donde:

α = Alfa de Cronbach

k = Número de

ítems

Vi = Varianza por cada ítem

Vt = Varianza Total

El resultado obtenido fue un **Alfa de Cronbach de 0.902**, lo cual, según la escala de Nunnally y Bernstein (1994), indica una **muy alta confiabilidad interna** [29]. Esto garantiza que las respuestas presentan una alta consistencia entre sí y que los ítems utilizados miden adecuadamente las percepciones y valoraciones planteadas.

Este resultado permite validar la robustez del **análisis baseline**, asegurando que las conclusiones obtenidas a partir de los datos recogidos reflejan de manera confiable la situación real de la chancadora HP 800.

**Tabla 20**

*Interpretación del alfa de Cronbach aplicado a la evaluación del mantenimiento de la chancadora HP 800.*

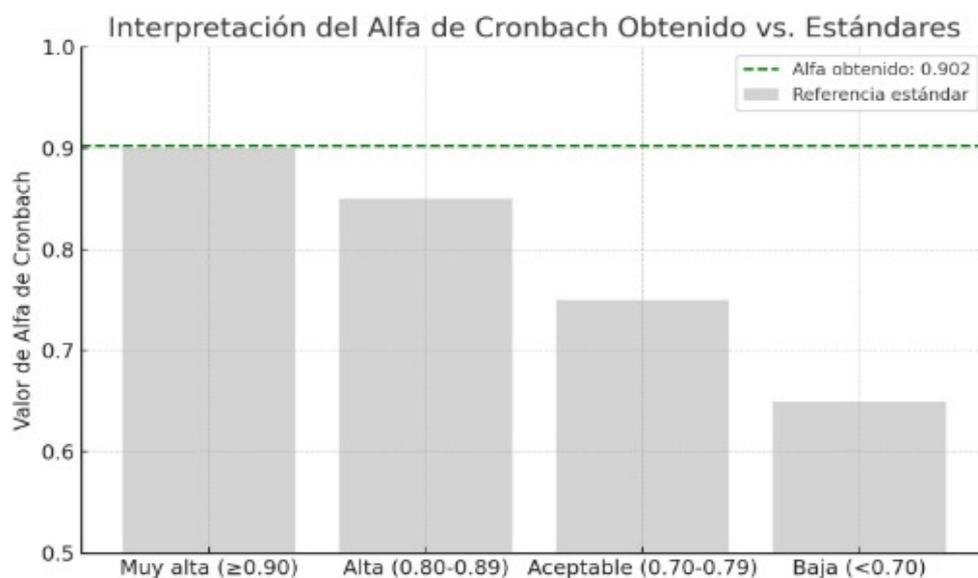
Valor del Alfa de Cronbach	Nivel de confiabilidad	Interpretación
$\geq 0.90$	Muy alta	Las respuestas presentan alta consistencia y fiabilidad para el diagnóstico inicial
0.80 - 0.89	Alta	Respuestas consistentes y confiables para respaldar conclusiones
0.70 - 0.79	Aceptable	Se recomienda revisión adicional de ítems críticos
$< 0.70$	Baja	Baja confiabilidad; se recomienda revisar o rediseñar la encuesta

*Fuente:* Elaboración propia

*Nota.* El valor obtenido en el presente estudio fue  $\alpha = 0.902$ , confirmando la muy alta confiabilidad interna de las respuestas.

**Figura 19**

*Interpretación de Alfa de Cronbach*



*Fuente:* Elaboración propia

*Nota.* El Gráfico muestra la **interpretación del Alfa de Cronbach obtenido (0.902)** en comparación con los estándares de confiabilidad. Se observa que el valor obtenido **supera el umbral de 0.90**, ubicándose dentro de la categoría de "**Muy alta confiabilidad**", según los rangos de interpretación establecidos. Esto evidencia que las respuestas de las encuestas aplicadas a los técnicos presentan **alta consistencia interna**, validando la fiabilidad de los datos utilizados en el diagnóstico de la situación actual del mantenimiento de la chancadora HP 800.

En conclusión, la aplicación del Alfa de Cronbach permitió validar la consistencia de los datos baseline recolectados mediante encuestas a los técnicos de mantenimiento, garantizando que el diagnóstico inicial cuenta con el nivel de confiabilidad requerido para sustentar la propuesta de mejora planteada en la presente investigación.

#### **4.1.5. Análisis costos de pérdida por inactividad operativa (agosto – diciembre 2023)**

Durante el periodo de agosto a diciembre de 2023, la disponibilidad mecánica de la chancadora HP 800 se mantuvo por debajo de la meta establecida, generando un impacto económico significativo. De acuerdo con los datos operativos reportados, las horas de inactividad acumuladas en ese periodo fueron de 511.01 horas:

Considerando que la parada de una línea completa de chancado terciario representa una pérdida económica estimada de \$37,707 USD por hora, las pérdidas acumuladas ascienden a aproximadamente \$19.27 millones USD, calculadas de la siguiente manera:

$$Perdida\ Total = 511.01 \times 37.707 \frac{USD}{h} = 19.27\ millones\ USD$$

Si se considera el impacto por chancadora HP 800 individual (dado que cada línea opera con 2 chancadoras HP 800), el costo por hora de parada es de \$18,854 USD, lo que representa una pérdida directa de aproximadamente \$9.64 millones USD para el mismo periodo.

Estos valores refuerzan el cálculo general realizado para todo el año 2023, donde las desviaciones de disponibilidad generaron pérdidas superiores a \$113 millones USD, sustentadas en el tonelaje no procesado, el contenido metálico recuperable y el precio promedio del cobre durante el periodo.

Este análisis económico reafirma la urgencia de optimizar la gestión de mantenimiento mediante la implementación de estrategias de confiabilidad y mantenimiento centrado en la criticidad de los activos, especialmente en la chancadora HP 800, que es uno de los equipos de mayor impacto en el área de chancado terciario

**Tabla 21**

*Pérdida económica estimada por inactividad operativa (agosto – diciembre 2023)*

<b>Mes</b>	<b>Horas de parada (h)</b>	<b>Pérdida por línea (USD)</b>	<b>Pérdida por chancadora HP 800 (USD)</b>
<b>Agosto</b>	120.33	4,537,283	2,268,702
<b>Septiembre</b>	99.43	3,749,207	1,874,653
<b>Octubre</b>	97.5	3,676,433	1,838,265
<b>Noviembre</b>	109.75	4,138,343	2,069,227
<b>Diciembre</b>	84	3,167,388	1,583,736
<b>Total</b>	<b>511.01</b>	<b>19,268,654</b>	<b>9,634,583</b>

*Fuente:* Elaboración Propia

*Nota.* Estos datos muestran que, durante el periodo de agosto a diciembre de 2023, las pérdidas acumuladas por línea alcanzaron aproximadamente 19.27 millones USD, mientras que por cada chancadora HP 800 la pérdida fue de alrededor de 9.63 millones USD, reafirmando la importancia económica de optimizar la disponibilidad y gestión de mantenimiento.

En resumen, teniendo los resultados de los porcentajes de inoperatividad de agosto a diciembre, y los costos que estos originan pudimos identificar las principales causas de inoperatividad para cada mes, lo que nos permite realizar una propuesta para mejorar el plan de mantenimiento. Por ende, se propone mejorar el plan de mantenimiento a través de varias acciones concretas.

- Primero, optimizar los preparativos para mantenimiento mediante procedimientos estandarizados y mejorar la capacitación del personal para reducir el tiempo dedicado a estos preparativos
- Segundo, reducir el tiempo en reservas operativas analizando y ajustando los procesos sin comprometer la seguridad ni la eficiencia operativa

- Tercero, revisar y ajustar los calendarios de mantenimiento preventivo y programado para mejorar la eficiencia y reducir la frecuencia de paradas
- Cuarto, implementar un sistema de monitoreo predictivo para identificar posibles fallos antes de que ocurran, minimizando así el tiempo de inoperatividad no programada

Finalmente, establecer un sistema de evaluación continua para monitorear la efectividad de los cambios implementados y ajustar el plan de mantenimiento según sea necesario. Con estas acciones, se espera mejorar la disponibilidad de los equipos y reducir significativamente los tiempos de inoperatividad, optimizando así la productividad general.

#### **4.2. Propuesta de Mejora del Plan y Programa de Mantenimiento**

Con el objetivo de optimizar la disponibilidad de la Chancadora Cónica HP 800, se ha desarrollado una propuesta de mejora del Plan y Programa de Mantenimiento para una empresa minera ubicada en el sur del país. Esta iniciativa incluye un análisis del plan de mantenimiento actual de la chancadora, seguido por el diseño de acciones específicas para mejorar su disponibilidad operativa. La propuesta contempla, también, la implementación de medidas correctivas destinadas a reducir el tiempo de inactividad de la chancadora, asegurando así una operación más eficiente y continuo.

Para optimizar la disponibilidad de la Chancadora Cónica HP 800, proponemos una mejora en el plan de mantenimiento existente. Anteriormente, se tenía un plan de mantenimiento general para los equipos, pero la mejora que proponemos consiste en implementar un plan de mantenimiento diario, semanal, mensual y anual. A continuación, se detallan las acciones específicas para cada tipo de mantenimiento:

**Tabla 22***Plan de mantenimiento diario, semanal, mensual, anual*

<b>Tipo de Mantenimiento</b>	<b>Acciones Específicas</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Frecuencia</b>
<b>Mantenimiento Diario</b>	Inspección visual de partes críticas	Detectar problemas menores y prevenir fallos mayores	Diario
	Verificación de niveles de lubricación		
	Limpieza general		
<b>Mantenimiento Semanal</b>	Revisión detallada de componentes clave	Mantener el equipo en óptimas condiciones operativas	Semanal
	Ajustes menores en tornillería		
	Monitoreo de vibraciones		
<b>Mantenimiento Mensual</b>	Sustitución de filtros y lubricantes	Evitar desgaste prematuro y reducir fallos inesperados	Mensual
	Revisión y ajuste de correas y poleas		
	Comprobación eléctrica		
<b>Mantenimiento Anual</b>	Desmontaje y revisión completa	Garantizar la máxima disponibilidad y eficiencia	Anual
	Reemplazo de piezas desgastadas		
	Pruebas de funcionamiento global		

*Fuente:* Elaboración propia.

*Nota.* En la Tabla, se muestra las inspecciones diarias se enfocan en tareas rápidas pero cruciales como la inspección visual de partes críticas, la verificación de niveles de lubricación y la limpieza general. Estas actividades tienen el objetivo de detectar problemas menores antes de que escalen y prevenir paradas mayores. mantenimiento Semanal incluyen una revisión detallada de componentes clave, ajustes de torque y el monitoreo de vibraciones. Estas acciones están diseñadas para mantener los equipos en condiciones óptimas, corrigiendo fallos menores que no se detectaron durante las inspecciones diarias. Mantenimiento Mensual aborda tareas más específicas y complejas, como la sustitución de filtros y lubricantes, así como la revisión de correas y poleas, así como comprobaciones eléctricas. Mantenimiento Anual es más exhaustivo e involucra el desmontaje completo y la revisión total de los equipos. Esto incluye el reemplazo de piezas desgastadas y la realización de pruebas para garantizar que los equipos funcionen de manera eficiente durante el año siguiente. Este mantenimiento es fundamental para asegurar la máxima disponibilidad operativa y eficiencia, reduciendo el riesgo de fallos significativos.

#### **4.2.1 Plan de mantenimiento diario**

La propuesta de optimización del Plan y Programa de Mantenimiento de la Chancadora Cónica HP 800 se centra en la implementación de un esquema de mantenimiento estructurado en distintas frecuencias: diaria, semanal, mensual y anual. Este enfoque integral permite atender de manera eficiente los requerimientos del equipo, garantizando su máxima disponibilidad y operatividad. En ese contexto, se describe a continuación el mantenimiento diario, considerado fundamental para la detección temprana de fallas y la corrección oportuna de desviaciones, contribuyendo al funcionamiento continuo y confiable de la chancadora.

**Figura 20**

*Plan de mantenimiento diario*

		PLAN DE MANTENIMIENTO 2024																															
EQUIPO		CHANCADORA HP 800																															
SUPERVISOR																																	
Actividades	DIAS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
DIARIO																																	
1	Verifique el nivel del tanque de aceite.																																
2	Verifique las temperaturas de entrada de aceite y de la línea de drenaje.																																
3	Verifique la presión del aceite en la caja del contraeje (o contraflecha).																																
4	Verifique la presión diferencial del filtro de aceite.																																
5	Verifique el consumo (o demanda) de potencia y el nivel de la cámara.																																
6	Verifique el ajuste del lado cerrado.																																
7	Verifique la presión de protección de la cámara.																																
8	Verifique la presión de fijación.																																
9	Verifique la distribución de la alimentación.																																
10	Verifique que el área de descarga de la trituradora esté despejada. Saque todo aquello																																
11	Verifique si hay desgaste en la camisa y la cubierta del contrapeso.																																
12	Verifique el tiempo de marcha inercial del contraeje.																																
13	Verifique si hay conexiones y elementos de sujeción (o sujetadores) flojos.																																
14	Verifique si hay ruidos extraños y signos de desgaste o fatiga en las piezas de la trituradora.																																
15	Cuando los recubrimientos de la trituradora (manto y coraza del tazón) están por alcanzar su																																
16	Verifique si hay movimiento del anillo de ajuste.																																
17	Verifique el flujo de aceite y la canasta del filtro.																																
<b>Observaciones</b>																																	

*Fuentes:* Elaboración propia.

El mantenimiento diario de la Chancadora Cónica HP 800 se centra en la verificación y monitoreo de varios parámetros críticos que aseguran su funcionamiento eficiente. A continuación, se describen las actividades específicas a realizar:

1. **Verificación del nivel del tanque de aceite:** Asegurarse de que el nivel de aceite esté dentro de la capacidad indicada en el indicador de nivel garantiza una lubricación adecuada y previene el desgaste prematuro de los componentes.
2. **Temperaturas de entrada de aceite y de la línea de drenaje:** La temperatura de la línea de drenaje debe estar entre 38° y 54°C (100° a 130°F). La diferencia de temperatura entre el drenaje y la entrada debe ser de +0° a 7°C (0° a 12°F) sin enfriadores, y de +0° a 11°C (0° a 20°F) con enfriadores. Mantener estas temperaturas dentro del rango asegura una correcta refrigeración y funcionamiento del sistema.
3. **Presión del aceite en la caja del contra eje:** Debe mantenerse entre 1.4 a 2.8 bares (20 a 40 psi). Una presión adecuada garantiza la lubricación y funcionamiento correcto de los engranajes y cojinetes.
4. **Presión diferencial del filtro de aceite:** Debe estar entre 0.3 a 1.7 bares (5 a 25 psi). Esta verificación es crucial para asegurar que el filtro de aceite esté funcionando correctamente y no esté obstruido.
5. **Consumo de potencia y nivel de la cámara:** Monitorear y registrar estos parámetros ayuda a detectar cualquier anomalía en el funcionamiento de la trituradora.
6. **Ajuste del lado cerrado:** Verificar regularmente para asegurar que la trituradora esté triturando el material al tamaño deseado
7. **Presión de protección de la cámara:** Debe estar entre 179 a 193 bares (2600 a 2800 psi). Esta presión protege la cámara de trituración de sobrecargas y daños.
8. **Presión de fijación:** Debe estar entre 165 a 193 bares (2400 a 2800 psi). Asegura que todos los componentes estén adecuadamente sujetos y funcionando correctamente.
9. **Distribución de la alimentación:** Asegurarse de que la alimentación sea uniforme para evitar desbalanceo y desgaste irregular de los componentes
10. **Área de descarga de la trituradora:** Mantener despejada y remover cualquier acumulación en los brazos para asegurar un flujo continuo de material
11. **Desgaste en la camisa y cubierta del contrapeso:** Inspeccionar regularmente para detectar y corregir cualquier desgaste que pueda afectar la operación de la trituradora
12. **Tiempo de marcha inercial del contra eje:** Debe ser de 60 a 90 segundos. Este parámetro indica la eficiencia de los componentes móviles de la trituradora.

13. **Conexiones y sujetadores flojos:** Verificar y ajustar si es necesario para asegurar que todos los componentes estén firmemente sujetos
14. **Ruidos extraños y signos de desgaste o fatiga:** Inspeccionar y tomar acciones correctivas para prevenir fallos y daños mayores
15. **Recubrimientos de la trituradora:** Verificar que no estén flojos, agrietados o desgastados, lo cual podría afectar la eficiencia de la trituración
16. **Movimiento del anillo de ajuste:** Inspeccionar regularmente para asegurar que esté correctamente posicionado y funcionando
17. **Flujo de aceite y canasta del filtro:** Verificar para asegurar un flujo adecuado de aceite y que el filtro esté limpio y funcionando correctamente

#### **4.2.2 Plan de mantenimiento semanal**

El mantenimiento semanal de la Chancadora Cónica HP 800 es crucial para detectar problemas que no pueden ser observados durante las verificaciones diarias. Esta frecuencia de mantenimiento se centra en inspecciones más detalladas y procedimientos de lubricación para garantizar que el equipo esté operando correctamente y prevenir fallos a largo plazo. A continuación, se describen las actividades específicas a realizar:

**Figura 21**

*Plan de mantenimiento semanal*

PLAN DE MANTENIMIENTO 2024																														
EQUIPO		CHANCADORA HP 800																												
SUPERVISOR																														
Actividades		SEMANA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
SEMANAL																														
1	Verifique el ventilador de la caja del contra eje y los filtros de respiración del tanque de aceite																													
2	Verifique las tuberías para detectar fugas de aceite																													
3	Verifique si hay desgaste en la coraza del tazón, la placa (o plato) de alimentación y el manto y controle que estén correctamente ceñidos																													
4	Engrase las roscas del anillo de ajuste sin fijar el tazón y luego engráselas nuevamente después de fijar al tazón																													
5	Examine el filtro de aceite del tanque de aceite para detectar virutas y escamas metálicas																													
6	Cerciórese de que el anillo de ajuste no se mueva																													
7	Verifique la tensión y alineación de las correas en "V"																													
8	Verifique si hay fugas de aceite																													
9	Verifique si hay grietas en poleas y si el eje está bien ceñido																													
10	Verifique si los tornillos de cabeza de la placa de alimentación están bien ceñidos																													
11	Pruebe todas las alarmas, las luces de alarma y los enclavamientos de los sistemas hidráulicos y de lubricación (dispositivos y de circulación, temperatura y presión, si corresponde)																													
12	Verifique si hay desgaste en la protección de la caja del contra eje, las protecciones del brazo, el contrapeso, la cabeza y el bastidor principal																													
Observaciones																														

*Fuente:* Elaboración propia.

*Nota.* El mantenimiento semanal de la Chancadora Cónica HP 800 se centra en la verificación y mantenimiento de componentes clave para asegurar un rendimiento óptimo. Las tareas específicas programadas para su ejecución son las siguiente:

1. **Ventilador de la caja del contra eje y filtros de respiración del tanque de aceite:** Verificar su funcionamiento para asegurar una adecuada ventilación y evitar la acumulación de presión que podría dañar los componentes internos
2. **Tuberías para detectar fugas de aceite:** Inspeccionar todas las tuberías y conexiones en busca de fugas de aceite, y reparar si es necesario para evitar pérdidas de lubricante y posibles fallos mecánicos
3. **Desgaste en la coraza del tazón, placa de alimentación y manto:** Se debe verificar estos componentes y asegurar que estén correctamente ajustados para evitar vibraciones, así como desgaste irregular que puedan afectar la eficiencia de la trituración.
4. **Engrasado de las roscas del anillo de ajuste:** Se debe realizar este procedimiento sin fijar el tazón y luego una vez más después de fijarlo. Este paso es crucial para asegurar que el anillo de ajuste opere suavemente y se mantenga en la posición correcta.
5. **Filtro de aceite del tanque de aceite:** Se debe inspeccionar en busca de virutas y escamas metálicas, que pueden indicar desgaste interno de los componentes. La detección temprana de estos residuos permite tomar acciones preventivas antes de que ocurran fallos mayores.
6. **Movimiento del anillo de ajuste:** Se debe asegurar de que no ocurra ningún movimiento indeseado del anillo de ajuste, ya que esto podría desajustar la trituradora y afectar su rendimiento.
7. **Tensión y alineación de las correas en "V":** Verificar y ajustar la tensión, así como alineación de las correas en "V" para asegurar una transmisión de potencia eficiente y evitar el desgaste prematuro de las correas y poleas
8. **Fugas de aceite:** Inspeccionar todas las áreas de la chancadora en busca de fugas de aceite y corregir cualquier fuga para mantener la lubricación adecuada de los componentes y evitar contaminaciones
9. **Grietas en poleas y ceñido del eje:** Se debe verificar la presencia de grietas en las poleas y asegurar que el eje esté correctamente ajustado. Las grietas pueden llevar a fallos catastróficos si no se detectan a tiempo.

10. **Tornillos de cabeza de la placa de alimentación:** Asegurarse de que estén bien ceñidos para evitar desajustes que puedan provocar vibraciones y daños en la trituradora
11. **Alarmas, luces de alarma y enclavamientos:** Se debe probar todos los sistemas hidráulicos y de lubricación para asegurarse de que las alarmas, luces de alarma y enclavamientos estén funcionando correctamente. Esto es esencial para la seguridad operativa y para detectar problemas de manera oportuna.
12. **Desgaste en la protección de la caja del contra eje, protecciones del brazo, contrapeso, cabeza y bastidor principal:** Inspeccionar estos componentes y reparar según sea necesario para asegurar que la chancadora esté protegida contra el desgaste y daños que puedan comprometer su integridad estructural

#### **4.2.3 Plan de mantenimiento mensual**

El mantenimiento mensual de la Chancadora Cónica HP 800 está diseñado para abordar aspectos más profundos y críticos que no se cubren en los mantenimientos diarios o semanales. Este plan de mantenimiento incluye inspecciones detalladas y tareas preventivas esenciales para garantizar el rendimiento óptimo y la confiabilidad del equipo. A continuación, se indica el mantenimiento mensual, que se centra en la verificación y ajuste de componentes clave.

**Figura 22**

*Plan de mantenimiento mensual*

PLAN DE MANTENIMIENTO 2024														
EQUIPO		CHANCADORA HP 800												
SUPERVISOR														
Actividades		SEMANA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
MENSUAL														
1	Verifique la presión de precarga de los acumuladores y agregue nitrógeno si es necesario.													
2	Verifique el mecanismo de ajuste donde el piñón encaja en el anillo de transmisión.													
3	Verifique el motor eléctrico y lubrique de acuerdo con las recomendaciones del fabricante.													
4	Libere el conjunto del tazón de la posición de trituración y hágalo girar hacia delante y hacia atrás.													
5	Verifique si hay suciedad y sedimentos en el aceite lubricante. Realice un cambio si es necesario.													
6	Analice los aceites hidráulicos y de lubricación para determinar sus niveles de contaminación.													
7	Verifique el juego axial.													
<b>Observaciones</b>														

*Fuente:* Elaboración propia.

*Nota.* El mantenimiento mensual de la Chancadora Cónica HP 800 implica una serie de actividades cruciales que se deben realizar para garantizar que todos los componentes principales funcionen correctamente y se mantengan en condiciones óptimas. Estas actividades incluyen:

1. **Presión de precarga de los acumuladores:** Verificar la presión de precarga de los acumuladores y agregar nitrógeno si es necesario, y mantener la presión adecuada es esencial para el correcto funcionamiento de los sistemas hidráulicos para evitar fallos
2. **Mecanismo de ajuste del piñón en el anillo de transmisión:** Verificar el correcto funcionamiento del mecanismo de ajuste donde el piñón encaja en el anillo de transmisión
3. **Motor eléctrico:** Se debe verificar y lubricar el motor eléctrico según las recomendaciones del fabricante. Una adecuada lubricación y mantenimiento del motor eléctrico aseguran su eficiencia y prolongan su vida útil.
4. **Conjunto del tazón:** Se debe liberar el conjunto del tazón de la posición de trituración y girarlo hacia delante y hacia atrás. Esto ayuda a asegurar que no haya obstrucciones y que el tazón pueda moverse libremente, evitando posibles daños por atascos.
5. **Suciedad y sedimentos en el aceite lubricante:** Se debe verificar la presencia de suciedad y sedimentos en el aceite lubricante. Realizar un cambio de aceite si es necesario para mantener la limpieza y la eficiencia de los sistemas de lubricación.
6. **Análisis de aceites hidráulicos y de lubricación:** Realizar un análisis de los aceites hidráulicos y de lubricación para determinar sus niveles de contaminación, tomar acciones correctivas en base a los resultados
7. **Juego axial:** Se debe verificar el juego axial y ajustar si es necesario. Mantener el juego axial dentro de los límites recomendados es crucial para evitar el desgaste excesivo y prolongar la vida útil de los componentes móviles.

#### **4.2.4 Plan de mantenimiento anual**

El mantenimiento anual de la Chancadora Cónica HP 800 es una inspección exhaustiva y detallada de todos los componentes críticos del equipo. Este mantenimiento se realiza para identificar y corregir posibles desgastes, daños y problemas de funcionamiento que no se pueden detectar con los mantenimientos anteriores. A continuación, se detallan las actividades del mantenimiento anual.

1. **Desmontaje completo de la trituradora:** Este proceso implica desarmar completamente la trituradora para verificar el desgaste en todas las superficies de rodamiento, incluyendo los bujes de la cabeza, el buje de la excéntrica, los descansos axiales y la cubierta de la quicionera.
2. **Grietas por fatiga en el bastidor principal, cabeza y tazón:** Examinar detalladamente el bastidor principal, la cabeza y el tazón en busca de grietas por fatiga, detectar y reparar estas grietas a tiempo para prevenir fallos catastróficos y asegurar su integridad
3. **Conexiones de tuberías y elementos de sujeción:** Asegurarse de que todas las conexiones del sistema estén correctamente ajustadas
4. **Bola de la cabeza:** Examinar la bola de la cabeza para verificar si está desgastada, y el desgaste excesivo por lo que es importante reemplazarlo si es necesario.
5. **Dientes de la corona y piñón:** Verificar el desgaste en los componentes del sistema, pues estos componentes son cruciales para la transmisión de potencia en la trituradora, y su desgaste puede afectar negativamente el rendimiento del equipo
6. **Sello del guardapolvo:** Verificar el estado del sello del guardapolvo y cambiarlo si es necesario para proteger los componentes internos de la trituradora
7. **Lubricante del reductor de engranajes de la transmisión hidráulica:** Cambiar el lubricante de la transmisión hidráulica según las recomendaciones del fabricante

**Figura 23**

*Plan de mantenimiento anual*

PLAN DE MANTENIMIENTO 2024														
EQUIPO		CHANCADORA HP 800												
SUPERVISOR														
Actividades		AÑO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ANUAL														
1	Desmonte completamente la trituradora para verificar si hay desgaste en todas las superficies de rodamiento (bujes de la cabeza, buje de la excéntrica, descansos axiales y cubierta de la quicionera, también llamada revestimiento del zócalo), de la corona y del piñón.													
2	Examine si hay signos de grietas por fatiga en el bastidor principal, la cabeza y el tazón, y especialmente en el flange (o brida) de montaje del bastidor y la base de las salientes													
3	Verifique que las conexiones de tuberías y todos los elementos de sujeción estén correctamente ceñidos.													
4	Examine la bola (o esférico) de la cabeza para ver si está desgastada.													
5	Examine los dientes de la corona y el piñón para ver si hay desgaste en ellos.													
6	Verifique el sello del guardapolvo (o capelo).													
7	Cambie el lubricante del reductor de engranajes de la transmisión hidráulica.													
<b>Observaciones</b>														

*Fuente:* Elaboración propia.

Habiendo realizado los planes de mantenimiento diario, semanal, mensual y anual, hemos identificado la necesidad de implementar un checklist especial para el sistema hidráulico, dado que este es el área que presenta los problemas más críticos. El mantenimiento inadecuado y la falta de precarga en los acumuladores de gas son los principales factores que afectan el rendimiento del sistema hidráulico, lo que puede llevar a fallas en el equipo y tiempos de inactividad costosos.

El mantenimiento del sistema hidráulico contempla la conexión del conjunto de verificación a una botella de nitrógeno con el fin de incrementar la precarga del acumulador hasta alcanzar la presión establecida. Este conjunto permite monitorear y regular la presión de gas en el acumulador. Es fundamental seguir un procedimiento riguroso que garantice la ausencia de fugas y asegure que la presión se mantenga dentro de los rangos especificados por el fabricante.

El procedimiento para verificar la presión de precarga y cargar el acumulador implica la instalación de los acoples de la manguera, la llave de chequeo y el cilindro de nitrógeno. Se debe presurizar el acumulador lentamente hasta alcanzar la presión adecuada, vigilando el manómetro para garantizar que la presión esté correcta. Una vez alcanzada la presión de precarga adecuada, se cierra la válvula del cilindro de nitrógeno y se retiran los conectores.

Además, se debe verificar periódicamente el acumulador dentro de la consola del sistema hidráulico para garantizar de que el acumulador esté presurizado con la presión de correcta. Este proceso implica la presurización de los cilindros de sujeción, la observación del manómetro y la apertura lenta de la válvula de aguja para ventear el aceite de los cilindros de sujeción. Se debe repetir este procedimiento varias veces para registrar el punto exacto en que la presión del manómetro cae abruptamente a cero, indicando la presión de precarga del gas.

**Figura 24**

*Check List del Sistema Hidráulico*

CHECK LIST DEL SISTEMA HIDRÁULICO			
	PREARRANQUE	SATISFACTORIO	INSATISFACTORIO
1	Los acumuladores se han sometido a inspecciones y se han cargado a los valores de presión adecuados.		
2	Especifique el tipo y la marca del aceite del tanque:		
	Marca: _____ Tipo: _____		
3	Todas las mangueras que van de la consola del sistema hidráulico a la trituradora se han conectado y se han purgado correctamente.		
	PRECAUCIÓN: No bombee aceite antes de que los acumuladores estén cargados.		
4	Los circuitos hidráulicos se purgaron y se verificó la ausencia de fugas.		
5	Sistema de despeje de la cámara		
	a. El sistema conserva la presión cuando se lo presuriza.		
	b. La luz de alarma de baja presión funciona correctamente.		
	c. La válvula de alivio del ciclo de presurización funciona correctamente.		
	d. Las tuberías de los cilindros y acumuladores están libres de fugas.		
6	Sistema de despeje		
	a. Como mínimo, se han realizado dos elevaciones de despeje completas para verificar la operación y purgar el aire del sistema.		
	b. La válvula de alivio funcionó correctamente con el máximo de embolada de despeje.		
7	Sistema de sujeción del tazón		
	a. El sistema mantiene la presión con y sin sujeción.		
	b. La luz de alarma de los cilindros de sujeción funciona correctamente.		
	c. La válvula de alivio funciona correctamente.		
8	Sistema de ajuste de la cámara		
	a. Realice un ciclo completo de giro del tazón en ambas direcciones para verificar que la corona y el piñón encajen correctamente.		
9	Se recomienda realizar los ajustes con carga, establecer el ajuste con la válvula de alivio con carga, de acuerdo con las instrucciones que se proporcionan más adelante en esta misma sección. Verifique el ajuste con carga al abrir y cerrar.		

*Fuente:* Elaboración propia.

El checklist especial para el sistema hidráulico está diseñado para garantizar que todos los componentes del sistema funcionen adecuadamente y que se mantenga la presión adecuada en los acumuladores. El checklist incluye la inspección y carga de los acumuladores a los valores de presión adecuados, la conexión y purga correcta de las mangueras, la verificación de la ausencia de fugas en los circuitos hidráulicos, y la revisión de la operación de las válvulas de alivio y las luces de alarma.

#### **4.2.5 Procedimiento Escrito de Trabajo Seguro (PETS)**

Con el propósito de minimizar los tiempos de inactividad y optimizar la eficiencia operativa de la planta, se implementó un Procedimiento Escrito de Trabajo Seguro (PETS) aplicable a diversas tareas de mantenimiento y reemplazo de componentes en la chancadora HP800, así como en otros equipos asociados. Esta iniciativa fue desarrollada con el fin de asegurar condiciones seguras de trabajo y garantizar el adecuado desempeño operativo de los equipos intervenidos.

- A. Cambio de Head, Bowl & Main Frame Liner**
- B. Cambio de Excéntrica**
- C. Cambio de Contraeje Reparado**
- D. Cambio de Anillo de Sujeción**
- E. Cambio de Anillo de Ajuste**
- F. Cambio Motor Hidráulico de Ajuste**
- G. Cambio de Clamping Cylinder Assembly**
- H. Cambio de Jack Shaft, Polea y Fajas**
- I. Cambio de Motor Eléctrico y su Alineamiento**
- J. Cambio de Seat Linner**
- K. Cambio de Tramp Release y Acumulador**
- L. Cambio de Hopper y Feed Cone**
- M. Cambio de Bomba Hidráulica y Válvulas**
- N. Reductor y Bomba de Lubricación**
- O. Cambio de Main Frame Nuevo**

Para Cada uno de estos trabajos mencionados, se elaboró un PETS. En el Anexo 4, podemos ver el formato del PETS, específicamente para el cambio de Head, Bowl & Main Frame Linner. Al desarrollar este PETS, consideramos varios aspectos cruciales para asegurar la seguridad y eficiencia del trabajo.

- **Personal:** Se definió el personal involucrado en la tarea. El equipo directo incluía a cuatro mecánicos, un soldador y un operador de grúa puente, mientras que un supervisor se encargaba de la supervisión general.
- **Equipos de Protección Personal (EPP):** Se detallaron los equipos de protección personal requeridos. El EPP básico incluía cascos de seguridad, lentes claros, overoles y chalecos con cintas reflectivas. Adicionalmente, se especificaron EPP específicos

como guantes Hy-Flex y de jebe, zapatos de seguridad, protectores auditivos, respiradores de media cara con filtros para partículas, y arneses con líneas de vida.

- **Equipos, Herramientas y Materiales:** Se listaron los equipos, herramientas y materiales necesarios. Entre los equipos, se incluían una grúa puente y una máquina de soldar, mientras que las herramientas abarcaron desde llaves de impacto y dados hasta grilletes y escaleras. Los materiales necesarios incluían el head y bowl reparados con forros nuevos, main frame liners nuevos, orejas para izaje, trapos y solvente desengrasante. Además, se realizaron actividades previas como reuniones de seguridad.
- **Procedimiento:** Se detalló el procedimiento a seguir, que abarcaba desde la despresurización de cilindros hidráulicos y la coordinación con instrumentistas para el desmontaje de sensores, hasta el montaje de componentes nuevos y la realización de pruebas finales de operación.
- **Restricciones:** Se establecieron las restricciones para la ejecución del trabajo. Estas incluían no iniciar la tarea sin revisar el IPERC continuo, el PETS y haber realizado la charla de cinco minutos. También, se especificó que no se deben iniciar tareas si se identifica un riesgo no aceptable en el IPERC continuo, sin antes realizar el corte de energía, bloqueo y etiquetado del equipo, o sin tener el EPP adecuado.

#### 4.3. Indicadores De Mantenimiento

##### 4.3.1 Cálculos de Disponibilidad después de la implementación del nuevo plan de Mantenimiento

A continuación, se presenta el cálculo de la disponibilidad, realizado con base en la implementación de los planes de mantenimiento aplicados a las dos chancadoras HP 800, consideradas como equipos críticos del área de chancado terciario. Este análisis se contrastó con el periodo previo, evidenciando una mejora significativa en la disponibilidad, cuyos resultados se detallan a continuación.

La disponibilidad es clave en la gestión de mantenimiento y se utiliza para medir la disposición de un equipo o sistema de estar en la capacidad de operar cuando se requiere. Se calcula como una relación entre los tiempos en operación y los tiempos en parada debido a fallas y mantenimiento como: Fórmula general de disponibilidad:

$$Disponibilidad(\%) = \left( \frac{Tiempo\ Operativo}{Tiempo\ Total} \right) \times 100$$

Donde:

- **Tiempo Operativo:** Tiempo total en que el equipo estuvo funcionando o disponible para operar.
- **Tiempo Total:** Suma del tiempo en operación y el tiempo de paradas (por fallas o mantenimiento)

**Tabla 23**

*Disponibilidad de la chancadora de enero a marzo del 2024 posterior de la implementación*

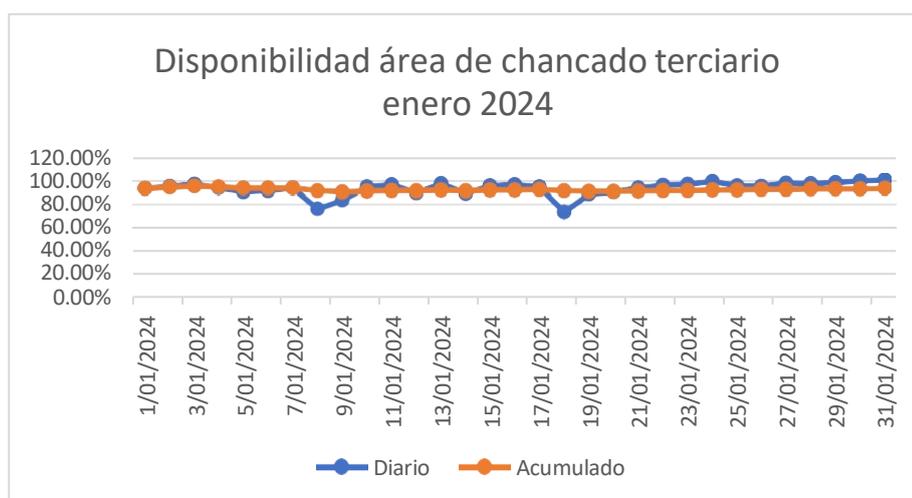
Fecha	Enero Chancado		Fecha	Febrero Chancado		Fecha	Marzo Chancado	
	Diario	% Acum.		Diario	% Acum.		Diario	% Acum.
1-Ene	92.85%	92.85%	1-Feb	100.00%	100.00%	1-Mar	95.94%	95.94%
2-Ene	94.58%	93.72%	2-Feb	98.06%	99.03%	2-Mar	88.36%	92.15%
3-Ene	96.61%	94.68%	3-Feb	94.30%	97.45%	3-Mar	88.00%	90.77%
4-Ene	93.00%	94.26%	4-Feb	83.97%	94.08%	4-Mar	94.53%	91.71%
5-Ene	90.00%	93.41%	5-Feb	96.00%	94.47%	5-Mar	97.00%	92.77%
6-Ene	91.00%	93.01%	6-Feb	82.00%	92.39%	6-Mar	95.43%	93.21%
7-Ene	93.00%	93.01%	7-Feb	95.73%	92.87%	7-Mar	97.00%	93.75%
8-Ene	85.76%	92.10%	8-Feb	93.67%	92.97%	8-Mar	95.52%	93.97%
9-Ene	88.00%	91.64%	9-Feb	94.91%	93.18%	9-Mar	98.98%	94.53%
10-Ene	94.00%	91.88%	10-Feb	97.41%	93.61%	10-Mar	94.00%	94.48%
11-Ene	96.00%	92.25%	11-Feb	97.57%	93.97%	11-Mar	98.15%	94.81%
12-Ene	89.00%	91.98%	12-Feb	93.02%	93.89%	12-Mar	98.03%	95.08%
13-Ene	97.00%	92.37%	13-Feb	95.95%	94.05%	13-Mar	98.68%	95.36%
14-Ene	88.80%	92.11%	14-Feb	95.57%	94.15%	14-Mar	94.18%	95.27%
15-Ene	95.00%	92.31%	15-Feb	98.00%	94.41%	15-Mar	95.23%	95.27%
16-Ene	96.00%	92.54%	16-Feb	93.77%	94.37%	16-Mar	89.79%	94.93%
17-Ene	94.00%	92.62%	17-Feb	97.69%	94.57%	17-Mar	95.22%	94.94%
18-Ene	88.00%	92.37%	18-Feb	99.14%	94.82%	18-Mar	96.31%	95.02%
19-Ene	88.00%	92.14%	19-Feb	93.52%	94.75%	19-Mar	98.15%	95.18%
20-Ene	90.00%	92.03%	20-Feb	99.14%	94.97%	20-Mar	96.01%	95.23%
21-Ene	96.30%	92.23%	21-Feb	93.25%	94.89%	21-Mar	100.00%	95.45%
22-Ene	95.30%	92.37%	22-Feb	84.32%	94.41%	22-Mar	95.22%	95.44%
23-Ene	96.28%	92.54%	23-Feb	94.85%	94.43%	23-Mar	100.00%	95.64%
24-Ene	98.60%	92.80%	24-Feb	98.39%	94.59%	24-Mar	96.57%	95.68%
25-Ene	95.25%	92.89%	25-Feb	97.27%	94.70%	25-Mar	96.35%	95.71%
26-Ene	84.65%	92.58%	26-Feb	97.54%	94.81%	26-Mar	96.12%	95.72%
27-Ene	97.50%	92.76%	27-Feb	97.96%	94.93%	27-Mar	95.31%	95.71%
28-Ene	96.80%	92.90%	28-Feb	100.00%	95.11%	28-Mar	88.91%	95.46%
29-Ene	98.00%	93.08%				29-Mar	96.53%	95.50%
30-Ene	99.00%	93.28%				30-Mar	95.83%	95.51%
31-Ene	100.00%	93.49%				31-Mar	99.13%	95.63%

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Se muestra la disponibilidad diaria y acumulada de la chancadora después de la implementación del plan de mantenimiento en los meses de enero, febrero y marzo del 2024, los cuales incluyen disponibilidades del chancado terciario, detalladas en términos de porcentaje diario y acumulado. Para cada día del mes, se presentan dos columnas: una para el porcentaje diario de disponibilidad y otra para el acumulado hasta ese día.

**Figura 25**

*Disponibilidad de la chancadora – enero*

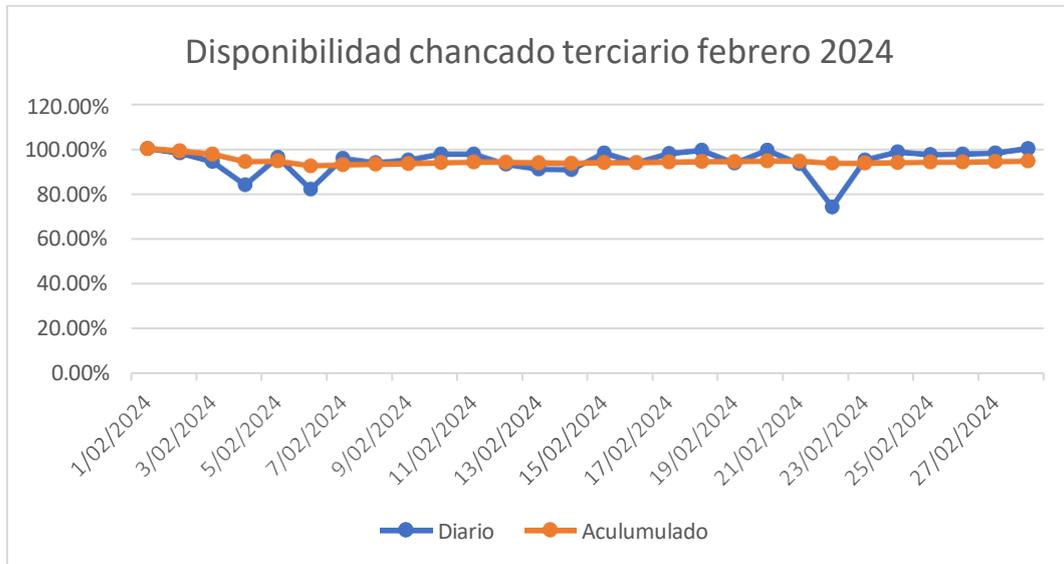


*Fuente:* Elaboración propia.

*Nota.* En la Figura, se refleja la disponibilidad de la chancadora durante el mes de enero, posterior a la implementación del plan de mantenimiento en el proceso de chancado. Se presenta el porcentaje diario de chancado terciario y su acumulado correspondiente, lo que permite observar la evolución del rendimiento a lo largo del mes. El valor de "Chancado Terciario Diario" representa el rendimiento de cada jornada específica, mientras que el "Acumulado" muestra el progreso total hasta esa fecha. Estos datos proporcionan una visión general del desempeño acumulado del proceso desde su implementación, destacando las fluctuaciones y los picos en la eficiencia del chancado a lo largo del mes. Dándonos un amulado de 93.49 en este mes empezamos una variación significativa después de implementar los nuevos planes de mantenimiento.

**Figura 26**

*Disponibilidad de la chancadora – febrero*



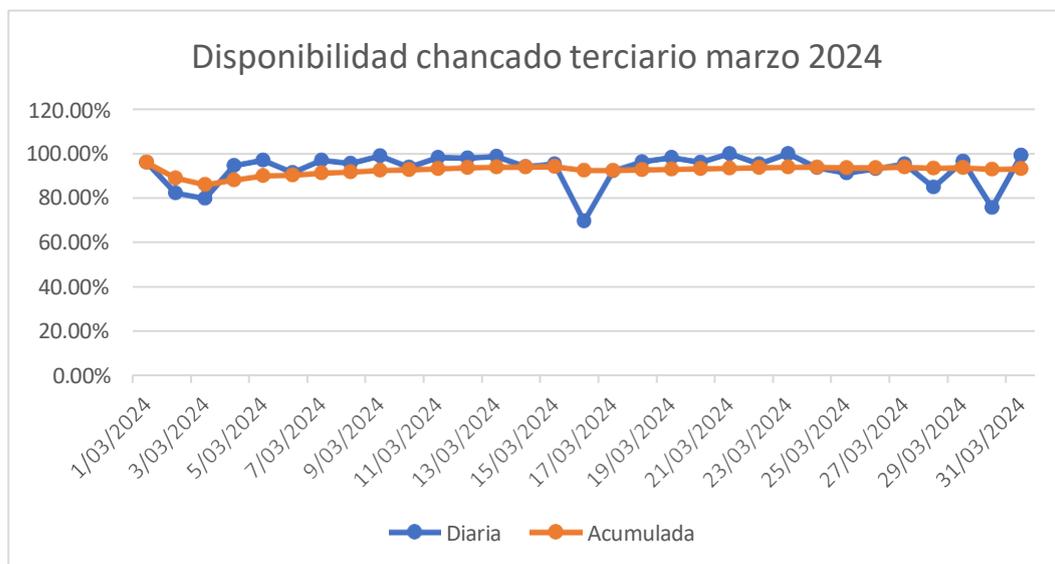
*Fuente:* Elaboración propia.

Nota: Los datos que reflejan la disponibilidad de la chancadora durante el mes de febrero de 2024, posterior a la implementación del plan de mantenimiento en el proceso de chancado. De tal forma, se presenta el porcentaje de Chancado Terciario Diario y su Acumulado correspondiente. El valor de "Chancado Terciario Diario" muestra el rendimiento alcanzado en cada jornada específica, mientras que el "Acumulado" refleja el progreso total hasta esa fecha.

La disponibilidad acumulada para este mes fue de 95.11%. En contraste, el 22 de febrero, la disponibilidad diaria cayó significativamente a 84.32%, y alcanzando un punto máximo del 100% al inicio y final del mes. El acumulado nos da una visión más completa del desempeño a lo largo del mes, permitiendo identificar tendencias, fluctuaciones y variaciones en la eficiencia del proceso de chancado, lo que es clave para el análisis de la eficiencia del plan de mantenimiento implementado.

**Figura 27**

*Disponibilidad de la chancadora – marzo*



*Fuente:* Elaboración propia.

Nota. En la Figura, se reflejan la disponibilidad de la chancadora durante el mes de marzo de 2024, siguiendo el mismo esquema de medición posterior de la implementación del plan de mantenimiento.

La disponibilidad acumulada fue de 95.63 %. A lo largo del mes, se observa que el rendimiento varió, con picos como el 23 de marzo, cuando alcanzó 100.00%, y descensos como el 16 de marzo, con un 69.79% diario.

**Tabla 24**

*Disponibilidad mensual de enero a marzo del 2023 después de la implementación*

<b>Disponibilidad Mensual</b>	
Enero	93.49
Febrero	95.11
Marzo	95.63
Promedio	<b>94.74</b>

*Fuente:* Elaboración propia

**Tabla 25**

*Resumen de Disponibilidad de la Chancadora desde enero a marzo posterior de la implementación*

Periodo	Disponibilidad		
	Real	Meta	Variación
Muestra 2023	86.12%	98.00%	11.88%
Muestra 2024	94.74%	98.00%	3.26%
Mejora en la Disponibilidad			8.62%

*Fuente:* Elaboración propia.

*Nota.* A continuación, se muestra una descripción de los datos de la tabla.

- **Disponibilidad Real 2023:** 86.12%
- **Disponibilidad Real 2024:** 94.74%
- **Mejora:** +8.62% en la disponibilidad real de 2023 a 2024.
- La variación con respecto a la meta de **98%** ha disminuido considerablemente, pasando de **11.88%** en 2023 a **3.26%** en 2024, reflejando una mejora significativa.

Este cambio muestra un avance positivo en la eficiencia y hacia el cumplimiento de las metas de disponibilidad.

### 4.3.2. Cálculos y comparación del MTBF Y MTTR Antes y Después de la implementación del nuevo plan de Mantenimiento

**Tabla 26**

*Horas Paradas Por Mantenimiento No Programado De Enero A Marzo Del 2024*

No	Fecha	Equipo	Turno	Horas	Tipo de mantenimiento	Modo Falla	Acción	Sistema	Componente
1	17/01/2024	HP 800 - 5	A	6.5	No Programado	Falla sistema Hidráulico	Cambio	Sistema Hidráulico	Electro_ válvulas
2	22/01/2024	HP 800 - 6	A	5	No Programado	Soltura	Cambio	Elemento de desgaste	Forros
3	23/01/2024	HP 800 - 6	B	0.5	No Programado	Alto Diferencial Presión	Inspección	Sistema Lubricación	Filtros
4	26/01/2024	HP 800 - 6	A	4.2	No Programado	Fuga De Aceite	Inspección	Sistema Lubricación	Tanque De Lubricación
5	27/01/2024	HP 800 - 6	B	3	No Programado	Soltura	Retiro	Sistema Transmisión	Correa
6	28/01/2024	HP 800 - 6	A	3.5	No Programado	Desgaste	Reemplazo	Sistema Transmisión	Correas
7	29/01/2024	HP 800 - 6	A	2	No Programado	-	-	-	-
8	31/01/2024	HP 800 - 6	B	3	No Programado	Ruido Anormal	Limpieza Mineral	Sistema Transmisión	Poleas
9	21/02/2024	HP 800 - 6	A	0.7	No Programado	Saturación	Reemplazo	Sistema Lubricación	Filtros
10	22/02/2024	HP 800 - 6	A	5.4	No Programado	Falla sistema Hidráulico	Cambio	Sistema Hidráulico	Electro_ válvulas
11	24/02/2024	HP 800 - 5	B	0.5	No Programado	Alto Diferencial Presión	Reemplazo	Sistema Lubricación	Filtros
12	1/03/2024	HP 800 - 6	B	3	No Programado	Fuga Aceite	Inspección	Sistema Hidráulico	Cilindro De Levante
13	2/03/2024	HP 800 - 6	A	4.8	No Programado	Fuga Aceite	Reemplazo	Sistema Fijación	Clamping Cylinder
14	7/03/2024	HP 800 - 5	A	5.2	No Programado	Alta Temperatura	Reemplazo	Sistema Lubricación	Tanque De Lubricación
15	16/03/2024	HP 800 - 5	A	5	No Programado	Inspección	Cambio	Sistema Hidráulico	Electro_ válvulas
				Total, de Horas Paradas	<b>52.3</b>				

Nota. Elaboración Propia.

**Figura 28**

*Comparación De MTBF*



$$MTBF = \frac{\text{Tiempo total de operaciones}(TO)}{\text{Numero de fallos}(N)}$$

**Antes:**

$$MTBF = \frac{3600}{136} = 26,4705 \approx 26,4$$

**Despues:**

$$MTBF = \frac{2184}{15} = 146.6 = 147$$

*Fuente.* Elaboración propia.

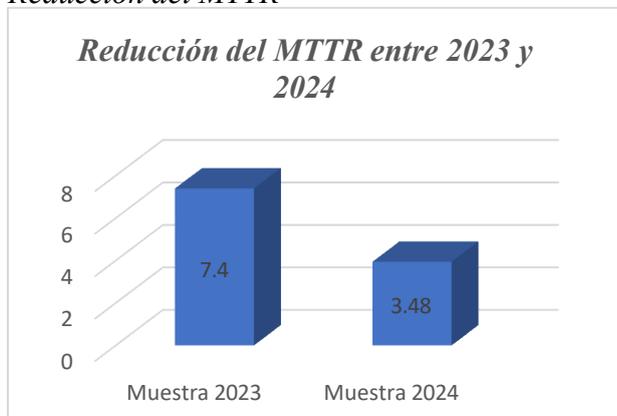
En Resumen, se ve un Incremento del MTBF

- **Muestra 2023:** El valor del MTBF es **26.4**.
- **Muestra 2024:** Aumenta a **147 horas entre fallas**.

Esto representa un aumento significativo en la confiabilidad del sistema, un **MTBF mayor** implica que el equipo tiene un intervalo promedio más largo entre fallos, lo que refleja mejoras en el mantenimiento, diseño o calidad de los componentes.

**Figura 29**

*Reducción del MTTR*



$$MTTR = \frac{\text{Tiempo total de reparación}}{\text{Numero de fallas}}$$

**Antes:**

$$MTTR = \frac{120}{16} = 7.5$$

**Despues:**

$$MTTR = \frac{52.3}{15} = 3.48 \text{ horas}$$

*Fuente:* Elaboración propia.

*Nota.* El gráfico muestra una comparación clara entre los valores de **MTTR (Tiempo medio entre Reparación)** de dos períodos: **Muestra 2023** y **Muestra 2024**. A continuación, algunos puntos clave:

#### **Disminución del MTTR:**

- En **2023**, el MTTR era de **7.4** horas.
- En **2024**, se redujo a **3.95** horas. Esto representa una disminución del **46.6%** en el tiempo promedio de reparación, lo que indica un aumento significativo en la eficiencia del proceso de mantenimiento.

Una reducción del MTTR implica menor tiempo de inactividad en sistemas o equipos, lo que probablemente mejora la productividad y reduce costos asociados a interrupciones.

#### **4.3.3. Análisis De Tendencia Y Estacionalidad Bajo El Concepto De Promedios Móviles.**

El promedio móvil suaviza las fluctuaciones en los datos para identificar la tendencia. Para este análisis, se procedió a dividir los tiempos de inactividad de los meses en semanas de los periodos antes y después de la implementación del plan de mantenimiento y se procede a realizar el cálculo mediante la siguiente formula:

$$PM_t = \frac{X_t + X_{t-1} + X_{t-2}}{3}$$

Donde:

- $PM_t$ : Promedio móvil en la semana t.
- $X_t$ : Valor de las horas de inactividad en la semana t.

Para un promedio móvil de 3 semanas:

1. Suma las horas de inactividad de la semana actual y las dos semanas anteriores.
2. Divide entre 3.

Calculamos Para la **Semana 3**:

$$PM_3 = \frac{X_3 + X_2 + X_1}{3} = \frac{10 + 38 + 63}{3} = 37$$

**Tabla 27**

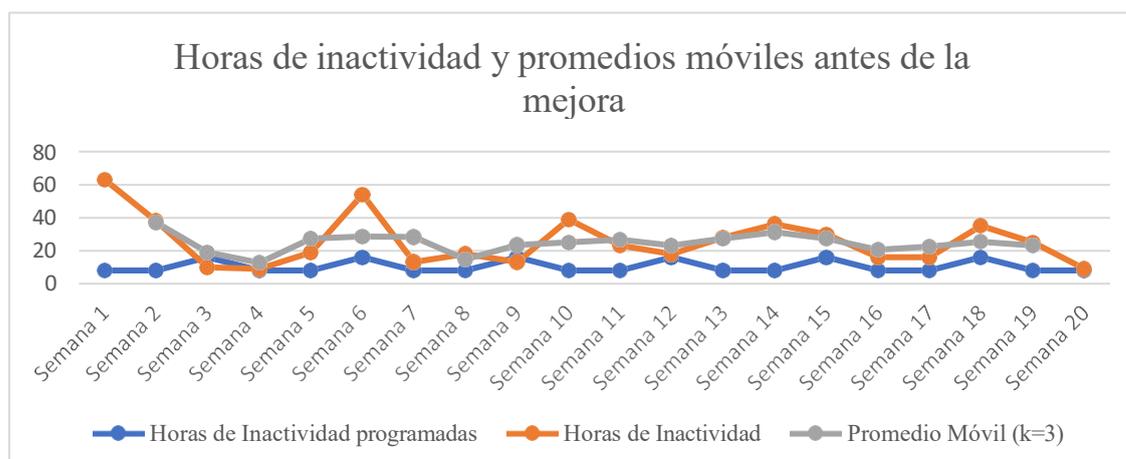
*Promedios móviles de las horas de inactividad de los meses de agosto a diciembre del 2023 divididos en 20 semanas*

Semana	Horas de Inactividades programadas	Horas de Inactividad	Promedio Móvil (k=3)
Semana 1	8	63	
Semana 2	8	38	37
Semana 3	16	10	19
Semana 4	8	9	13
Semana 5	8	19	27
Semana 6	16	54	29
Semana 7	8	13	28
Semana 8	8	18	15
Semana 9	16	13	23
Semana 10	8	39	25
Semana 11	8	23	27
Semana 12	16	18	23
Semana 13	8	28	27
Semana 14	8	36	31
Semana 15	16	30	27
Semana 16	8	16	21
Semana 17	8	16	22
Semana 18	16	35	25
Semana 19	8	25	23
Semana 20	8	9	

*Fuente: Elaboración propia*

**Figura 30**

*Grafica de promedios móviles de los meses de agosto a diciembre*



*Fuente:* Elaboración propia

Nota: La Tabla 27 y la Figura 29. Muestran los valores semanales de horas de inactividad y los promedios móviles simples calculados con una ventana de tres periodos (PMS-3). A continuación, describimos.

- **Semana:** Indica las semanas consecutivas de observación (Semana 1 a Semana 20).
- **Horas de Inactividad:** Representa la cantidad de horas que la chancadora HP800 estuvo inactivo durante cada semana.
- **Horas de Inactividad Programadas:** Nos indica las horas de inactividad programadas durante el mes siendo estas 8 horas a la semana y cada 3 semanas 16 horas.
- **PMS-3 (Promedio Móvil Simple - Ventana de 3):** Calcula el promedio móvil utilizando los valores de las horas de inactividad para un intervalo de tres semanas. Este promedio ayuda a suavizar las fluctuaciones y revelar tendencias subyacentes.

### **Interpretación del Promedio Móvil**

- Los valores de PMS-3 comienzan desde la Semana 2, ya que se necesita información de la semana anterior y posterior para calcular el promedio.
- El promedio móvil fluctúa menos que los valores originales, lo que indica una suavización de las variaciones extremas en las horas de inactividad.

## Observaciones

- **Semanas iniciales y finales:** No hay valores para el promedio móvil en la primera y última semana, ya que no es posible calcular el promedio sin los valores vecinos.
- **Patrones detectados:** En semanas como la 5, el **PMS-3** de 27 refleja una tendencia general a la estabilidad pese a un pico de 54 horas.
- Hacia el final de la tabla (semana 19), el promedio móvil indica una disminución de inactividad.

**Tabla 28**

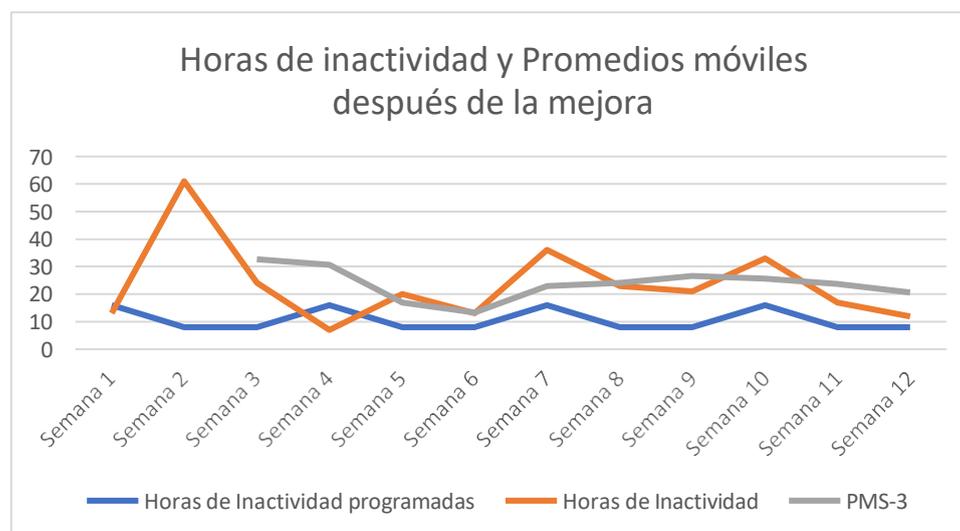
*Promedios móviles de las horas de Inactividad de los meses de enero a marzo del 2024 dividido en 12 semanas*

<b>Semana</b>	<b>Horas de Inactividad programadas</b>	<b>Horas de Inactividad</b>	<b>PMS-3</b>
Semana 1	16	13	
Semana 2	8	61	
Semana 3	8	24	33
Semana 4	16	7	31
Semana 5	8	20	17
Semana 6	8	13	13
Semana 7	16	36	23
Semana 8	8	23	24
Semana 9	8	21	27
Semana 10	16	33	26
Semana 11	8	17	24
Semana 12	8	12	21

*Fuente:* Elaboración propia

**Figura 31**

*Grafica de promedios móviles de los meses de enero a marzo del 2024*



*Fuente:* Elaboración propia

*Nota.* La Tabla 28 y la Gráfica 30 Muestra los valores semanales de horas de inactividad y los promedios móviles simples calculados con una ventana de tres periodos (PMS-3). A continuación, describimos.

- **Semana:** Indica las semanas consecutivas de observación (Semana 1 a Semana 12).
- **Horas de Inactividad:** Muestra las horas que el sistema estuvo inactivo en cada semana específica. Los valores varían considerablemente, con picos en semanas como la **Semana 2** (61 horas) y valores bajos en semanas como la **Semana 4** (7 horas).
- **PMS-3 (Promedio Móvil Simple - Ventana de 3):** Calcula el promedio móvil utilizando los valores de las horas de inactividad para un intervalo de tres semanas. Este promedio ayuda a suavizar las fluctuaciones y revelar tendencias subyacentes.
- **Horas de Inactividad Programadas:** Nos indica las horas de inactividad programadas durante el mes siendo estas 8 horas a la semana y cada 3 semanas 16 horas.

## Interpretación del Promedio Móvil

### 1. Fluctuación de las Horas de Inactividad:

- Las horas de inactividad presentan una gran variabilidad, lo que indica momentos de alta y baja actividad.

- Se observan picos en las **Semanas 2 y 7** (61 y 36 horas, respectivamente), y caídas en las **Semanas 4 y 12** (7 y 12 horas, respectivamente).

## 2. Tendencia a través del PMS-3:

- El promedio móvil suaviza estas fluctuaciones y ayuda a identificar tendencias más estables:
  - Por ejemplo, el PMS-3 en la **Semana 6** es 23, a pesar de un pico en la **Semana 7** (36 horas).
- La tendencia general parece mostrar una **disminución** de las horas de inactividad en semanas posteriores.

## 3. Extremos (Inicio y Fin):

- Las semanas iniciales y finales no cuentan con valores de promedio móvil debido a la falta de datos vecinos

**Tabla 29**

*Tabla de Cálculos de error en el modelo de promedios móviles*

Desviación Estacionaria	Error	Error Absoluto	Error Cuadrático
5.41%	73.44%	73.44%	
	89.79%	89.79%	80.62%
	8.87%	8.87%	0.79%
	-2.77%	2.77%	0.08%
	-3.19%	3.19%	0.10%
	-5.24%	5.24%	0.27%
	4.13%	4.13%	0.17%
	1.81%	1.81%	0.03%
	0.66%	0.66%	0.00%
	3.22%	3.22%	0.10%
	-8.50%	8.50%	0.72%
	3.74%	3.74%	0.14%
	1.58%	1.58%	0.03%
	-1.70%	1.70%	0.03%
	-5.51%	5.51%	0.30%
	3.03%	3.03%	0.09%
	-0.77%	0.77%	0.01%
	2.67%	2.67%	0.07%
	-1.01%	1.01%	0.01%
	2.51%	2.51%	0.06%
	8.34%	11.21%	4.40%
	<b>Sesgo</b>	<b>DMA Desviación Media Absoluta</b>	<b>MSE Promedio del Cuadrado del Error</b>

*Fuente:* Elaboración propia

*Nota.* La Tabla presentada corresponde al análisis de errores del modelo de promedios móviles del porcentaje de disponibilidad de un sistema o proceso evaluado a lo largo de varias semanas. A continuación, se describe su estructura y propósito:

**Métricas Generales (resumen):**

**Desviación Estándar (Des Est):**

Un valor que mide la dispersión o variabilidad del error en relación con el promedio. En este caso, la desviación estándar es 5.41%, lo que indica que los errores están dispersos en torno al valor central con moderada variabilidad.

**Sesgo:**

Un indicador que muestra si el modelo tiende a sobreestimar o subestimar en promedio. En este caso, el sesgo es 8.34%, lo que sugiere una tendencia hacia el sesgo positivo (subestimación).

**DMA (Desviación Media Absoluta):**

Es el promedio de los valores absolutos de los errores, igual a 11.21%. Este indicador evalúa la magnitud promedio del error sin considerar su signo.

**MSE (Promedio del Cuadrado del Error):**

El promedio de los errores cuadráticos, igual a **4.40%**. Este valor pondera más los errores grandes y es comúnmente utilizado para evaluar modelos predictivos.

Y nuestro calculo nos indica que, aunque la mayoría de los errores son moderados, los valores extremos tienen un impacto menor en el análisis general. Esto sugiere una cierta estabilidad en las operaciones **siendo viable nuestro modelo utilizado.**

#### **4.3.4. Comparación De Resultados Mediante Regresión Lineal**

La regresión lineal es una herramienta útil en el análisis y optimización del mantenimiento, porque permite predecir tendencias, identificar relaciones entre variables y planificar actividades preventivas.

A continuación, realizaremos una comparación de los resultados obtenidos realizando los cálculos de regresión lineal.

## Fórmula de la regresión lineal

La ecuación de una línea recta es:

$$y = mx + b$$

Donde:

- $m$  es la pendiente de la línea, calculada como:

$$m = \frac{n \sum(xy) - \sum(x) \sum(y)}{n \sum(x^2) - (\sum(x))^2}$$

- $b$  es la intersección en el eje  $y$ , calculada como:

$$b = \frac{\sum(y) - m \sum(x)}{n}$$

- $x$  son las semanas,  $y$  son las horas de inactividad,  $n$  es el número de puntos de datos.

## Cálculos para la Tabla 27

Datos:

$$x = [1, 2, 3, \dots, 20], \quad y = [63, 38, 10, 9, 19, 54, 13, \dots, 9]$$

Número de puntos:  $n=20$

Calcular las sumas necesarias:

$$\sum(x) = 210, \quad \sum(y) = 641, \quad \sum(x^2) = 2870, \quad \sum(xy) = 6532$$

Calcular la pendiente ( $m$ ):

$$m = \frac{20(6532) - (210)(641)}{20(2870) - (210)^2} = -0.6165$$

Calcular la intersección ( $b$ ):

$$b = \frac{641 - (0.6165)(210)}{20}$$

**Ecuación final para la Tabla 27:**

$$y = -0.62x + 32.07$$

con estos datos se elaboró la siguiente tabla.

**Tabla 30**

*Regresión lineal de los meses de enero a marzo del 2024 dividido en 20 semanas con datos reales y predicciones*

Semana	Horas de Inactividad	Predicción
1	63	31.46
2	38	30.84
3	10	30.22
4	9	29.61
5	19	28.99
6	54	28.37
7	13	27.76
8	18	27.14
9	13	26.52
10	39	25.91
11	23	25.29
12	18	24.68
13	28	24.06
14	36	23.44
15	30	22.83
16	16	22.21
17	16	21.59
18	35	20.98
19	25	20.36
20	9	19.74

*Fuente:* Elaboración propia

**Cálculos para la Tabla 30**

Datos:

$$x = [1,2,3, \dots, 12], \quad y = [13,61,24,7,20,13, \dots, 12]$$

Número de puntos:  $n=12$

Calcular las sumas necesarias:

$$\Sigma(x) = 78, \quad \Sigma(y) = 300, \quad \Sigma(x^2) = 650, \quad \Sigma(xy) = 1594$$

Calcular la pendiente (m):

$$m = \frac{12(1594) - (78)(300)}{12(650) - 78^2} = 0.6482$$

Calcular la intersección (b):

$$b = \frac{300 - (-0.8462)(78)}{12} = 28.83$$

**Ecuación final para la Tabla 30:**

$$y = -0.85x + 28.83$$

### **Tabla 31**

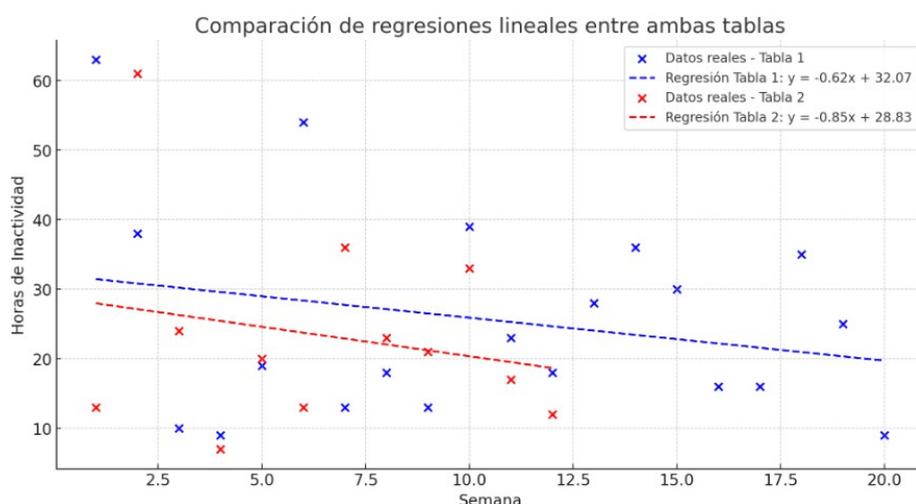
*Regresión lineal de los meses de enero a marzo del 2024 dividido en 12 semanas con datos reales y predicciones*

<b>Semana</b>	<b>Horas de Inactividad</b>	<b>Predicción</b>
1	13	27.99
2	61	27.14
3	24	26.29
4	7	25.45
5	20	24.60
6	13	23.76
7	36	22.91
8	23	22.06
9	21	21.22
10	33	20.37
11	17	19.53
12	12	18.68

*Fuente:* Elaboración propia

**Figura 32**

*Grafica de comparación de regresiones lineales entre ambas tablas*



*Fuente:* Elaboración propia

*Nota.* El Gráfico muestra una comparación de las horas de inactividad en ambas tablas a lo largo de las semanas y muestra las líneas de tendencia ajustadas por regresión lineal.

#### Elementos del gráfico:

- **Puntos dispersos:** Los puntos **azules** representan las horas de inactividad por semana para la **Tabla 27**.
- Los puntos **rojos** representan las horas de inactividad por semana para la **Tabla 28**. Estos puntos muestran los valores reales reportados en cada semana.
- **Líneas de regresión lineal:**

La **línea azul discontinua** corresponde a la regresión de la **Tabla 27**, con la ecuación  $y = -0.62x + 32.07$ . Esta línea muestra una tendencia decreciente, indicando una disminución promedio de 0.62 horas de inactividad por semana.

La **línea roja discontinua** corresponde a la regresión de la **Tabla 28**, con la ecuación  $y = -0.85x + 28.83$ . Esta línea también muestra una tendencia decreciente, con una reducción más pronunciada (0.85 horas por semana en promedio).

**Observaciones:** Las **Tendencias en ambas tablas** muestran una disminución general en las horas de inactividad a medida que avanzan las semanas.

La **Tabla 28** tiene una pendiente más pronunciada, lo que indica que las horas de inactividad disminuyen más rápidamente en este caso lo que significa que los tiempos entre fallas son más largos.

- **Comparación visual:** Aunque los valores iniciales son diferentes, las líneas de regresión indican que las horas de inactividad se reducen y las horas de mantenimiento se están optimizando.

La **Tabla 27** empieza con valores más altos (por ejemplo, 63 horas en la semana 1), mientras que la **Tabla 28** tiene valores iniciales más bajos (13 horas en la semana 1).

- **Dispersión de datos:**

Los datos de la **Tabla 27** están más dispersos y tienen valores extremos más altos, como las 63 horas de inactividad en la primera semana.

Los datos de la **Tabla 28** son más uniformes, con un rango más reducido.

En resumen, el gráfico refleja una disminución progresiva de las horas de inactividad en ambas tablas, aunque con diferencias en la velocidad de reducción y la variabilidad de los datos

#### 4.3.5. ANÁLISIS WEIBULL

La **distribución Weibull** es una probabilidad continua grandemente aplicada en análisis de confiabilidad, de vida útil y análisis de riesgos. Es particularmente útil para modelar tiempos de fallo de componentes, equipos y sistemas. Su flexibilidad proviene de su capacidad para representar diferentes formas de distribución dependiendo de los valores de sus parámetros.

#### **Función de Densidad de Probabilidad (PDF):**

La fórmula para calcular la probabilidad de que un evento ocurra en un tiempo exacto  $x$  es:

$$f(x; k; \lambda) = \begin{cases} \frac{k}{\lambda} \left(\frac{x}{\lambda}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{x}{\lambda}\right)^k}, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases}$$

### **En donde:**

- **F (x):** Densidad de probabilidad
- **k:** Parámetro de forma
- **$\lambda$ :** Parámetro de escala
- **x:** Valor de la variable aleatoria (generalmente el tiempo)

Este método permite estimar parámetros críticos que describen el comportamiento de los fallos y ayudan a optimizar los programas de mantenimiento.

Este análisis se basa en los tiempos hasta fallo y permite calcular indicadores como el MTBF (Tiempo Medio Entre Fallos) y la probabilidad de supervivencia en un tiempo dado.

### **Datos Utilizados**

Para este análisis, se utilizaron datos históricos de tiempos entre fallos (en horas) registrados para las chancadoras HP 800-5 y HP 800-6. Los datos recopilados son las horas de operación de los equipos hasta que la falla se produzca a continuación se muestra la tabla con los cálculos realizados.

### **Vida Característica ( $\eta$ ):**

La **vida característica** se define como el valor de la  $n$  (el parámetro de escala). En un modelo Weibull, representa el tiempo en el cual el **63,2%** de los elementos habrán fallado:

$$\eta = 63$$

Esto quiere decir que el Plan de Mantenimiento se tiene que ajustar hasta ese periodo de trabajo.

**Tabla 32**

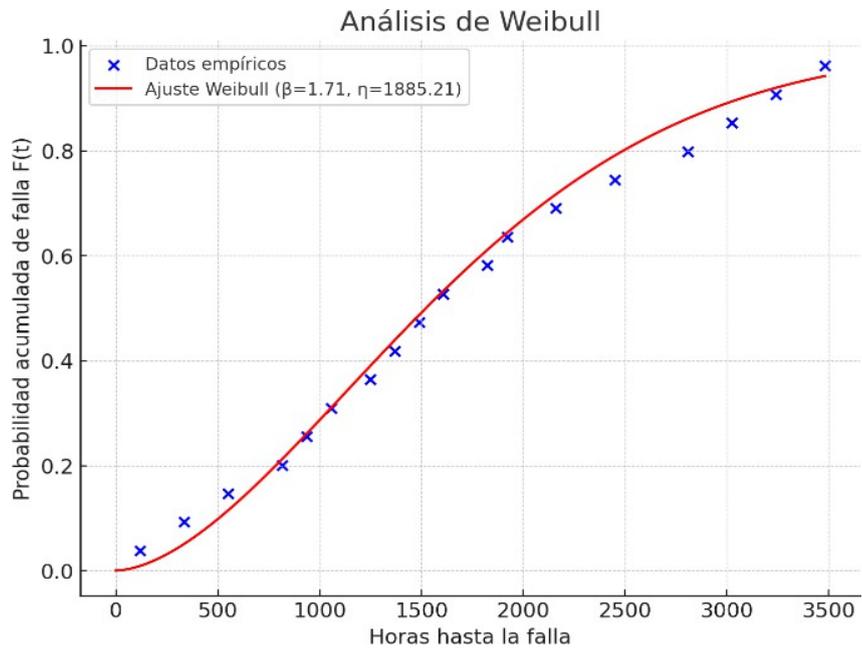
*Tabla de horas hasta la falla y cálculos realizados para el análisis de Weibull*

Horas hasta la falla	Rango	Probabilidad acumulada	Ln(x)	$\ln(\ln(\frac{1}{1-y}))$	xy	$x^2$	$y^2$
120	1	0.038043478	4.78749174	-3.24969528	-15.5578893	22.9200772	10.5605194
336	2	0.092391304	5.81711116	-2.33364298	-13.5750606	33.8387822	5.44588957
552	3	0.14673913	6.31354805	-1.84080297	-11.621998	39.8608889	3.38855556
816	4	0.201086957	6.70441435	-1.49386545	-10.015493	44.9491718	2.23163398
936	5	0.255434783	6.84161548	-1.22093305	-8.35315443	46.8077023	1.49067751
1056	6	0.309782609	6.96224346	-0.99223088	-6.90815297	48.4728341	0.98452212
1248	7	0.364130435	7.12929755	-0.79238907	-5.64917745	50.8268835	0.62788044
1368	8	0.418478261	7.2211051	-0.61229202	-4.42142504	52.1443588	0.37490152
1488	9	0.472826087	7.30518822	-0.44593595	-3.25764602	53.3657749	0.19885887
1608	10	0.527173913	7.38274645	-0.2889794	-2.1334616	54.5049451	0.08350909
1824	11	0.581521739	7.50878717	-0.13796367	-1.03593987	56.3818848	0.01903398
1920	12	0.635869565	7.56008047	0.01019103	0.07704503	57.1548166	0.00010386
2160	13	0.690217391	7.6778635	0.15861313	1.21780995	58.9495879	0.02515812
2448	14	0.744565217	7.80302664	0.31099922	2.4267352	60.8872248	0.09672051
2808	15	0.798913043	7.94022777	0.47251163	3.75185	63.047217	0.22326724
3024	16	0.85326087	8.01433574	0.65185575	5.22419082	64.2295773	0.42491592
3240	17	0.907608696	8.08332861	0.86782393	7.01490599	65.3402014	0.75311837
3480	18	0.961956522	8.15478757	1.18449196	9.65928033	66.5005604	1.40302121
		7.173913043	77.4303721	-9.75224406	-53.1575809	940.182489	28.3322873

*Fuente: Elaboración propia*

**Figura 33**

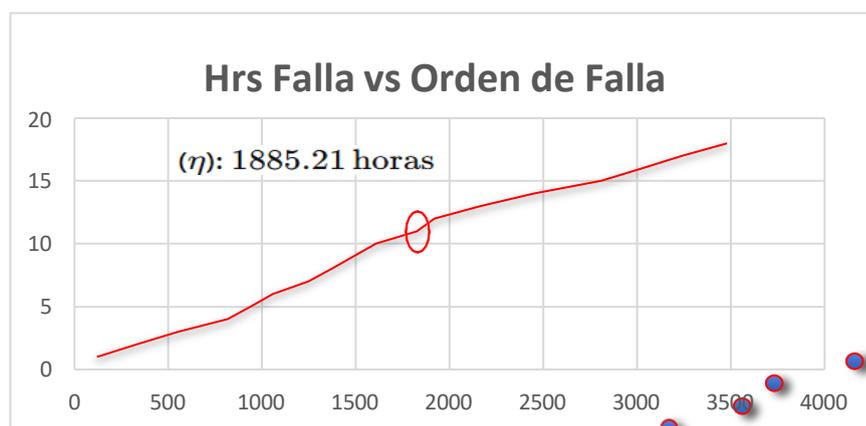
*Grafica De Análisis de Weibull*



*Fuente:* Elaboración propia

**Figura 34**

*Grafica De Análisis de Weibull de Horas de falla y orden de la Falla.*



*Fuente:* Elaboración propia

Interpretación: La tabla y los gráficos muestran los cálculos realizados en Excel obteniendo los siguientes resultados

1. **Parámetro de forma ( $\beta$ ):**

- Un valor de  $\beta=1.71>1$  indica que la tasa de falla se incrementa con el tiempo, lo que es característico de una fase de desgaste o envejecimiento del sistema.

**2. Parámetro de escala ( $\eta$ ):**

- Representa la vida característica del sistema, en este caso, 1885.21 horas. Aproximadamente el 63.2% de las fallas ocurren antes de este tiempo.

Los resultados del análisis de Weibull muestran que ambas chancadoras presentan patrones de desgaste, siendo más acentuado en la HP 800-6. Este comportamiento indica la necesidad de ajustar los intervalos de mantenimiento preventivo a 200 horas para evitar fallos críticos.

Se prevé que a las 1885.21 horas. Aproximadamente, ocurre la mayor cantidad de fallas lo cual indica que se deben ajustar los planes de Mantto a esa cantidad de horas en estos equipos.

Este análisis nos sirvió para modificar las horas de mantenimiento tanto preventivo, predictivo y correctivos. Como en la elaboración de nuestras cartillas y formatos para aumentar la disponibilidad de los equipos.

**4.3.6. Cálculos comparativos de reducción de costos por mejora de disponibilidad**

A continuación, presentaremos los cálculos estimados obtenidos en después de incrementar mejoras en el plan de mantenimiento

**Tabla 33**

*Ahorro económico estimado por mejora de disponibilidad (Enero – marzo 2024 vs 2023)*

Mes	Horas no disponibles 2023 (h)	Horas no disponibles 2024 (h)	Ahorro de horas (h)	Ahorro económico (USD)
Enero	104.76	46.87	57.89	2,182,783
Febrero	111.96	35.21	76.75	2,894,088
Marzo	116.28	31.46	84.82	3,198,157
<b>Total</b>	<b>333</b>	<b>113.54</b>	<b>219.46</b>	<b>8,275,027</b>

*Fuente:* Elaboración Propia

El análisis comparativo de disponibilidad entre el primer trimestre de 2023 y 2024 evidencia una mejora significativa en la disponibilidad mecánica de la chancadora HP 800, lo que permitió reducir en 219.46 horas las paradas operativas durante los meses de enero a marzo de 2024. Este incremento en la disponibilidad generó un ahorro económico estimado en

aproximadamente **8.28 millones de dólares**. Estos resultados reflejan el impacto positivo de la mejora en la gestión de mantenimiento y confiabilidad operativa implementada durante el periodo evaluado

#### **4.4. Discusión de Resultados**

Los resultados obtenidos tras la implementación de la propuesta de optimización del plan y programa de mantenimiento de la chancadora cónica HP 800 evidencian una mejora significativa en los indicadores de mantenimiento y disponibilidad operativa, en comparación con los datos baseline correspondientes al periodo 2023.

En primer lugar, la disponibilidad operativa acumulada de la chancadora HP 800 mostró un incremento sostenido durante el primer trimestre 2024, alcanzando un **promedio de 94.74 %**, mientras que en el mismo periodo del año 2023 fue de **84.58 %**, representando un **incremento de 10.16 puntos porcentuales**. Este resultado refleja la efectividad de las acciones implementadas, enfocadas en la optimización del mantenimiento, así como en la aplicación de herramientas de análisis de fallas (RCM y FMEA).

En relación con el **MTBF (Tiempo Medio entre Fallas)**, se logró incrementar el indicador de las 27 horas **en 2023 a 147 horas en 2024**, situándose dentro del rango considerado como de **alta fiabilidad**, según lo establecido en la industria minera (MTBF > 150 h). De igual manera, el **MTTR (Tiempo Medio de Reparación)** se redujo de **7.4 horas a 3.5 horas**, mejorando la capacidad de respuesta y eficiencia de las intervenciones correctivas.

Desde el punto de vista económico, el impacto también es significativo. Durante el primer trimestre 2024, el incremento de disponibilidad permitió **evitar 219.46 horas de parada operativa**, traducándose en un **ahorro estimado de 8.28 millones de dólares**. Este valor representa un ahorro considerable respecto al periodo 2023, donde las pérdidas acumuladas superaron los **29 millones de dólares**, validando la eficiencia y sostenibilidad de la propuesta de mantenimiento implementada.

Estos resultados permiten confirmar la hipótesis planteada, demostrando que la aplicación de un plan estructurado y optimizado de mantenimiento, basado en metodologías confiables, genera mejoras tangibles en los indicadores operativos y financieros de la chancadora cónica HP 800. Asimismo, los datos respaldan la viabilidad técnica, económica y

operativa de extender la implementación de este plan a las demás líneas de chancado secundario de la planta, con el objetivo de lograr una **disponibilidad operativa sostenible superior al 95 %**, tal como exige el plan de producción anual de la empresa minera.

Finalmente, estos hallazgos coinciden con estudios previos revisados en el marco teórico, los cuales demuestran que la integración de metodologías como RCM y FMEA contribuye no solo a mejorar la confiabilidad y disponibilidad de equipos críticos, sino también a optimizar la rentabilidad y sostenibilidad de las operaciones mineras.

**Tabla 34**

*Comparación de resultados antes y después de la propuesta de optimización*

<b>Indicador</b>	<b>Antes (2023)</b>	<b>Después (2024)</b>
Disponibilidad Operativa (%)	84.58%	94.74%
MTBF (h)	27 h	147 h
MTTR (h)	7.4 h	3.5 h
Horas de parada evitadas (h)	-	219.46 h
Ahorro económico estimado (USD)	-	8,275,027 USD

*Fuente:* Elaboración propia.

## Conclusiones

- El análisis detallado del plan y programa de mantenimiento actual de la Chancadora Cónica HP 800 permitió identificar deficiencias en las prácticas de mantenimiento preventivo, correctivo, y en los tiempos de respuesta ante fallos.
- El diseño de acciones correctivas incluyó la implementación de una estrategia de mantenimiento proactivo, como la revisión periódica de piezas críticas, la sustitución anticipada de componentes antes de que fallen, y la capacitación del personal para mejorar la rapidez en la solución de problemas.
- La implementación del programa de mejora estructurado, que incluye cronogramas diarios, semanales, mensuales y anuales, logró reducir tiempos de inactividad, incrementar la confiabilidad del equipo y mejorar los indicadores:
  - MTBF (tiempo entre fallas) MTTR (tiempo medio de reparaciones), en la Muestra **del 2023**: El valor del MTBF es **26.4**.y la **Muestra 2024** Aumenta a **147**. Un **MTBF mayor** implica que el equipo tiene un intervalo promedio más largo entre fallos.
  - MTTR (tiempo entre reparaciones) En el **2023**, el MTTR era de **7.4** horas. En **2024**, se redujo a **3.95** horas. Esto representa una disminución del **46.6%** en el tiempo promedio de reparación, lo que indica una mejora significativa en la eficiencia del proceso de mantenimiento.
  - La disponibilidad tubo una variación en sus índices **Disponibilidad Real 2023: 86.12%** **Disponibilidad 2024: 94.74%** **Mejora: +8.62%** en la disponibilidad La variación con respecto a la meta de **98%** ha disminuido considerablemente, pasando de **11.88%** en 2023 a **3.26%** en 2024, reflejando una mejora significativa. Este cambio muestra un avance positivo en la eficiencia y hacia el cumplimiento de las metas de disponibilidad.
  - Este incremento en la disponibilidad generó un ahorro económico estimado en aproximadamente **8.28 millones** de dólares en el primer trimestre del 2024.

### **Recomendaciones:**

- Es recomendable continuar monitoreando el rendimiento de la chancadora utilizando Implementar tecnologías avanzadas de mantenimiento predictivo, como sensores de vibración y temperatura para el análisis en tiempo real, lo cual nos servirá para anticipar fallas y ajustar el plan de mantenimiento según las condiciones operativas del equipo.  
Para garantizar la eficacia de las medidas correctivas aplicadas, se recomienda la implementación de acciones correctivas ofrecer formación constante al personal responsable del mantenimiento, programando 8 horas de entrenamiento en mantenimiento de los equipos específicos del taller.
- Se recomienda revisar y actualizar el programa de mantenimiento periódicamente para adaptarlo a los cambios en la operación o en las condiciones del equipo y garantizar la eficiencia de las estrategias aplicadas.

## Referencias

1. GUERRA-LÓPEZ, Esmilka; MONTES DE OCA-RISCO, Alexis. Relationship between the productivity, the maintenance and the replacement in the large mining. Boletín de Ciencias de la Tierra [en línea], 2018, n.º 45, p. 14-26. [Consulta: 10 ago. 2024]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/bcdt/n45/0120-3630-bcdt-45-00014.pdf>
2. SGS. SGS estima crecimiento de 30% en servicios de mantenimiento para el sector minero [en línea]. 2023. [Consulta: 10 ago. 2024]. Disponible en: <https://www.sgs.com/es-pe/noticias/2023/07/minpro-mantenimiento-para-el-sector-minero>
3. QUIROZ, P. y REVILLA, R. Mantenimiento preventivo para incrementar la disponibilidad mecánica de los equipos en la planta de chancado de una empresa minera de Cajamarca. Tesis (Ing. de Minas). Cajamarca: Universidad Privada del Norte, 2021. [Consulta: 15 ago. 2024]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/11537/27345>
4. VELESCO, J.; AGUILAR, E. Diseño de un sistema de gestión de mantenimiento preventivo mecánico con la metodología RCM2. Tesis (Ing. Industrial). Arequipa: Universidad Continental, 2021. [Consulta: 18 ago. 2024]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12394/10094>
5. BARRAGÁN BARAJAS, J. et al. Aplicación de las filosofías de mantenimiento productivo total y mantenimiento centrado en la confiabilidad en la empresa HANDMADE SHOES SA de CV. Actas INNODOCT/21. Valencia: Editorial Univ. Politècnica de València, 2022, p. 485-493. [Consulta: 18 ago. 2024]. DOI: <https://doi.org/10.4995/INN2021.2021.1336>

6. LU, Z. et al. Research on cutting performance of conical pick cutting rock plate with one side constrain and three sides free. *Machines* [en línea], 2022, vol. 10, no. 5, p. 1–12. [Consulta: 20 ago. 2024]. DOI: 10.3390/machines10111034
7. ANDRADE, C.; HERRERA, M. Análisis de la situación actual del mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM. *Ingeniar* [en línea], 2021, vol. 4, no. 8, p. 2–18. [Consulta: 20 ago. 2024]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.46296/ig.v4i8.0021>
8. MAGO, M.; ROCHA, S. Diseño e implementación del plan de mantenimiento preventivo. *Gestión y Estrategia* [en línea], 2021, n.º 16, p. 98–111. [Consulta: 20 ago. 2024]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/6735/673571919007/html/>
9. CHÁVEZ, E.; CASTILLO, E. Instalación de chancadora short head. Cerro de Pasco: Univ. Nacional Daniel Alcides Carrión, 2019. [Consulta: 20 ago. 2024]. Disponible en: [http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/1889/1/T026\\_44895131\\_T.pdf](http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/1889/1/T026_44895131_T.pdf)
10. CAMPOS, E. Implementación de un programa de mantenimiento preventivo. Lima: s.n., 2024. [Consulta: 20 ago. 2024]. Disponible en: [https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/14504/2/IV\\_FIN\\_108\\_T\\_E\\_Campos\\_Landeo\\_2024.pdf](https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/14504/2/IV_FIN_108_T_E_Campos_Landeo_2024.pdf)
11. CONDORI, W. Diseño de un plan de mantenimiento preventivo basado en la metodología RCM. Puno: s.n., 2022. [Consulta: 20 ago. 2024]. Disponible en: [https://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14082/18703/Condori\\_Mita\\_Wilis.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14082/18703/Condori_Mita_Wilis.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
12. METSO MINERALS. Manual de instrucciones de chancador de cono Nordberg HP – 800 [en línea]. s.f. [Consulta: 20 ago. 2024]. Disponible en: <https://www.mogroup.com/es/portafolio/nordberg-serie-hp/>
13. SILVA, P. Propuesta de mejora en diseño en chancador HP 800. Tesis (Ing. en Mantenimiento Industrial). Universidad Técnica Federico Santa María, 2023.

- [Consulta: 20 jul. 2024]. Disponible en: <https://repositorio.usm.cl/server/api/core/bitstreams/560cd717-51d8-4ee1-aac5-a499fc0aee07/content>
14. TORO, R. Mantenimiento: un legado de innovación a lo largo de las décadas [en línea]. 2023. [Consulta: 22 jul. 2024]. Disponible en: <https://www.fractal.com/es/blog/evolucion-del-mantenimiento>
15. CASÁIS, J. Estrategias de mantenimiento de buque (5° parte) [en línea]. 2023. [Consulta: 22 jul. 2024]. Disponible en: [https://ingenieromarino.com/estrategias-de-mantenimiento/#2\\_ESTRATEGIAS\\_DE\\_MANTENIMIENTO](https://ingenieromarino.com/estrategias-de-mantenimiento/#2_ESTRATEGIAS_DE_MANTENIMIENTO)
16. VEGA, R. Los principales tipos de mantenimiento industrial [en línea]. 2022. [Consulta: 22 jul. 2024]. Disponible en: <https://www.linkedin.com/pulse/los-5-principales-tipos-de-mantenimiento-industrial-rafael-vega>
17. EMAINT. Ventajas del mantenimiento preventivo [en línea]. 2022. [Consulta: 22 jul. 2024]. Disponible en: <https://www.emaint.com/es/blog-advantages-of-preventive-maintenance/>
18. TALVA, M. Mantenimiento preventivo [en línea]. 2021. [Consulta: 22 jul. 2024]. Disponible en: <https://mobility-work.com/es/blog/mantenimiento-preventivo/>
19. MEJÍA, T. Mantenimiento preventivo: características, tipos, objetivos [en línea]. 2020. [Consulta: 22 jul. 2024]. Disponible en: <https://www.lifeder.com/mantenimiento-preventivo/>
20. STELORDER. Mantenimiento preventivo: qué es, tipos y cómo hacerlo eficazmente [en línea]. 2023. [Consulta: 22 jul. 2024]. Disponible en: <https://www.stelorder.com/blog/mantenimiento-preventivo/#%c2%bfque-es-el-mantenimiento-preventivo>

21. ZAMBRANO, C. Análisis de criticidad y confiabilidad en los equipos [en línea]. 2006.  
[Consulta: 22 jul. 2024]. Disponible en: <http://www.biblioteca@anz.udo.edu.ve/>
22. MORA, L. Mantenimiento. Planeación, ejecución y control. México: Alfaomega Grupo Editor, 2009. ISBN 607707344X.

## Anexos

### Anexo 1. Matriz de Consistencia

#### Optimización de la Disponibilidad de la Chancadora Cónica HP 800 a través de una Propuesta de Mejora del Plan y Programa de Mantenimiento de una Empresa Minera en el Sur del País

Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Variables	Dimensiones	Metodología
¿Cómo se puede optimizar la disponibilidad de la Chancadora Cónica HP 800 mediante una propuesta de mejora del plan y programa de mantenimiento en una empresa minera del sur del país?	Optimizar la disponibilidad de la Chancadora Cónica HP 800 a través de una Propuesta de Mejora del Plan y Programa de Mantenimiento de una Empresa Minera en el Sur del País	La implementación de una propuesta de mejora del plan y programa de mantenimiento optimizará la disponibilidad de la Chancadora Cónica HP 800 en una empresa minera en el sur del país.	Independiente  Propuesta de mejora del Plan y Programa de mantenimiento	Diagnóstico de equipos  Plan de mantenimiento de equipos	Tipo de investigación:  Aplicado  Enfoque:  Mixto.  Nivel:  Descriptivo
<b>Problemas específicos:</b>	<b>Objetivos específicos:</b>	<b>Hipótesis específicas:</b>			
¿Cómo se puede realizar un análisis detallado del plan y programa de mantenimiento actual de la chancadora cónica HP 800 en una empresa minera del sur del país?	Realizar un análisis detallado del plan y programa de mantenimiento actual de la chancadora cónica HP 800 en la empresa minera del sur del país.	Un análisis detallado del plan y programa de mantenimiento actual de la chancadora cónica HP 800 revelará áreas críticas que contribuyen a la baja disponibilidad de la máquina en la empresa minera del sur del país.	Dependiente Disponibilidad	Tiempo medio entre Fallos	Diseño: experimental.  Población:

<p>¿Qué acciones específicas deben incluirse en una propuesta de mejora del plan y programa de mantenimiento para optimizar la disponibilidad de la chancadora cónica HP 800?</p>	<p>Desarrollar una propuesta de mejora del plan y programa de mantenimiento que incluya acciones específicas para optimizar la disponibilidad de la chancadora cónica HP 800.</p>	<p>El desarrollo de una propuesta de mejora del plan y programa de mantenimiento que incluya acciones específicas incrementará significativamente la disponibilidad de la chancadora cónica HP 800.</p>	<p>Tiempo medio para reparar (MTTR)</p>	<p>Proceso de la chancadora HP-800</p>
<p>¿Cómo se puede diseñar una propuesta de mejora del plan y programa de mantenimiento que incluya acciones correctivas para reducir el tiempo de inactividad de la chancadora?</p>	<p>Diseñar una propuesta de mejora del plan y programa de mantenimiento, que incluya acciones correctivas para reducir el tiempo de inactividad de la chancadora.</p>	<p>La implementación de una propuesta de mejora del plan y programa de mantenimiento que incorpore acciones correctivas reducirá el tiempo de inactividad de la chancadora cónica HP 800, mejorando así su eficiencia operativa.</p>		

---

Nota. Elaboración propia.

## Anexo 2. Fallas presentadas del mes de septiembre a diciembre del 2023

### 22.1 septiembre

Fecha	Equipo	Turno	Desc. Demora	Horas	Tipo de mantenimiento	Modo Falla	Sistema	Componente
3-Set	HP 800 - 5	A	Prep. Para Mant. / Indirecto	1.23	Reserva Operativa	-	-	-
4-Set	HP 800 - 5	A	Faja Transportadora	2.37	Programado	-	-	-
5-Set	HP 800 - 5	A	Overhaull	0.52	Programado	-	-	-
6-Set	HP 800 - 5	B	Mantenimiento Preventivo	2	Reserva Operativa	Falta Carga / Pila Secundaria	Falta Carga / Pila Secundarias	Falta Carga / Pila Secundarias
7-Set	HP 800 - 5	B	Prep. Para Mant. / Indirecto	0.67	Reserva Operativa	-	-	-
8-Set	HP 800 - 6	A	Faja Transportadora	1.72	Mantenimiento Programado	-	-	-
9-Set	HP 800 - 5	B	Relé De Protección	0.17	No Programado	-	-	-
10-Set	HP 800 - 5	A	Overhaull	10.42	Programado	Parada Planta	-	-
11-Set	HP 800 - 5	B	Overhaull	8.4	Programado	Parada Planta	-	-
12-Set	HP 800 - 6	A	Overhaull	10.42	Programado	Parada Planta	-	-
13-Set	HP 800 - 6	B	Overhaull	8.4	Programado	Parada Planta	-	-
14-Set	HP 800 - 5	A	Prep. Para Mant. / Indirecto	8.02	Programado	-	-	-
15-Set	HP 800 - 6	A	Prep. Para Mant. / Indirecto	8.02	Programado	-	-	-
16-Set	HP 800 - 5	A	Programado Cambio Forros	7	Programado	-	-	-
17-Set	HP 800 - 5	A	Prep. Para Mant. / Indirecto	1.67	Reserva Operativa	-	-	-
18-Set	HP 800 - 6	A	Prep. Para Mant. / Indirecto	1.67	Reserva Operativa	-	-	-
19-Set	HP 800 - 5	A	Prep. Para Mant. / Indirecto	0.9	Reserva Operativa	-	-	-
20-Set	HP 800 - 5	B	Prep. Para Mant. / Indirecto	1	Reserva Operativa	-	-	-
21-Set	HP 800 - 6	A	Forros	4	Programado	-	-	-
22-Set	HP 800 - 6	A	Relés De Protección	0.5	No Programado	-	-	-
23-Set	HP 800 - 6	B	Filtros Aceite Lubricación	0.5	No Programado	Alto Diferencial Presión	Lubricación	Filtros
24-Set	HP 800 - 6	B	Forros	4	Programado	-	-	-
25-Set	HP 800 - 5	A	Prep. Para Mant. / Indirecto	0.18	Reserva Operativa	-	-	-
26-Set	HP 800 - 6	A	Filtros Aceite Lubricación	2.17	No Programado	Fuga De Aceite	Lubricación	Tanque De Lubricación
27-Set	HP 800 - 6	B	Correas	0.17	No Programado	Soltura	Transmisión	Correa
28-Set	HP 800 - 6	A	Correas	3.17	No Programado	Desgaste	Transmisión	Correas
29-Set	HP 800 - 6	A	Prep. Para Mant. / Indirecto	1	No Programado	-	-	-
30-Set	HP 800 - 5	B	Prep. Para Mant. / Indirecto	0.33	Reserva Operativa	-	-	-

22.2 octubre 2023

Fecha	Equipo	Turno	Desc. Demora	Horas	Tipo de mantenimiento	Modo Falla	Sistema	Componente
1-Oct	HP 800 - 6	B	Prep. Para Mant. / Indirecto	0.33	No Programado	Ruido Anormal	Transmisión	Poleas
2-Oct	HP 800 - 4	A	Forros	5.08	Programado	-	-	-
3-Oct	HP 800 - 5	A	Prep. Para Mant. / Indirecto	1.7	Reserva Operativa	-	-	-
4-Oct	HP 800 - 6	A	Prep. Para Mant. / Indirecto	1.7	Reserva Operativa	-	-	-
5-Oct	HP 800 - 5	A	Prep. Para Mant. / Indirecto	2.5	Reserva Operativa	Rotura	Sistema Mallas	Mallas
6-Oct	HP 800 - 6	A	Prep. Para Mant. / Indirecto	2.5	Reserva Operativa	Rotura	Sistema Mallas	Mallas
7-Oct	HP 800 - 5	A	Línea De Alimentación	1.4	Reserva Operativa	-	-	-
8-Oct	HP 800 - 6	A	Línea De Alimentación	1.4	Reserva Operativa	-	-	-
9-Oct	HP 800 - 5	A	Poleas	0.583	Reserva Operativa	-	-	-
10-Oct	HP 800 - 6	A	Poleas	0.583	Reserva Operativa	-	-	-
11-Oct	HP 800 - 5	A	Prep. Para Mant. / Indirecto	2.333	Reserva Operativa	-	-	-
12-Oct	HP 800 - 6	A	Prep. Para Mant. / Indirecto	2.333	Reserva Operativa	-	-	-
13-Oct	HP 800 - 5	A	Forros	4.333	Programado	-	-	-
14-Oct	HP 800 - 6	A	Prep. Para Mant. / Indirecto	0.5	Reserva Operativa	-	-	-
15-Oct	HP 800 - 5	B	Faja Transportadora	2.15	Reserva Operativa	-	-	-
16-Oct	HP 800 - 6	B	Faja Transportadora	2.15	Reserva Operativa	-	-	-
17-Oct	HP 800 - 5	A	Tiempo Mtto No Prog	10.15	Programado	-	-	-
18-Oct	HP 800 - 5	B	Overhaull	4.333	Programado	-	-	-
19-Oct	HP 800 - 6	A	Tiempo Mtto No Prog	10.15	Programado	-	-	-
20-Oct	HP 800 - 6	B	Overhaull	4.333	Programado	-	-	-
21-Oct	HP 800 - 5	A	Prep. Para Mant. / Indirecto	4.633	Reserva Operativa	-	-	-
22-Oct	HP 800 - 6	A	Filtros Aceite Lubricación	0.633	No Programado	Saturación	Lubricación	Filtros
23-Oct	HP 800 - 6	A	Programado Cambio Forros	4	Programado	-	-	-
24-Oct	HP 800 - 5	A	Inspecciones	0.433	Reserva Operativa	-	-	-
25-Oct	HP 800 - 5	B	Filtros Aceite Lubricación	0.35	No Programado	Alto Diferencial Presión	Lubricación	Filtros
26-Oct	HP 800 - 6	A	Inspecciones	0.433	Reserva Operativa	-	-	-
27-Oct	HP 800 - 6	B	Prep. Para Mant. / Indirecto	0.35	Reserva Operativa	-	-	-
28-Oct	HP 800 - 5	A	Prep. Para Mant. / Indirecto	7.533	Programado	-	-	-
29-Oct	HP 800 - 5	B	Prep. Para Mant. / Indirecto	1	Reserva Operativa	-	-	-
30-Oct	HP 800 - 6	A	Prep. Para Mant. / Indirecto	7.533	Programado	-	-	-
31-Oct	HP 800 - 6	B	Unidad Hidráulica	1	No Programado	Fuga Aceite	Hidráulico	Cilindro De Levante

## 22.3 Noviembre 2023

Fecha	Equipo	Turno	Desc. Demora	Horas	Tipo de mantenimiento	Modo Falla	Sistema	Componente
1-Nov	HP 800 - 6	A	Unidad Hidráulica	5.75	Mantenimiento No Programado	Fuga Aceite	Fijación	<i>Clamping Cylinder</i>
2-Nov	HP 800 - 5	A	Faja Transportadora	0.66667	Reserva Operativa	-	-	-
3-Nov	HP 800 - 6	A	Faja Transportadora	0.66667	Reserva Operativa	-	-	-
4-Nov	HP 800 - 5	A	Prep. Para Mant. / Indirecto	1.31667	Reserva Operativa	-	-	-
5-Nov	HP 800 - 6	A	Prep. Para Mant. / Indirecto	1.31667	Reserva Operativa	-	-	-
6-Nov	HP 800 - 5	A	Tanque De Lubricante	3.15	Mantenimiento No Programado	Alta Temperatura	Lubricación	Tanque De Lubricación
7-Nov	HP 800 - 5	A	Prep. Para Mant. / Indirecto	2.5	Reserva Operativa	-	-	-
8-Nov	HP 800 - 6	A	Prep. Para Mant. / Indirecto	2.5	Reserva Operativa	-	-	-
9-Nov	HP 800 - 5	A	Mantenimiento Preventivo	9.86667	Programado	-	-	-
10-Nov	HP 800 - 5	B	Overhaull	2.03333	Programado	-	-	-
11-Nov	HP 800 - 6	A	Mantenimiento Preventivo	9.86667	Programado	-	-	-
12-Nov	HP 800 - 6	B	Overhaull	2.03333	Programado	-	-	-
13-Nov	HP 800 - 5	A	Programado Cambio Forros	4.41667	Programado	-	-	-
14-Nov	HP 800 - 6	A	Prep. Para Mant. / Indirecto	0.66667	Reserva Operativa	-	-	-
15-Nov	HP 800 - 5	A	Mantenimiento Preventivo	11.6667	Programado	Parada de Planta		
16-Nov	HP 800 - 5	B	Mantenimiento Preventivo	12	Programado	Parada de Planta		
17-Nov	HP 800 - 6	A	Mantenimiento Preventivo	11.6667	Programado	Parada de Planta		
18-Nov	HP 800 - 6	B	Mantenimiento Preventivo	12	Programado	Parada de Planta		
19-Nov	HP 800 - 5	A	Faja Transportadora	7.08333	Reserva Operativa	-	-	-
20-Nov	HP 800 - 6	A	Faja Transportadora	7.08333	Reserva Operativa	-	-	-
21-Nov	HP 800 - 5	A	Prep. Para Mant. / Indirecto	0.33333	Reserva Operativa	-	-	-
22-Nov	HP 800 - 6	A	Programado Cambio Forros	3.33333	Programado	-	-	-
23-Nov	HP 800 - 5	A	Filtros Aceite Lubricación	0.5	No Programado	Alto Diferencial Presión	Lubricación	Filtros
24-Nov	HP 800 - 6	A	Filtros Aceite Lubricación	0.5	No Programado	Alto Diferencial Presión	Lubricación	Filtros
25-Nov	HP 800 - 5	A	Prep. Para Mant. / Indirecto	7.35	Reserva Operativa	-	-	-
26-Nov	HP 800 - 6	A	Prep. Para Mant. / Indirecto	7.35	Reserva Operativa	-	-	-
27-Nov	HP 800 - 5	A	Mantenimiento Preventivo	12	Programado	Parada Planta		
28-Nov	HP 800 - 5	B	Mantenimiento Preventivo	9.33333	Programado	Parada Planta		
29-Nov	HP 800 - 6	B	Mantenimiento Preventivo	9.33333	Programado	Parada Planta		
30-Nov	HP 800 - 5	A	Programado Cambio Forros	3.16667	Programado	-	-	-

**22.4 diciembre 2023**

<b>Fecha</b>	<b>Equipo</b>	<b>Turno</b>	<b>Desc. Demora</b>	<b>Horas</b>	<b>Tipo de mantenimiento</b>	<b>Modo Falla</b>	<b>Sistema</b>	<b>Componente</b>
1-Dic	HP 800 - 6	A	Prep. Para Mant. / Indirecto	0.75	Reserva Operativa	-	-	-
2-Dic	HP 800 - 5	B	Prep. Para Mant. / Indirecto	4.91667	Reserva Operativa	-	-	-
3-Dic	HP 800 - 6	B	Prep. Para Mant. / Indirecto	4.91667	Reserva Operativa	-	-	-
4-Dic	HP 800 - 5	A	Overhaull	12	Reserva Operativa	-	-	-
5-Dic	HP 800 - 5	B	Inspecciones	0.5	Reserva Operativa	-	-	-
6-Dic	HP 800 - 5	B	Mantenimiento Preventivo	2.33333	Reserva Operativa	-	-	-
7-Dic	HP 800 - 6	A	Overhaull	12	Reserva Operativa	-	-	-
8-Dic	HP 800 - 6	B	Inspecciones	0.5	Reserva Operativa	-	-	-
9-Dic	HP 800 - 6	B	Mantenimiento Preventivo	2.33333	Reserva Operativa	-	-	-
10-Dic	HP 800 - 5	B	Prep. Para Mant. / Indirecto	0.83333	Reserva Operativa	-	-	-
11-Dic	HP 800 - 5	A	Prep. Para Mant. / Indirecto	0.66667	Reserva Operativa	-	-	-
12-Dic	HP 800 - 6	A	Forros	3.08333	Programado	-	-	-
13-Dic	HP 800 - 5	A	Prep. Para Mant. / Indirecto	0.66667	Reserva Operativa	-	-	-
14-Dic	HP 800 - 6	A	Bomba Lubricación	0.66667	No Programado	Bajo Flujo	Lubricación	Bomba
15-Dic	HP 800 - 5	A	Prep. Para Mant. / Indirecto	3.66667	Reserva Operativa	-	-	-
16-Dic	HP 800 - 5	A	Filtros Aceite Lubricación	0.33333	No Programado	Bajo Flujo	Lubricación	Filtros
17-Dic	HP 800 - 6	A	Prep. Para Mant. / Indirecto	0.33333	Reserva Operativa	-	-	-

### Anexo 3. Encuesta a técnicos especialistas del Área

<b>ENCUESTA: FACTORES QUE AFECTAN LA DISPONIBILIDAD DE LA CHANCADORA HP 800</b>		
<b>Empresa:</b> Empresa Minera en el sur del País.		
<b>Sector:</b> Minero		
<b>Tamaño:</b> Gran Minería		
<b>Nombre y Apellido:</b> <u>Cesar González Masías</u>		
<b>Cargo:</b> Técnico Mecánico 1A		
<b>Tiempo de trabajo:</b> <u>15 años</u>		
<p>Estimado encuestado, indique para el área de mantenimiento, en orden de relevancia, del <b>mayor al menor impacto</b>, los siguientes factores que influyen en la baja disponibilidad de la chancadora HP 800. Asignando una calificación del 1 al 10, Siendo 1 la más baja y 10 la de mayor relevancia.</p>		
<input type="text"/>		
ID	FACTOR DE ENCUESTA	Calificación
1	Errores humanos en operaciones o mantenimiento	9
2	Falta de capacitación técnica específica en mantenimiento	8
3	Mantenimiento reactivo y escasa planificación preventiva	8
4	Inspecciones sin procedimientos estandarizados	9
5	Fallas en el sistema hidráulico (válvulas, presión, fugas)	9
6	Lubricación deficiente y filtros obstruidos	7
7	Alta temperatura o alto amperaje en motores y transmisiones	7
8	Desgaste acelerado por polvo, humedad o condiciones extremas	8
9	Escasez de repuestos y materiales críticos	8

**Anexo 4. PETS**

	<b>PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO</b>		GPS-PG-10. F.02 Rev.01
	<b>CAMBIO DE HEAD, BOWL &amp; MAIN FRAME LINER CHANCADORA HP800</b>		
	Área: Taller Chancadoras C1	Revisión: 0	
	Código: MNT-MCO-MCH1-PETS-220	Página: 140 de 6	

**PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO (PETS)**

**CAMBIO DE HEAD, BOWL & MAIN FRAME LINER**

**CHANCADORA HP800**

PREPARADO POR:	REVISADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
Jefe de taller Chancadoras C1	Superintendente del Área	Gerente del Programa de Seguridad Toquepala	Gerente de Mantto. Concentradoras
Fecha:			Fecha:

## **1. PERSONAL.**

### **1.1. Personal Directo:**

- Mecánico (04).
- Soldador (01).
- Operador de grúa puente (01).

### **1.2. Personal Indirecto:**

- Supervisor (01).

## **2. EQUIPOS DE PROTECCION PERSONAL.**

### **2.1. EPP Básico:**

- Casco de seguridad.
- Lentes de seguridad claros.
- Overol (mameluco).
- Chaleco con cintas reflectivas.

### **2.2. EPP Específico:**

- Guantes de seguridad Hy-Flex y Jebe.
- Zapatos de seguridad.
- Protector auditivo.
- Respirador de media cara con filtros 3M 2097 para partículas.
- Arnés y línea de vida.

## **3. EQUIPO / HERRAMIENTAS / MATERIALES.**

### **3.1. Equipos**

- Grúa puente.
- Máquina de soldar.

### **3.2. Herramientas**

- Llave de impacto de 1”.
- Dado de impacto de 1 x 2-3/16”.
- Dado de impacto de 1 x 1-5/8”, 1-1/2”, 1-5/16”.
- Estuche de herramientas.
- Grilletes de 1-1/2”, 3/4”.
- Manguera de aire.
- Barretillas.
- Combo de 12 lb.
- Escalera de 6 ft.
- Materiales
- Head (cabeza - reparado con forros nuevos).
- Bowl (taza - reparado con forros nuevos).
- Main frame linner nuevos.
- Orejas para izaje.
- Trapos.
- Solvente desengrasante.

### **3.3. Otros / Actividades previas al trabajo**

- Reunión de seguridad con todos los trabajadores participantes.
- Revisar procedimiento de trabajo.
- Llenar debidamente los formatos de seguridad establecidos.
- Coordinar con operador y electricista de turno para corte de energía y bloqueo respectivo de equipo.
- Demarcar la zona de trabajo con cintas de seguridad y conos.
- Trasladar a lugar de trabajo los materiales y herramientas para realizar la tarea.

#### **4. PROCEDIMIENTO**

- 4.1. Despresurizar los cilindros hidráulicos de sujeción.
- 4.2. Coordinar con instrumentista el desmontaje del sensor de chancadora.
- 4.3. Desmontar el chute de descarga de la zaranda y posicionarlo en lugar designado.
- 4.4. Colocar manta de lona en la descarga de la zaranda para retener posible caída de piedras.
- 4.5. Desmontaje de feed plate con apoyo de grúa puente.
- 4.6. Colocar el “plato de izaje” en el Head para desmontaje.
- 4.7. Desenroscar el Bowl hasta que quede liberado.
- 4.8. Desmontar el Bowl con la grúa puente y posicionarlo en lugar designado para reparación.
- 4.9. Desmontar el Head con la grúa puente y posicionarlo en lugar designado para reparación.
- 4.10. Desmontaje de Main frame liner “desgastado”.
- 4.11. Montaje de Main frame liner nuevo con sus elementos de fijación.
- 4.12. Desmontar el “plato de izaje” del Head usado e instalarlo en el Head reparado con forros nuevos.
- 4.13. Limpiar el sello de polvo de la excéntrica.
- 4.14. Pulir el socket liner.
- 4.15. Con una cubeta lubricar con aceite el socket liner y excéntrica.
- 4.16. Con la grúa puente levantar el Head reparado y proceder con el montaje en chancadora.
- 4.17. Desmontar el “plato de izaje” del Head.
- 4.18. Montaje del Feed plate nuevo.

- 4.19. Evaluar el buen estado de gatas y mangueras hidráulicas del sistema de anillo de ajuste.
- 4.20. Aplicar “manualmente” grasa en los hilos del anillo de ajuste.
- 4.21. Montaje de Bowl reparado con la grúa puente en chancadora.
- 4.22. Enroscar el Bowl hasta que quede con una abertura de 3/4” (19mm).
- 4.23. Presurizar el sistema de ajuste.
- 4.24. Montaje de chute de descarga de la zaranda y sistema de fijación.
- 4.25. Coordinar con instrumentista para conexión del sensor de chancadora.
- 4.26. Coordinar con electricista de turno y el operador el retiro de los candados de seguridad y energizar el equipo.
- 4.27. Coordinar con operador el arranque del equipo para pruebas finales de operación.

## **5. RESTRICCIONES**

- 5.1. No iniciar la tarea sin revisar el IPERC continuo, PETS y haber realizado la charla de 5 min.
- 5.2. No realizar las tareas bajo los efectos del alcohol, drogas, señal de cansancio, o sospecha de pérdida de concentración.

5.3. No realizar las tareas si se ha identificado un riesgo no aceptable en el IPERC continuo.

5.4. No realizar las tareas sin antes haber realizado el corte de energía, bloqueo, etiquetado y prueba de cero energías.

5.5. No realizar las tareas sin antes tener conocimiento de las instrucciones de la supervisión.

5.6. No realizar la tarea sin antes comprobar que las herramientas y equipos a usar se encuentren en buenas condiciones para el trabajo.

5.7. No iniciar la tarea, sin que los participantes tengan el EPP adecuado para la labor.

## **6. ANEXOS**

6.1. N/A.

## **7. Participación en la elaboración del PETS por parte de los Trabajadores.**

<b>Nro.</b>	<b>Apellidos y Nombres</b>	<b>Registro</b>	<b>Firma</b>
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			

**Fuente: Empresa Minera**

## Anexo 4 Formato Básico de Inspecciones de Taller.

No. Gpo Trabajo	TCCH	TMC TALLER MECANICA CHANCADORAS	Pag.	1 de 1
ID Resp.			No Orden	2004837555
	Clase de Orden	ZPM2	AMC Orden de mantenimiento preventivo	

Desc Tarea	INSPECCION CHANCADORA SECUNDARIA 01	Fecha Inicio	19.03.2024
		Fecha Fin	19.03.2024
Ubic. Tec.	TOQ-C1-PS-TRSE-CRU001	CHANCADORA SECUNDARIA 1	
Equipo			
Conjunto		Rec. Costos	0112120401
Localización		Resp. CeCo	GERENTE CONCENTRADOR
Hoja Ruta	TCRU002	Cont.gpo.HRuta	M9
Prioridad		INSPECCION CHANCADORA SECUNDARIA	
Cl.actv.PM	MA	MANTENIMIENTO	Revisión
No. Reserva	0009657484		No. Orden Sup.
			No. Aviso MT

No. Oper	0010	INSPECCION DE CHANCADORA SECUNDARIA MP80		
No. Personas	2	Trabajo Est.	4	Un HH
Recursos	TCCH	TMC TALLER MECANICA CHANCADORAS CONC		
F. Generación	06.03.2024	F. Planeada	19.03.2024	

**INSTRUCCIONES DE TRABAJO**

Inspección general de la chancadora  
 Inspección de componentes y presiones del sistema de lubricación  
 Inspección de componentes de la unidad hidráulica(>,<) revisar fugas  
 Inspección de fugas de aceite por contraeje y anillo de ajuste  
 Inspección de la temperatura de los jack shaft, poleas y correas  
 Inspección de los tramp release(>,<) acumuladores y mangueras  
 Limpieza de air coolers de las chancadoras  
 Cambio de los filtros del blower  
 Inspección de los piñones de ajuste del sistema de ajuste  
 Revisión de la altura de los forros

OBSERVACIONES ENCONTRADAS

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**COMENTARIOS TERMINACIÓN**

**Completado Por**                      **Fecha de Terminación / Hora**                      **Jefe Taller**  
 \_\_\_\_\_                      \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_:\_\_\_\_                      \_\_\_\_\_

Fuente: Empresa Minera.

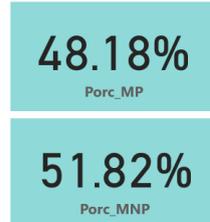
## Anexo 4 Reporte de disponibilidad del Taller.

# Reporte DOT Concentradora 1

Fuentes: OPUS, Producción Anual ver.2.



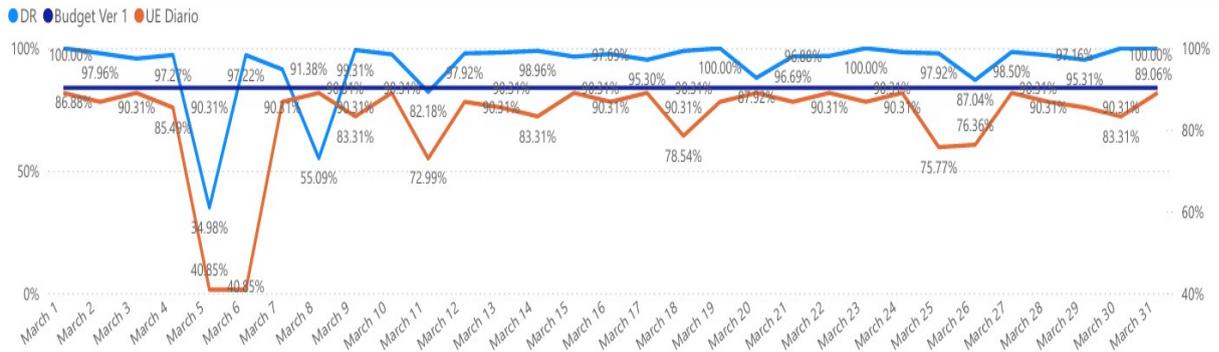
Area				
CHANCADO PRIMARIO	CHANCADO SECUNDARIO	<b>CHANCADO TERCIARIO</b>	HPGR	MOLIENDA BARRAS
MOLIENDA BOLAS	MOLIENDA FULLER	FILTRADO COBRE		



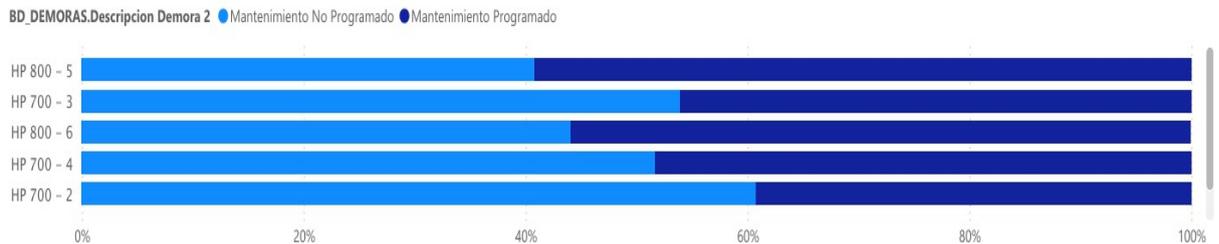
2.85%  
VAR\_BUDGET

10.38%  
VAR\_UE

### Disponibilidad real vs UE vs Plan Anual (Diario)



### % Mantenimiento Programado - % Mantenimiento No Programado por Flota



Fuente: Empresa Minera

## Anexo 6 Fallas presentadas en Los meses de enero a marzo 2024

Fecha	Equipo	Turno	Horas	Tipo de mantenimiento	Modo Falla	Sistema	Componente
4/01/2024	HP 800 - 5	A	2.37	programado	-	-	-
5/01/2024	HP 800 - 5	A	0.52	Programado	-	-	-
6/01/2024	HP 800 - 5	B	2	Reserva Operativa	Falta Carga / Pila Secundaria	Falta Carga / Pila Secundarias	Falta Carga / Pila Secundarias
7/01/2024	HP 800 - 5	B	0.67	Reserva Operativa	-	-	-
8/01/2024	HP 800 - 5	A	4	Programado	Desgaste	Elementos de desgaste	Forros
9/01/2024	HP 800 - 6	A	3.37	Programado	Desgaste	Elementos de desgaste	Forros
10/01/2024	HP 800 - 5	A	10.42	Programado	Parada Planta	-	-
11/01/2024	HP 800 - 5	B	8.4	Mantenimiento Programado	Parada Planta	-	-
12/01/2024	HP 800 - 6	A	10.42	Mantenimiento Programado	Parada Planta	-	-
13/01/2024	HP 800 - 6	B	8.4	Mantenimiento Programado	Parada Planta	-	-
14/01/2024	HP 800 - 5	A	8.02	Mantenimiento Programado	-	-	-
15/01/2024	HP 800 - 6	A	8.02	Mantenimiento Programado	-	-	-
16/01/2024	HP 800 - 5	A	7	Mantenimiento Programado	-	-	-
17/01/2024	HP 800 - 5	A	11.67	Mantenimiento No Programado	Falla sistema Hidráulico	Sistema Hidráulico	Electro_ válvulas
18/01/2024	HP 800 - 6	A	1.67	Reserva Operativa	-	-	-
19/01/2024	HP 800 - 5	A	0.9	Reserva Operativa	-	-	-
20/01/2024	HP 800 - 5	B	1	Reserva Operativa	-	-	-
21/01/2024	HP 800 - 6	A	4	Mantenimiento Programado	-	-	-
22/01/2024	HP 800 - 6	A	0.5	Mantenimiento No Programado	-	-	-
23/01/2024	HP 800 - 6	B	0.5	Mantenimiento No Programado	Alto Diferencial Presión	Sistema Lubricación	Filtros
24/01/2024	HP 800 - 6	B	4	Mantenimiento Programado	-	-	-
25/01/2024	HP 800 - 5	A	0.18	Reserva Operativa	-	-	-
26/01/2024	HP 800 - 6	A	2.17	Mantenimiento No Programado	Fuga De Aceite	Sistema Lubricación	Tanque De Lubricación
27/01/2024	HP 800 - 6	B	0.17	Mantenimiento No Programado	Soltura	Sistema Transmisión	Correa
28/01/2024	HP 800 - 6	A	3.17	Mantenimiento No Programado	Desgaste	Sistema Transmisión	Correas
29/01/2024	HP 800 - 6	A	1	Programado	-	-	-
30/01/2024	HP 800 - 5	B	0.33	Reserva Operativa	-	-	-
31/01/2024	HP 800 - 6	B	0.33	Mantenimiento No Programado	Ruido Anormal	Sistema Transmisión	Poleas