

Universidad Católica de Santa María
Escuela de Postgrado
Maestría en Ingeniería de Mantenimiento



**“PROPUESTA DE IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE GESTION DE
MANTENIMIENTO BASADO EN RCM-II PARA EL MOLINO SAG EN EMPRESA
MINERA A MAYOR DE 3800 MSNM”**

Tesis presentada por el bachiller
Huicho Mendigure, Alfz

Para optar el Grado Académico de
**Maestro en Ingeniería de
Mantenimiento.**

Asesor:
**Dr. Pacheco Oviedo, Abraham
Arturo**

**Arequipa – Perú
2022**

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

ESCUELA DE POSTGRADO

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR DE TESIS

Arequipa, 21 de Marzo del 2022

Dictamen: 005945-C-EPG-2022

Visto el borrador del expediente 005945, presentado por:

2015004421 - HUICHO MENDIGURE ALFZ

Titulado:

**PROPUESTA DE IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE GESTION DE MANTENIMIENTO BASADO
EN RCM-II PARA EL MOLINO SAG EN EMPRESA MINERA A MAYORDE 3800 MSNM**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

**1341 - TICSE VILLANUEVA EDWING JESUS
DICTAMINADOR**



**2346 - MOLINA RODRIGUEZ FREDY NICOLAS
DICTAMINADOR**



**5704 - ESCOBAR JUAREZ RUTH MARY
DICTAMINADOR**



Dedicatoria.

A Dios todo poderoso, por haberme dado la vida y que me ilumina, a mis hermanos, que me apoyan y animan incondicionalmente, a mi esposa e hijos y quienes son mi inspiración y motivo para seguir adelante.



Índice General

Dedicatoria.....	ii
Índice de Tablas.....	vii
Índice de Figuras	ix
Lista de Abreviaturas.....	x
Resumen	xi
Abstract.....	xii
Introducción.....	1
Objetivos.....	1
Objetivo General.....	1
Objetivo Específico	1
Hipótesis	1
Variables.....	2
Variable Dependiente	2
Variable Independiente.....	2
CAPITULO I.....	3
1. Marco Teórico	3
1.1. Introducción.....	3
1.2. Definición del Molino Semiautógeno SAG.....	3
1.3. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad RCM	4
1.4. El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad más RCM+ o RCM II.....	4
1.5. Características del RCM.....	4
1.6. Análisis de Modos y Efectos de Falla FMEA	5
1.7. Disponibilidad	5
1.8. Confiabilidad	5
1.9. Mantenibilidad.....	6
1.10. La Bomba de Agua	6
1.11. Minería	6
1.12. Definiciones Básicas Según la Norma SAE JA1011 y SAE JA1012.....	6
1.12.1. Capacidad Inicial	6
1.12.2. Consecuencias Ambientales.....	6
1.12.3. Consecuencias de Falla	7
1.12.4. Consecuencias en la Seguridad	7
1.12.5. Consecuencias no Operacionales.....	7

1.12.6. Consecuencias Operacionales.....	7
1.12.7. Contexto Operacional.....	7
1.12.8. Desincorporación Programada.....	7
1.12.9. Dispositivo Protector o Sistema Protector	7
1.13. Efecto de Falla	7
1.13.1. Falla Evidente.....	7
1.13.2. Falla Funcional	8
1.13.3. Falla Múltiple	8
1.13.4. Falla Oculta.....	8
1.13.5. Falla Potencial	8
1.13.6. Función	8
1.13.7. Función Evidente	8
1.13.8. Función Oculta	8
1.13.9. Funciones Primarias	8
1.13.10. Funciones Secundarias	8
1.14. Sistemas de Gestión.....	8
1.15. Norma ISO 9000.....	9
1.16. Mantenimiento.....	9
1.17. Actividad de Mantenimiento	10
1.17.1. Origen del Trabajo	11
1.17.2. Calidad y Extensión del Planeamiento.....	11
1.17.3. Programación de Trabajos.....	11
1.17.4. Asignación y Ejecución del Trabajo.....	12
1.17.5. Registro del Trabajo.....	12
1.18. Medición del Rendimiento de Indicadores Claves de Desempeño KPIs	12
1.19. Sistema de ERP o CMMS de la Organización	12
1.20. Gestión de Materiales	12
1.21. Plan de Mantenimiento.....	13
1.22. Activo	13
1.23. Gestión de Activos	13
CAPITULO II.....	14
2. Metodología.....	14
2.1. Diseño Metodológico de la Investigación	14
2.2. Implementación del RCM al Área de Molienda en Minera a 3800 msnm	14

2.3.	Contexto Operacional	14
2.4.	Grupo de trabajo	16
2.5.	Modelo de Criticidad de la Planta	16
2.5.1.	<i>Factores Ponderados para el Análisis de Criticidad en los Equipos.....</i>	17
2.5.2.	<i>Factores que Determinan la Ponderación de Criticidad de los Activos para la Miera</i>	20
2.5.3.	<i>Matriz de Evaluación de Criticidad Corporativa de la Minera</i>	23
2.5.4.	<i>Clasificación de los Equipos del Área de Molienda Según su Criticidad.....</i>	24
2.6.	Descripción del Activo	29
2.7.	Taxonomía del Activo	31
2.8.	Descripción del Sistema	32
2.8.1.	<i>Función Primaria</i>	33
2.8.2.	<i>Funciones Secundarias.....</i>	33
a.	Función secundaria ecológica.	33
b.	Función secundaria seguridad..	33
c.	Función secundaria control.	33
d.	Función secundaria apariencia.	33
e.	Función Secundaria Protección.....	33
f.	Función Secundaria Eficiencia.....	33
2.8.3.	<i>Fallas Funcionales (Totales y parciales)</i>	33
2.8.4.	<i>Modos de Fallas</i>	34
2.9.	Selección de Tareas de Mantenimiento Preventivo MP o Programado MPd.....	36
2.10.	Selección de Frecuencias.....	37
2.11.	Plan de Implementación RCM.....	38
2.12.	Diseño de Herramientas de Monitoreo y Control de las Mejoras.....	38
CAPITULO III		43
3.	Análisis e Interpretación de Resultados.....	43
3.1.	Discusión de Sistema Propuesto y Evaluación de Resultados	43
3.2.	Impacto de Mantenimiento en Negocio.....	43
3.3.	Evaluación Antes de la Intervención del RCM II en el Sistema de Molienda	44
3.4.	Inferencia de Mejora con el Proceso de Implementación del RCM II	46
3.5.	Cálculo de Variación de la Disponibilidad Respecto al Costo de Producción del Molino SAG	48

3.6. Estimación de Cálculo Semestral de Disponibilidad del Molino SAG, Bajo la Premisa de Gestión de Mantenimiento Basado en RCM II.....	49
Interpretación.....	52
3.7. Estimación Operacional en el Contexto Actual.....	54
3.8. Estimación de costos proyectados	56
3.9. Filosofía de Mantenimiento con RCMII o Mantenimiento Planificado.....	56
Conclusiones.....	58
Recomendaciones	60
Referencias	61
Anexos.....	63



Índice de Tablas

Tabla 1 Cuadro de operacionalización de variables	2
Tabla 2 Equipo de trabajo propuesto	16
Tabla 3 Criterio para equipos y sistemas por detectabilidad	19
Tabla 4 Ponderación por frecuencia de fallas.....	19
Tabla 5 Ponderación por severidad de la falla.....	20
Tabla 6 Niveles de criticidad	21
Tabla 7 Evaluación de la probabilidad de ocurrencia de la falla	22
Tabla 8 Propuesta de criterios de evaluación de criticidad para activos de la minera	22
Tabla 9 Matriz de evaluación del riesgo.....	23
Tabla 10 Equipos con criticidad alta de área molienda	24
Tabla 11 Equipos con criticidad media	25
Tabla 12 Equipos con criticidad baja	27
Tabla 13 Funciones primarias y secundarias de los equipos que forman el proceso de molienda	34
Tabla 14 Fallas del sub sistema de anillo del estator del molino	35
Tabla 15 Selección de tareas y estrategias de mantenimiento.....	36
Tabla 16 Selección de frecuencias de mantenimiento de acuerdo a criticidad del equipo..	37
Tabla 17 Ponderación para evaluar el proceso de mantenimiento	38
Tabla 18 Preguntas de monitoreo del ciclo de trabajo, desde origen hasta programación de trabajos.....	40
Tabla 19 Preguntas de monitoreo del ciclo de trabajo desde asignación y ejecución a medición de KPIs	41
Tabla 20 Preguntas de monitoreo del ciclo de trabajo desde software a gestión de trabajo	42
Tabla 21 Horas operativas del molino reportado en un periodo definido para el estudio de RCM II.....	44
Tabla 22 Horas operativas del molino reportado en un periodo definido para el estudio de RCM II.....	46
Tabla 23 Horas operativas del molino reportado en un periodo definido para el estudio de RCM II.....	47
Tabla 24 Tabla de mejora de disponibilidad actual y proyectada con RCM II	50
Tabla 25 Tabulación del MTTR, MTBF y Disponibilidad	51

Tabla 26 Estimación del impacto de la disponibilidad en costos de producción anualizados
sin RCM..... 55

Tabla 27 Impacto económico con la optimización con el RCM II propuesto 56



Índice de Figuras

Figura 1 Modelo de proceso de mantenimiento en una empresa de clase mundial.....	10
Figura 2 Ciclo de actividad de mantenimiento	11
Figura 3 Vista general de la planta concentradora	15
Figura 4 Flujograma de análisis de criticidad.....	17
Figura 5 Políticas Corporativas de la minera.	18
Figura 6 Ubicación de proceso de Molienda en la minera.	31
Figura 7 Taxonomía de los activos de la minera	32
Figura 8 Ciclo de la actividad de mantenimiento	39
Figura 9 Horas operativas del molino reportado en un periodo definido para el estudio de RCM II.....	44
Figura 10 Grafico del MTTR del molino con RCM.....	52
Figura 11 Tendencia de MTBF del molino con la optimización del RCM.....	53
Figura 12 Proyección de la disponibilidad al optimizar con RCM II.....	54

Lista de Abreviaturas

RCM II: Reliability Centered Maintenance II, mantenimiento centrado en confiabilidad o RCM más.

RCM+: Reliability Centered Maintenance Plus, mantenimiento centrado en confiabilidad más.

SAE JA1011: Norma internacional, donde establece criterios mínimos para implementar RCM

SAG: Molino semiautógeno.

MTTR: Tiempo medio de reparación.

MTBF: Tiempo medio entre fallas.

FMEA; Análisis de modos y efectos de falla.

KPI: Key performer indicator, indicadores claves de desempeño.

HH: Horas hombre.

CI: Costo inicial.

CO: Costo operativo.

CMP: Costo de mantenimiento programado.

CMM: Costo de mantenimiento mayor.

CTFP: costos totales de fallas en producción.

CTA: costo total anualizado

Resumen

El propósito del presente estudio es optimizar la gestión de activos (equipos y sistemas) del proceso de molienda en las mineras, por medio de mantenimiento centrado en la confiabilidad plus RCM-II o RCM+.

La metodología RCM+ a implementar es adecuada, ya que analiza al activo en su contexto operacional, en la práctica describe que puede fallar y como puede manifestarse en cada estación del año con presencia de lluvias, heladas, polvos, humedad, tormentas, para que el plan de mantenimiento se ajuste y se programe oportunamente.

La propuesta de gestión de mantenimiento comprende la identificación del área crítica para la implementación del RCM+, el sistema y equipo más crítico, donde se registra y analiza los eventos de falla y las fallas recurrentes del activo, luego se analiza modos de fallo y los efectos que implica a: la seguridad, medioambiente, operativo, regulatorio y al activo; a su vez se analiza los posibles fallas potenciales u ocultas que pudieran aparecer, basándose con la filosofía de anticipar el problema.

La data procesada proviene de los registros históricos de la planta, el manual del equipo y la experiencia del personal de mantenimiento combinados con las de operaciones, para analizar y proponer planes de mantenimiento acordes a la realidad, a su vez se puede ajustar conforme ocurre en el tiempo con los nuevos aprendizajes.

Al analizar los resultados, se demuestra la disponibilidad del activo sin el RCM+ y la proyectada con el RCM+, determinándose el impacto en los costos de mantenimiento y costos globales, además se evidencia la relación de disminuir el tiempo medio en reparación MTTR, sube la disponibilidad, como consecuencia el beneficio económico para la organización con ahorro de 2 875 000.00 dólares año.

Palabras clave: Mantenimiento centrado en la confiabilidad, Disponibilidad.

Abstract

The purpose of this study is the optimization of the management of assets (equipment and systems) of the milling process in the miners, through Reliability Centered Maintenance plus RCM-II or RCM +.

The RCM + methodology to be implemented is adequate, since it analyzes the asset in its operational context, in practice it describes what can fail and how it can manifest itself in each season of the year with the presence of rains, frosts, dusts, humidity, storms, so that The maintenance plan is adjusted and scheduled in a timely manner.

The maintenance management proposal includes the identification of the area for the implementation of the RCM +, the most critical system and equipment, where failure events and recurrent asset failures are recorded and analyzed, then failure modes are analyzed and analyzed. the effects that it implies on: safety, environment, operational, regulatory and asset; At the same time the possible or hidden potential failures that could appear, specific with the philosophy of anticipating the problem, are analyzed.

The indicated processed information of the historical records of the plant, the manual of the equipment and the experience of the maintenance personnel combined with the operations, to analyze and propose maintenance plans according to reality, in turn can be adjusted as it occurs in the Time with new learning.

When analyzing the results, the availability of the asset without the RCM + and that projected with the RCM + is demonstrated, determining the impact on maintenance costs and global costs, in addition the relationship of medium time to repair MTTR is evidenced, goes up the availability, as a consequence the economic benefit for the organization with significant savings of 2 875 000.00 dollars per year.

Keywords: Reliability Centered Maintenance, Availability.

Introducción

La mayoría de los equipos mineros son de mayores capacidades en procesamiento del mineral que requieren optimizar para que la producción sea cercana al valor de diseño, en la práctica esto no ocurre debido a diversos factores como: clima, condiciones de proceso, perturbaciones no deseadas, oscilaciones de tipo de material, error de operadores y mantenedores, etc.

En la mayoría de los procesos del sector minero se optimizaron los procesos, en algunos casos son rediseño para lograr la capacidad máxima de producción.

En todas las mineras se utiliza las chancadoras y molinos SAG para reducir la granulometría hasta que sea apta para recuperar el mineral de los demás materias existentes.

Objetivos

Objetivo General

Elaborar una propuesta de gestión de mantenimiento a partir del RCM-II para un molino SAG en empresa minera mayor a 3800 msnm que permita incrementar la disponibilidad y reducir costos operativos de mantenimiento.

Objetivo Específico

- Identificar el contexto operacional del molino SAG, respecto a las especificaciones del fabricante.
- Analizar los modos y efectos de falla que se presentan en los molinos SAG, que incidan en el tiempo promedio entre fallas MTBF y tiempo promedio en reparaciones MTTR.
- Evaluar y proponer plan de gestión de mantenimiento eléctrico, mecánico e instrumental para el área de molienda de la minera.

Hipótesis

Con un adecuado plan de gestión de mantenimiento, que comprende tener plan de mantenimiento mecánico, eléctrico e instrumental, implementado con la metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad plus o RCM II, es posible incrementar la disponibilidad del molino semiautógeno SAG, permitiendo reducir costos globales de mantenimiento.

Variables

Variable Dependiente

- Disponibilidad del molino SAG.

Variable Independiente

- Gestión de mantenimiento, Implementado por metodología RCM II.
- Tiempo medio entre fallas MTBF.
- Tiempo medio para reparación MTTR.

Tabla 1

Cuadro de operacionalización de variables

Variables	Unidad de medida	Indicadores	Herramientas	Descripción conceptual	Descripción Operativa
Variables Dependiente					
Disponibilidad del molino SAG	%	% de disponibilidad	Plan de mantenimiento: Mecánico Eléctrico Instrumentación	Tiempo del activo disponible para producir beneficio	Tiempo en que el activo produce a su plena capacidad operativa.
Variable Independiente					
Gestión de mantenimiento	-	Eficiencia	RCM II	proceso de mantenimiento de activos	Elaboración de planes y programas de mantenimiento.
		Costo de mantenimiento	Reporte mensual	Inversión requerida para operación de activos	Costo de repuestos, equipos y HH.
MTBF	-	Fiabilidad	Horómetros	Tiempo promedio de fallos	Tiempo entre dos fallos
MTTR	horas	# de órdenes de trabajo	Cuaderno de reportes	Tiempo promedio de reparación.	Tiempo requerido para reparar activo

Nota. RCM II: Mantenimiento centrado en confiabilidad plus; MTBF: Tiempo medio entre fallas; MTTR: tiempo medio entre reparación; HH: horas hombre.

CAPITULO I

1. Marco Teórico

1.1. Introducción

La mayoría de los equipos mineros son de mayores capacidades en procesamiento del mineral que requieren optimizar para que la producción sea cercana al valor de diseño, en la práctica esto no ocurre debido a diversos factores como: clima, condiciones de proceso, perturbaciones no deseadas, oscilaciones de tipo de material, error de operadores y mantenedores, etc.

En la mayoría de los procesos del sector minero se optimizaron los procesos, en algunos casos son rediseño para lograr la capacidad máxima de producción.

En todas las mineras se utiliza las chancadoras y molinos SAG para reducir la granulometría hasta que sea apta para recuperar el mineral de las rocas.

1.2. Definición del Molino Semiautógeno SAG

El molino semiautógeno o molino SAG es un equipo que permite la reducción de material sólido en una relación de hasta 1000:1, con potencias y tamaños superiores a los molinos de bolas convencionales.

Sus ventajas del molino SAG respecto a los molinos de bolas, es que el SAG utiliza la fuerza de los propios minerales para triturarse entre sí, reduciendo el requerimiento de bolas de acero respecto a su antecesor reduciendo costos de producción (FL Smidth, 2011).

1.3. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad RCM

Metodología utilizada para determinar, qué debe hacerse para asegurar que todo activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su actual contexto operacional (Moubray, 1997).

Otros autores definen al RCM, como una metodología de análisis sistemática, objetiva y documentada, útil para el desarrollo u optimización de un plan de mantenimiento, que puede ser aplicada a cualquier tipo de instalación industrial. Carabajo, J. y Solano, E.(2008).

Si bien el RCM surge en la industria aeronáutica, con resultados sorprendentes, luego es tomado como herramienta estándar, en las FF. AA de EE. UU, e industria nuclear (Duran, 2001).

En los 90 se originan 2 corrientes como el RCM+ o RCM II, que está orientado a mejora de proceso productivo en general, aplicando a sistemas más críticos, al incorporar herramientas de optimización de frecuencias de mantenimiento e inspección, RCM en reversa y análisis causa raíz. Moubray enfoca a RCM II en sistemas más críticos de otras industrias diferentes al aeronáutico, optimizando costos y tiempo respecto al RCM. (Moubray, 1997)

1.4. El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad más RCM+ o RCM II

Creado en Reino Unido, con enfoque de mejora al RCM clásico, usado con efectividad en la industria de procesos con características siguientes.

- Estrictamente utilizado en sistemas críticos.
- Avance rápido, flexible; buscando efectividad en el equipo de trabajo.
- Selección de tareas y acciones inmediatas, no informes técnicos extenso, no tanto mucho papel.
- Basado en estricta justificación de costo beneficio.
- Introduce estrategias de avance rápido para los sistemas / equipos no críticos (RCM reverse)
- Utiliza causa raíz, para resolver problemas operacionales.
- Uso exitoso en todo tipo de industrias. (SAE JA1012, 2002)

1.5. Características del RCM

La metodología RCM, según Moubray.J. (1997), se caracteriza por lo siguiente.

- Herramienta que permite ajustar las acciones de control de fallas con estrategias de mantenimiento, según el entorno operacional del activo.

- Metodología basada en un procedimiento sistemático, que permite generar planes óptimos de mantenimiento, generando cultura de cambio en la organización.
 - Los resultados de aplicar RCM, tendrán su mayor impacto, en sistemas complejos con múltiples modos de falla (ejemplo: equipos rotativos grandes Molino SAG).
- La maduración del RCM, se logra en mediano plazo a largo plazo (SAE JA1012, 2002).

1.6. Análisis de Modos y Efectos de Falla FMEA

Es una técnica aplicada al estudio metódico de las consecuencias que generan las fallas de cada componente de un equipo (CEI / IEC , 2006).

La finalidad de análisis de modos y efectos de fallo, nos permiten identificar las mayor y menor impacto en la planta. Moubray (1997) sostiene que FMEA, Es un proceso sistemático para identificar fallas potenciales del diseño del producto o equipo antes de que ocurra y sea desastrosa, y Tiene como fin lo siguiente.

- Reconocer y evaluar los modos de fallas potenciales y las causas asociadas con el diseño y montaje, operación y mantenimiento de un equipo, a partir de los componentes.
- Determinar los efectos de las fallas potenciales en el desempeño del sistema.
- Identificar las acciones que podrán eliminar o reducir la ocurrencia de la falla potencial.
- Analizar la confiabilidad del sistema y documentar el proceso.

1.7. Disponibilidad

Capacidad de un activo de desarrollar su función requerida bajo condiciones dadas en un instante de tiempo dado o sobre un intervalo de tiempo dado, asumiendo que los recursos externos requeridos son suministrados (Pascual, 2008).

1.8. Confiabilidad

La probabilidad de que un activo opere sin fallar bajo un tiempo determinado bajo condiciones establecidas (Silva Ardilla & Orrego Barreda, 2014).

Capacidad de un activo de desarrollar su función requerida bajo condiciones dadas para un intervalo de tiempo dado (Arata, 2013).

1.9. Mantenibilidad

Capacidad de un activo bajo condiciones dadas de uso, de ser reparado a un estado en el cual pueda desarrollar su función requerida, cuando el mantenimiento es realizado bajo condiciones dadas y usando los procedimientos y recursos definidos (Silva Ardilla & Orrego Barreda, 2014).

1.10. La Bomba de Agua

Son máquinas accionadas por motor eléctrico que sirven para proporcionar el líquido de un lugar a otro, típicamente para elevar fluidos.

En el sistema de molienda de plantas mineras, las bombas alimentan agua hacia los hidrociclones que ingresan al molino para mantener la humedad, permitiendo la adecuada selección de finos y gruesos.

1.11. Minería

La minería es una ciencia o actividad que se encarga de obtener el mineral del subsuelo hasta recuperar en forma de concentrado o cátodos de los minerales en su pureza más alta posible, las estrategias de recuperación dependen del tipo de mineral o la disposición que se encuentra en el suelo.

Las técnicas de obtención generalmente son de dos tipos a tajo abierto y túneles, de manera que para recuperar el material tratado utilizan chancadoras y molinos como el molino SAG.

1.12. Definiciones Básicas Según la Norma SAE JA1011 y SAE JA1012

Las definiciones mostradas líneas abajo son las que aparecen exactamente en la norma SAE JA1011 y SAE JA1012, que son tomadas como referencia para entender las definiciones orientadas al RCM y aplicadas en tareas de mantenimiento para diferenciar de otras disciplinas que pueden tener percepción diferente.

1.12.1. Capacidad Inicial

Según la norma SAE, lo define como el nivel de operación que el activo físico o sistema es capaz de lograr en el momento que entra en servicio (Norma SAE JA1011, 1999).

1.12.2. Consecuencias Ambientales

Un modo de falla o falla múltiple tiene consecuencias ambientales si puede violar con límites superiores a, cualquier norma ambiental corporativa, municipal, regional, nacional o internacional, o la regulación que aplica para el activo físico o sistema en consideración (Norma SAE JA1011, 1999).

1.12.3. Consecuencias de Falla

Los efectos que puede provocar un modo de falla o una falla múltiple (evidencia de falla, impacto en la seguridad, en el ambiente, en la capacidad operacional, en los costos de reparación directos o indirectos) (Norma SAE JA1011, 1999).

1.12.4. Consecuencias en la Seguridad

Un modo de falla o falla múltiple tiene consecuencias en la seguridad si puede dañar o matar a un ser humano (Norma SAE JA1011, 1999).

1.12.5. Consecuencias no Operacionales.

Una categoría de consecuencias de falla que no afecta adversamente la seguridad, el ambiente, o las operaciones, y que sólo requiere reparación o reemplazo de cualquier elemento que podría ser afectado por la falla (Norma SAE JA1011, 1999).

1.12.6. Consecuencias Operacionales.

Una categoría de consecuencias de falla que afecta adversamente la capacidad productiva de un activo físico o sistema (producción, calidad del producto, servicio al consumidor, capacidad militar, o costos operacionales en adición al costo de reparación) (Norma SAE JA1011, 1999).

1.12.7. Contexto Operacional

Las circunstancias bajo las cuales se espera que opere el activo físico o sistema, incluidos aspectos climáticos, latitud y limitaciones operacionales humanas (Norma SAE JA1011, 1999).

1.12.8. Desincorporación Programada

Una tarea programada que trae consigo la desincorporación de un componente en o antes de un límite de longevidad específico sin tener en cuenta su condición en el momento (Norma SAE JA1011, 1999).

1.12.9. Dispositivo Protector o Sistema Protector

Un dispositivo o sistema que pretende evitar, eliminar, o minimizar las consecuencias de falla de cualquier otro sistema (Norma SAE JA1011, 1999).

1.13. Efecto de Falla

Lo que pasa cuando ocurre un modo de falla (Norma SAE JA1011, 1999).

1.13.1. Falla Evidente

Un modo de falla cuyos efectos se tornan evidentes para el personal de operaciones bajo circunstancias normales, si el modo de falla ocurre aislado (Norma SAE JA1011, 1999).

1.13.2. Falla Funcional

Un estado en el que un activo físico o sistema no se encuentra disponible para ejercer una función específica a un nivel de desempeño deseado (Norma SAE JA1011, 1999).

1.13.3. Falla Múltiple

Un evento que ocurre si una función protegida falla mientras su dispositivo o sistema protector se encuentra en estado de falla (Norma SAE JA1011, 1999).

1.13.4. Falla Oculta

Un modo de falla cuyo efecto no es evidente para el personal de operaciones bajo circunstancias normales, si el modo de falla ocurre aislado (Norma SAE JA1011, 1999).

1.13.5. Falla Potencial

Una condición identificable que indica que una falla funcional está a punto de ocurrir o está en proceso de ocurrir (Norma SAE JA1011, 1999).

1.13.6. Función

Lo que el dueño o usuario desea que realice un activo físico o sistema (Norma SAE JA1011, 1999).

1.13.7. Función Evidente

Una función cuya falla aislada se vuelve evidente al personal de operaciones bajo circunstancias normales (Norma SAE JA1011, 1999).

1.13.8. Función Oculta

Una función cuya falla aislada no se vuelve evidente para el personal de operaciones bajo circunstancias normales (Norma SAE JA1011, 1999).

1.13.9. Funciones Primarias

Las funciones que constituyen las razones principales por las que el activo físico o sistema es adquirido por su dueño o usuario (Norma SAE JA1011, 1999).

1.13.10. Funciones Secundarias

Las funciones que un activo físico o sistema tiene que cumplir a parte de sus funciones primarias, así como aquellas que necesitan cumplir con los requerimientos reguladores o a las cuales conciernen los problemas de protección, control, contención, confort, apariencia, eficiencia de energía e integridad estructural. (Norma SAE JA1011, 1999)

1.14. Sistemas de Gestión

Los sistemas de gestión, son documentos que surgen de una planificación y análisis detallado del enfoque que se desea lograr aplicado en las empresas u organizaciones (Salas

Nestares & Arriaga Juares, 2006).

A nivel global, existen organismos como la Organization for Standarization ISO, que emite estándares que contempla las mejores prácticas en organizaciones o empresas del sector productivo o servicios, que básicamente teniendo como referencia la norma ISO 9000 y sus variantes emitidos posteriormente, especifican los requisitos mínimos que debe de cumplir el sistema de gestión basados en calidad. (ISO., 2014)

1.15. Norma ISO 9000

La serie de Normas ISO 9000, establece lineamientos básicos para establecer el sistema de gestión de la calidad de una organización y como deben funcionar en conjunto estos elementos para asegurar la calidad de los bienes y servicios que produce la Organización (ISO., 2014).

La Organización puede ser una empresa, compañía o cualquier estructura organizada que genere o comercialice productos o servicios de algún tipo.

Se entiende por sistemas de gestión, a las acciones que permiten identificar, entender y gestionar los procesos interrelacionados como un todo o sistema, que contribuya a la eficacia y eficiencia de la organización en el logro de sus objetivos.

Esta orienta a la mejora continua que implica buscar la perfección en las actividades o procesos de la organización, haciendo que los recursos sean eficaces. (GESTIÓN DE CALIDAD - ISTEEC , 2007)

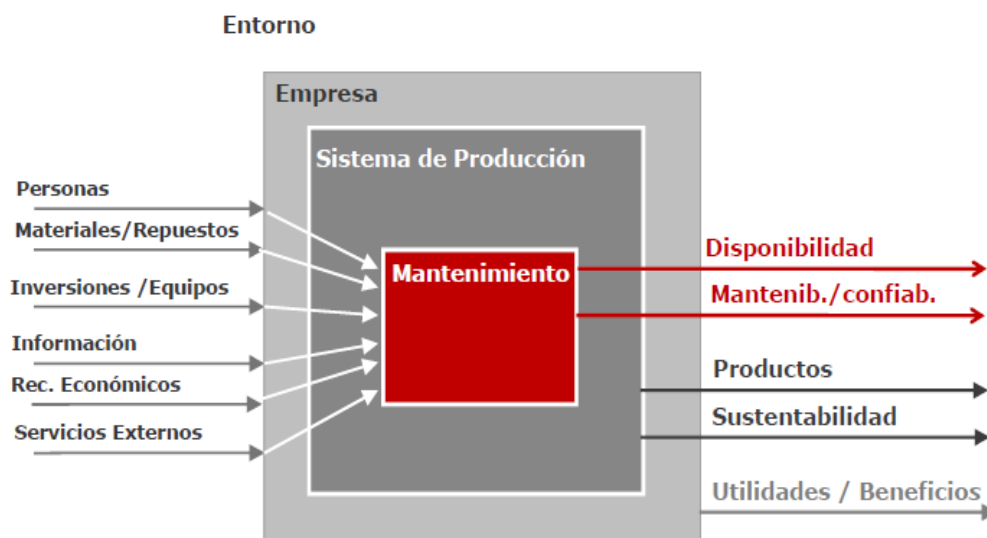
1.16. Mantenimiento

La norma europea lo define como, la combinación de acciones técnicas, administrativas y de gestión a lo largo del ciclo de vida de un equipo, destinadas a conservarlo o devolverlo a un estado en el cual pueda desarrollar la función requerida. Por función requerida se entiende la función o combinación de funciones de un elemento que se consideran necesarias para proporcionar un servicio dado. (EN 13306, 2001).

La definición, se acomoda a las nuevas filosofías de mantenimiento orientados a la industria.

Figura 1

Modelo de proceso de mantenimiento en una empresa de clase mundial



Nota. La figura evidencia los factores del entorno operativo, que inciden en la disponibilidad y confiabilidad del activo. Tomado de la presentación de clases magistrales de gestión de Mantenimiento.

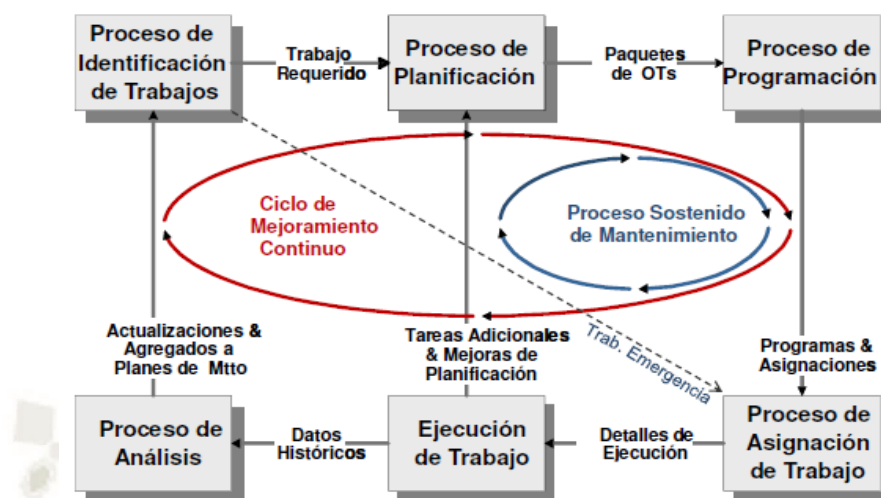
En la figura 1, claramente se muestra la importancia de mantenimiento en la organización y el impacto en las utilidades y beneficios, para que esto ocurra, se debe gestionar las personas, materiales/repuestos, equipos, información, recursos económicos y servicios externos, de no ser así, pues la disponibilidad, mantenibilidad y confiabilidad de la planta, equipo o sistema será afectado drásticamente.

1.17. Actividad de Mantenimiento

Conjunto de actividades llevadas para que el activo recupere o mantenga la función perdida producto de una falla temporal.

Figura 2

Ciclo de actividad de mantenimiento



Nota. La figura muestra los procesos internos dentro de la organización de mantenimiento gestionados desde el origen hasta culminarlos, enfocando las actividades que necesariamente ocurre por más planificado sea el trabajo. Fuente: Tomado de la conferencia de IPEMAN (2012).

1.17.1. Origen del Trabajo

El origen se genera por la identificación del trabajo, esta puede ser producto de: pedido de operaciones, sugerencia del área de predictivo, falla evidente (equipo detenido), producto de observaciones de auditoria. Ahora en que tiempo y con que recurso se enfrenta ahí radica la programación, ya que no todos tienen la misma importancia.

1.17.2. Calidad y Extensión del Planeamiento

El planeador de mantenimiento se encarga de dar las prioridades de atención en función de su criticidad, y el impacto en producción, seguridad y medioambiente.

Debe asegurarse que la labor que necesita realizar y si existe materiales, repuesto, recurso humano, condiciones de intervención, logística, etc. Que le permita programar coherente y oportunamente.

1.17.3. Programación de Trabajos

En esta etapa se calendariza la ejecución y el tiempo que demandara en horas hombre y las coordinaciones necesarias con las áreas afectadas o involucradas.

1.17.4. Asignación y Ejecución del Trabajo

En esta etapa de trabajo se asigna al personal idóneo para la actividad; mecánico, eléctrico, instrumentación, predictivo o combinación de ambos. También se provee los recursos necesarios como: herramientas, materiales, equipo auxiliar, servicio especializado, servicio de contratistas, etc.

1.17.5. Registro del Trabajo

Finalizada la labor, el personal que ejecuto el trabajo, deberá de reportar las condiciones encontradas del activo, el diagnóstico y las tareas de corrección o ajuste realizadas. El reporte con información relevante, servirá, para que en futuros eventos de falla similares, el tiempo de acción sea la inmediata o permita implementar planes de mejora futuras.

1.18. Medición del Rendimiento de Indicadores Claves de Desempeño KPIs

La organización de mantenimiento dentro de sus objetivos tiene metas por cumplir bajo ciertas indicadores de desempeños claves KPIs que permita su norte, estas deben compararse con los reportes y análisis de los mismos, ¿se cumplen o no?, en qué medida se cumple?, ¿está dentro de los objetivos o fuera?, estas son favorables o desfavorable, ¿Qué afecto positivamente o negativamente?; pues estas interrogantes y comparación de resultados permitirán encontrar opciones de mejora o ajuste en función de la situación.

1.19. Sistema de ERP o CMMS de la Organización

Las empresas hoy en día requieren soportarse, ya sea por un ERP o un CMMS que permita registrar y gestionar las actividades propias de mantenimiento.

El software ayuda a almacenar, procesar y generar reportes para la toma de decisiones adecuadas; pero debe tenerse en cuenta que el software no hace solo, y obedece de la data que se haya precargado, si ingresa información irrelevante al software los resultados serán irrelevantes que en vez de ayudar puede desviar nuestras expectativas.

1.20. Gestión de Materiales

Comprende las políticas de gestionar los materiales, repuestos, consumibles que requiere la actividad de mantenimiento.

Esta debe tener estrecha relación con el área de logística de la empresa, además dependiendo de las políticas de la organización, prevee si algún repuesto requiere importación, tiempo de entrega, los proveedores, etc. la gestión adecuada necesariamente debe estar soportado por software ERP o CMMS.

1.21. Plan de Mantenimiento

Documento elaborado consensuado y aceptado por una empresa u organización bajo las cuales se especifica los procedimientos y lineamientos de mantenimiento con la planeación, programación asignación de recursos y el cierre documentado de la actividad.

1.22. Activo

Según la ISO 55000, define al activo como ítem, cosa o entidad que tiene potencial para generar valor para una organización o accionistas, el valor puede variar para cada organización o accionistas y estas pueden ser tangible e intangible, financieros y no financieros (ISO 55000-2014, 2014).

Otros autores definen aquel que genera valor potencial o valor actual de una organización como equipamiento, maquinas, flete de movilidad, sistemas partes de componentes, incluyen software que genera rendimiento de un servicio (Gulati, 2013).

1.23. Gestión de Activos

La norma lo define como: política de gestión de activos, estrategia de gestión de activos. Y el plan de planes de la gestión de activos y las actividades procesos y estructuras organizacionales necesarias para su desarrollo e implementación continua (PAS 55-1:2008 British Standar BSI, 2008).

La gestión de activos abarca en toda la estructura organizacional, las mismas que para una adecuada gestión debe reconocer, gestionar por grupos o familias, las que deberán incluir actividades específicas, políticas, estrategias y roles de personas involucrados, gestión de recursos humanos y competencias de las personas involucrados en la organización (Hastings, 2010).

CAPITULO II

2. Metodología.

2.1. Diseño Metodológico de la Investigación

La metodología empleada en el presente proyecto, seguirá la metodología recomendada por RCM-II (mantenimiento centrado en confiabilidad II o conocido también Mantenimiento centrado en confiabilidad plus RCM+), donde primeramente se realiza la taxonomía de la planta, identifica el equipo o sistema más crítico, los análisis de modos y efectos de falla y la implementación de tareas proactivas sistematizados bajo un plan establecido (SAE JA1012, 2002).

2.2. Implementación del RCM al Área de Molienda en Minera a 3800 msnm

Para concretar la implementación, siguiendo las recomendaciones del RCMII se debe identificar al sistema de equipos, sujeto de análisis, teniendo en cuenta las condiciones al cual es sometido durante la operación.

2.3. Contexto Operacional

Se omite mencionar la titularidad de la concesión y nombre de la compañía por cuestiones legales que requieren de permisos para mencionar sus marcas y patente, para efectos del presente estudio solo se denominará empresa minera.

El Proyecto de la minera consiste en una mina de tajo abierto con reservas de cobre y molibdeno, localizada en la parte sur de los Andes del Perú; a 3800 m.s.n.m. aproximadamente.

El plan de operaciones del Proyecto contempla la extracción mineral de una mina a tajo

abierto utilizando métodos convencionales de explotación, usando palas y camiones para el transporte del mineral y/o desmonte.

El clima en la operación es marcada sobre las estaciones del año, comprendida por lluvia, tormentas y nieve, desde noviembre a marzo; mientras en abril a julio, presencia de heladas; desde agosto a Noviembre con presencia de vientos y polvo por la escasa humedad, pudiendo variar variar, según el comportamiento climático.

“Su objetivo prioritario de la minera, es la producción de concentrado de cobre y molibdeno. El concentrado de cobre será producido a partir del mineral mediante procesos de:

- Chancadora primaria.
- Faja transportadora.
- Pila de almacenamiento de mineral.
- Área de molinos: Molinos SAG y de bolas.
- Área de flotación: Celdas rougher y de limpieza.
- Área de espesadores y bombas de relave.

Mientras que la producción de óxido de molibdeno involucrará un proceso de oxidación a presión (Hidrometalurgia). Tanto el concentrado de cobre como el óxido de molibdeno serán transportados por camiones mineros hasta el puerto para su exportación”.(Surco, 2021)

Figura 3

Vista general de la planta concentradora



Nota. En el grafico se aprecia las condiciones operativas de la minera.

2.4. Grupo de trabajo

Para establecer el grupo de trabajo se propone la integración de todo el personal de área de operaciones, mantenimiento, seguridad, logística, recursos humanos mediante un líder asignado, para establecer sinergias dentro del proceso productivo.

La implementación de gestión de mantenimiento basado en RCM-II no solo implica mejorar la confiabilidad del equipo, sino capacitación y entrenamiento de los actores en temas de interés para establecer mejoras en la filosofía de mantenimiento con calidad total de producción, operación y mantenimiento.

Tabla 2

Equipo de trabajo propuesto

Integrantes	Cargo	Área	Función	Principal o respaldo
1	Facilitador o líder	Consultor externo	Dirige las actividades bajo metodológicamente.	principal
2	Ingeniero de procesos	Sup. Metalurgia	Dirige las estrategias operativas del proceso de molienda	principal
3	Mantenimiento			
	Mecánico	Sup. Mecánico		
	Instrumentación	Sup. Instrumentación.	Expertos en realizar las actividades de mantenimiento	principal
	Eléctrico	Sup. Eléctrico.		
	Predictivo	Sup. Predictivo		
4	Operador	Sup. Operaciones	Conoce los equipos	respaldo
5	Programador	planer de mantto y operaciones	registra y genera frecuencias en tiempo oportuno	respaldo
6	Especialista	Consultor externo	Experto implementación de gestión de mantenimiento.	respaldo

Nota. En la tabla, se muestra el equipo de trabajo propuesto para implementar el sistema RCM II en área de molienda, según la literatura de implementación RCM II. Fuente: en base a la norma SAE JA1012 (2002).

2.5. Modelo de Criticidad de la Planta

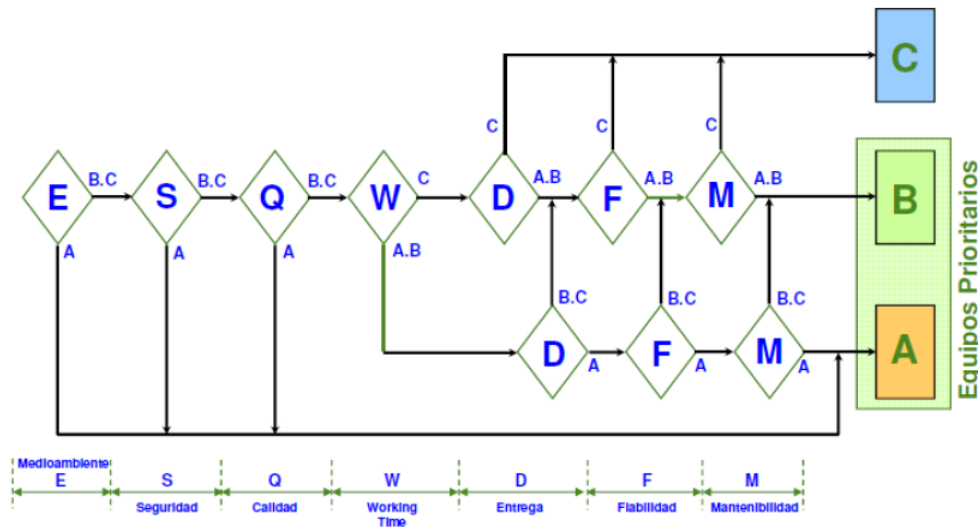
Existe literatura respecto a cómo elaborar los criterios de análisis de criticidad, en el presente caso se combina las políticas corporativas de la minera y los criterios encontrados en la bibliografía. Esta metodología puede variar en otras compañías dependiendo de su política de manejo de sus activos y políticas corporativas de gestión.

La consideración a tener en cuenta son impactos ambientales, seguridad, calidad, tiempo de trabajo, entrega, fiabilidad y mantenibilidad, en la que a cada uno se le asignara valores

ponderados y los que tengan mayor puntuación o la letra C serán los equipos o partes mantenibles críticos.

Figura 4

Flujograma de análisis de criticidad



Nota. En el grafico se aprecia las prioridades, donde A el mas prioritario y C menos prioritario para considerar criticco. Fuente: Tomado de conferencia IPEMAN (2012).

2.5.1. Factores Ponderados para el Análisis de Criticidad en los Equipos

Las políticas corporativas de la minera, son la de cero daños, buenas relaciones con las comunidades y generar valor sobre los activos; vale decir lo más valioso son las personas, medioambiente y por último los equipos y la producción (activos).

Figura 5

Políticas corporativas de la minera en seguridad



Nota. En el grafico se aprecia la prioridad corporativa. Adaptado de políticas corporativas de la minera.

Si bien las políticas corporativas de la minera están alineadas con estándares internacionales, en la unidad operativa sujeto de análisis, en el área de mantenimiento para analizar la criticidad de los equipos son considerados 3 factores y son: detectabilidad de la falla, frecuencia de la falla y la severidad de la falla por lo que al momento de proponer la gestión de mantenimiento basado en RCM son insuficiente por los que se creara una nueva forma de analizar la criticidad.

En las tablas 2 a 4, se muestran los criterios señalados:

Criterios de ponderación para determinar criticidad de los equipos a nivel corporativo de la minera para mantenimiento.

En la tabla 3, la empresa determina consideraciones para que sus activos sean o no detectables, por medio de instrumentos, observación visual u otras técnicas viables.

Tabla 3
Criterio para equipos y sistemas por detectabilidad

Nivel de Detectabilidad del activo	Ejemplo de ocurrencia
5 = Will probably not be detected.	(e.g., slight screen attribute color change)
4 = Will be detected rarely ($\sim < 5\%$).	(e.g., slight increase in motor noise)
3 = Will be detected intermittently ($\sim 5\% - 95\%$).	(e.g., very slow leak in hanging liquid bag)
2 = Will be detected most of the time ($\sim > 95\%$).	(e.g., 1cc/hour bag leak)
1 = Will be detected every time.	(e.g., operator cannot enter variables)

Detectability (in treatment theater): The likelihood of failure mode reaching customer or the chance of being undetected. Relative to the severity of the failure, the less the failure is detectable, the greater the possible risk.

Nota. Ponderación de criticidad de activos en la minera, donde 5 corresponde al más crítica y 1 la menos crítica. Tomando en base a políticas corporativas de la empresa.

Identificada la falla, se registra y por medio de los eventos de falla se determinará lo que corresponda, en la tabla 3, se aprecia las consideraciones que la empresa utiliza para asignar un valor equivalente por la cantidad de sucesos.

Tabla 4
Ponderación por frecuencia de fallas

Frecuencia de ocurrencias	Descripción de ocurrencias como ejemplo
5 = Frequent ($p > 0.2$)	(e.g., disposable misloaded, then corrected)
4 = Probable ($0.1 < p < 0.2$)	(e.g., operator will enter wrong variables)
3 = Occasional ($0.01 < p < 0.1$)	(e.g., disposable improperly assembled)
2 = Remote ($0.001 < p < 0.01$)	(e.g., peristaltic motor will fail)
1 = Extremely unlikely ($p < 0.001$)	(e.g., device would fall over on operator)

Frequency: The probability of occurrence of the failure mode over time or per system use (unless otherwise defined on form will be equivalent to failure in one year or 2100 hours).

Nota. En la tabla se aprecia la ponderación de criticidad de activos en la minera. Tomado en base a las políticas corporativas. Adaptado por el autor para determinar ponderación de criticidad por RCM II. Fuente: en base a la norma SAE JA1012 (2002).

Para determinar la severidad de la falla, la empresa aplica un modelo como se aprecia en la tabla 4, para asignar a sus activos, cuando esta falla.

Tabla 5

Ponderación por severidad de la falla

Ponderación	Descripción
5	Critical: High probability of patient/user death or severe injury requiring treatment.
4	Major: Probability of minor patient harm (minor treatment required), nonfunctional device (loss of effectiveness). Major source of dissatisfaction for customer.
3	Minor: Could cause some loss of functional of the device (some nuisance, but no harm to procedure or patient, or may present a cosmetic defect that is clearly noticeable and may be a minor source of dissatisfaction to the customer. Often will cause user to bring to attention of company.
2	Nuisance: Minor nuisance (short inconvenience to user or to patient). No impact on function of device. Trainable workaround or trainable expectation. May cause user to bring to attention of company.
1	Negligible: Minor issue or cosmetic defect that has no impact on function and very little impact on aesthetics. Will rarely cause customer to bring issue to attention of company.

Severity: The degree of patient harm or loss of system or process efficacy imparted by the failure. A component, subsystem or system failure when occurring may result in a range of effects, the impacts of which may vary from the most critical (possible serious injury or death of a person using the device, or on which the device is being used) to a simple minor cosmetic impact (no impact on function, and visually nearly unnoticeable).

Nota. En la tabla se aprecia ponderación de criticidad de activos en la minera. Adaptado por el autor para determinar ponderación de criticidad por RCM II. Fuente; en base a la norma SAE JA1012 (2002).

2.5.2. Factores que Determinan la Ponderación de Criticidad de los Activos para la Miera

En las tablas 3, 4 y 5 no se consideran otros factores, como el impacto económico, ambiental. Pues en base a ello se elabora criterios adicionando con las recomendaciones del RCM+ para que el impacto sea controlado y verdadero como se aprecia en las tablas siguientes.

Para tener el control de nivel de criticidad de los activos, la organización considera parámetros como de la tabla 6, evaluando el impacto que cada activo comprende al fallar.

Tabla 6

Niveles de criticidad

Factor	Descripción
Frecuencia de Fallas	Es el número de eventos registrados en un periodo de tiempo de una perdida de función total o parcial de un sistema, máquina o pieza.
Impacto Operacional	Cantidad de mineral procesado en un periodo dado Toneladas/día y cumplimiento de metas operacionales anualizados, está asociado al cumplimiento del activo. Se incluyen calidad del producto, ya que, en situaciones diversas, los reactivos pueden implicar costos adicionales o en líneas específicas hasta puede ocasionar consecuencias de falla múltiple cuando un activo pierde la función total o parcial.
Flexibilidad Operacional	Facilidad para efectuar un cambio rápido ante la presencia de una falla sin recaer en el aumento de costos o pérdidas.
Costos de Mantenimiento	Son los gastos que implica la labor de mantenimiento, sin incluir los costos producidos por la falla; consumibles, repuestos, logística, importación, etc.
Impacto a la Seguridad y Medio Ambiente	Consecuencias que puede ocasionar la falla total o parcial del activo (máquina o pieza) sobre las personas o el ambiente o las políticas ambientales y de seguridad corporativa.
Frecuencia de Uso del Equipo	Parámetro utilizado para indicar la frecuencia del uso del equipo durante el año, en este caso la frecuencia de uso por turnos de día y noche.

Nota. En la tabla se aprecia los niveles de criticidad. Adaptado por el autor para determinar ponderación de criticidad por RCM II. Fuente: en base a la norma SAE JA1012 (2002).

En la tabla 5, se puede apreciar las nuevas consideraciones propuestas para determinar la criticidad de los activos en la minera, donde la data es recogida y consensuada por el equipo de trabajo de la implementación del RCM en el sistema de molienda.

Tabla 7

Evaluación de la probabilidad de ocurrencia de la falla

Valor	Categoría	Frecuencia de fallas
1	Muy Baja Probabilidad	Una Falla cada 2 - 5 Años
2	Baja Probabilidad	Una Falla cada 1 - 2 Años
3	Probabilidad Media	Una Falla cada 6 Meses - 1 Año
4	Alta Probabilidad	Una Falla cada 3 - 6 Meses
5	Muy Alta Probabilidad	Una Falla cada 1 - 3 Meses

Nota. En la tabla, 5 comprende muy alto y 1 muy bajo. Adaptado por el autor para determinar ponderación de criticidad por RCM II, en base a la norma SAE JA1012.

Teniendo lineamientos establecidos para ponderar las fallas, cabe proponer algunas consideraciones, afín de determinar la criticidad por cada sistema y activo específico, con las consideraciones de la tabla 6.

Tabla 8

Propuesta de criterios de evaluación de criticidad para activos de la minera

Frecuencia de fallas	Ponderación
Mayor de 3 Fallas/mes.	5
3 Fallas/mes.	4
2 Fallas/ mes.	3
1 Fallas/ mes.	2
Menos de 1 Fallas/Año	1
Impacto operacional	Ponderación
Incumplimiento de metas de producción de concentrado de cobre y molibdeno menos del 80% o paradas con horas perdidas superior a 8 horas días o acumulables en 2 turnos consecutivos.	5
Incumplimiento de metas de producción de concentrado de cobre y molibdeno menos del 95% o Impacto en la producción con horas perdidas, menos de 8 y mayores a 3 horas.	4
Impacto en la producción con horas perdidas, menos de 3 y mayores a 1 hora.	3
Impacto en la producción con horas perdidas, menos de una hora.	2
Parada parcial o total del equipo o sistema sin afectar la producción o calidad de producción.	1
Tiempo promedio para reparar	Ponderación
Mas de 1 Semana	5
1-2 días	4
4-8 horas	3
1 -4 horas	2
Menos de 1 Hora	1
Costo de mantenimiento	Ponderación
Mayor a \$ 100000000	5
de \$5000000-\$10000000	4
de \$250000-\$500000	3

de \$100000 -\$250000	2
Menos de \$ 100000	1
Impacto en seguridad e higiene	Ponderación
Afecta la seguridad humana tanto externa como interna y requiere de notificación a entes externos de la organización.	5
Afecta al medioambiente e instalaciones.	4
Afecta instalaciones causando daños severos.	3
Provoca daños menores en seguridad y medioambiente.	2
No provoca ningún tipo de daños a personas, instalaciones ni ambientales.	1
Frecuencia de uso del equipo	Ponderación
En doble turno día y noche y los 365 días año	5
En un solo turno, sea de día o noche.	4
Menos de 8 horas día.	3
Equipos en estambay (siempre que no afecta al proceso o que el paralelo esté en condiciones operativas).	2
Menos de 4 Hora por día, pudiendo esto ser acumulativa en un turno.	1

Nota. En la tabla se aprecia la ponderación de 1 a 5 las frecuencia de fallos, impacto operacional, costo operacional, MTTR, Costo de mantenimiento y frecuencias de uso. Adaptado por el autor en base a la norma SAE JA1012.

2.5.3. *Matriz de Evaluación de Criticidad Corporativa de la Minera*

La matriz de la tabla 8, son las que maneja la minera a nivel corporativo para evaluar el riesgo de sus activos físicos, para el presente estudio se utilizara dicho instrumento como referencia, adecuando al contexto operacional del estudio a 3800 msnm.

Tabla 9

Matriz de evaluación del riesgo

Categoría de probabilidad			Categoría de las consecuencias		
5	*	*	#	#	Extrema
4	*	*	*		Criticidad A (#)
3	†				
2	Criticidad	C (+)	*	*	*
1	†	†	†	*	*
	A	B	C	D	E

Nota. En la tabla se observa el nivel de criticidad del activo, donde la interpolación de 1A, 1B,1C,2A,2B, y 3A corresponde criticidad baja, 1D,1E,2C,2D,2E,3C,4A,4B,4C,5A,5B criticidad alta, 3E,4D,4E,5C,5D criticidad muy alta y 5E criticidad extremadamente alta. Tomado y adaptado por el autor de política corporativa de selección de activos críticos de la minera y la norma SAE JA1012.

Para efectos de calcular la criticidad del equipo, basado en la matriz de criticidad y las ponderaciones, establecidas es necesario analizar matemáticamente la ecuación de criticidad que resulta de incluir los impactos de costo, impacto ambiental y seguridad, impacto operacional y frecuencia de uso del activo físico.

Ecuación de criticidad:

$$\text{Criticidad} = \text{Frecuencia} \times \text{Consecuencia}$$

Consecuencia= a + b

Donde:

a= Impacto Operacional x MTTR

b= Costo de Mantenimiento + Impacto en Seguridad, Ambiente e Higiene+ Frecuencia de uso del Equipo

El MTTR viene a ser el tiempo promedio de reparación, que en la práctica comprende el tiempo que se demora en producir el activo algunos empresas lo asumen desde la entrega de operaciones a mantenimiento para repararlo hasta la devolución de mantenimiento a operaciones.

2.5.4. Clasificación de los Equipos del Área de Molienda Según su Criticidad

Según la evaluación de la criticidad y ponderación de impacto en las actividades de mantenimiento descritas en las actividades por las tablas precedentes, se procede a ponderar y el resultado es los equipos presentados en la tabla 9 resultaron ser las más críticas.

Tabla 10

Equipos con criticidad alta de área molienda

Tag motor	Descripción	Load/ motor	Frame	Stand by	Emergency	Vn	Kw
210-MD-002	Metal detector	Load		No	No	380	15
210-PP-001-M1	Ball mill hydrocyclone feed pump	Motor	MGF8809	No	No	4000	1943
210-PP-002-M1	Ball mill hydrocyclone feed pump	Motor	MGF8809	No	No	4000	1943
210-PP-003-M1	Ball mill hydrocyclone feed pump	Motor	MGF8809	No	No	4000	1943
210-PP-004-M1	Ball mill hydrocyclone feed pump	Motor	MGF8809	No	No	4000	1943
210-PP-006-M1	Pebble crushing area sump pump	Motor	256T	No	No	380	7.5
210-PP-067-M1	Common mill feed chute transporter hydraulic unit pump	Motor	324T	No	No	380	18.5
210-SN-001-M1	Sag mill screen drive motor	Load		No	No	380	60
210-SN-001-M2	Sag mill screen drive motor	Motor		No	No	380	60

Nota. Tabla de partes mas criticos del sistema de molienda. * Vn: Voltaje nominal, Kw: Kilovatio, Tag: alias del parte . Adaptado por el autor, en base a la norma SAE JA1012.

Estos equipos con criticidad alta, son las que tienen mayor impacto en la producción, por lo que su pérdida de función principal o secundaria tendrá efectos significativos en la planta.

El RCM II, se tiene que aplicar con mayor rigurosidad a estos equipos ya que las mejoras asociadas en los equipos con criticidad alta incrementarían la confiabilidad en los activos por ende el impacto económico de la planta.

En la tabla 10, se aprecia los partes del sistema de molienda, las cuales son considerados partes con criticidad media.

La falla de estos partes del equipo tiene un impacto medio, por lo que su atención, tiene una segunda prioridad, para la programación de las actividades de mantenimiento.

Tabla 11
Equipos con criticidad media

Tag motor	Descripción	Load / motor	Frame	Stand by	Vn	Kw
210-AT-001	LIME SILO VIBRATING BIN BOTTOM	Load		No	380	2.2
210-CN-002	GRINDING BUILDING OVERHEAD TRAVELING CRANE	Load		No	380	96.5
210-CP-102-M1	SAG CYCLOCONVERTER EXCITATION CONVERTER FAN	Motor	213T	No	380	3.6
210-CP-202-M1	BALL MILL #1 CYCLOCONVERTER EXCITATION CONVERTER FAN	Motor	182T	No	380	1.34
210-CP-302-M1	BALL MILL #2 CYCLOCONVERTER EXCITATION CONVERTER FAN	Motor	182T	No	380	1.34
210-CR-001-M1	PEBBLE CRUSHER	Motor	HGF70T	No	400 0	750
210-CR-002-M1	PEBBLE CRUSHER	Motor	HGF70T	No	400 0	750
210-CT-002	MILL COOLING TOWER	Load		No	380	110
210-CV-001-M1	SAG MILL FEED CONVEYOR	Motor		No	400 0	894. 8
210-CV-004-M1	PEBBLE COLLECTING CONVEYOR	Motor	444/5T	No	380	55.9
210-CV-005-M1	PEBBLE TRANSFER CONVEYOR	Motor	1135824	No	400 0	186. 4
210-CV-006-M1	PEBBLE RECIRCULATING CONVEYOR	Motor	444/5T	No	380	74.6
210-CV-009-M1	BALL MILL BALLS TRANSFER CONVEYOR #1	Motor	256T	No	380	11.2
210-CV-010-M1	BALL MILL BALLS TRANSFER CONVEYOR # 2	Motor	213T	No	380	3.7
210-DO-001	ROLL UP DOOR	Load		No	380	0.37
210-DO-002	ROLL UP DOOR	Load		No	380	0.37
210-EL-001	MANLIFT ELEVATOR	Load		No	380	15
210-FA-002-M1	PEBBLE CRUSHER LUBRICATION SYSTEMS OIL COOLER FAN	Motor	256T	No	380	11
210-FA-003-M1	PEBBLE CRUSHER LUBRICATION SYSTEMS OIL COOLER FAN	Motor	256T	No	380	11

210-FA-004-M1	PEBBLE CRUSHER LUBRICATION SYSTEMS OIL COOLER FAN	Motor	256T	No	380	11
210-FA-005-M1	PEBBLE CRUSHER LUBRICATION SYSTEMS OIL COOLER FAN	Motor	256T	No	380	11
210-FA-010-M1	SAG MILL RING MOTOR COOLING FAN	Motor	254T	No	380	7.5
210-FA-011-M1	SAG MILL RING MOTOR COOLING FAN	Motor	254T	No	380	7.5
210-FA-026-M1	BALL MILL N° 1 RING MOTORS COOLING FAN	Motor	256T	No	380	11
210-FA-027-M1	BALL MILL N° 1 RING MOTORS COOLING FAN	Motor	256T	No	380	11
210-FA-061-M1	SAG MILL RING MOTOR MAKE-UP FAN	Motor	182T	No	380	2.2
210-FA-062-M1	SAG MILL RING MOTOR MAKE-UP FAN	Motor	182T	No	380	2.2
210-FA-065-M1	BALL MILL RING MOTOR MAKE-UP FAN	Motor	182T	No	380	2.2
210-FA-066-M1	BALL MILL RING MOTOR MAKE-UP FAN	Motor	182T	No	380	2.2
210-FA-067-M1	BALL MILL RING MOTOR MAKE-UP FAN	Motor	182T	No	380	2.2
210-FA-073-M1	HYDROCYCLONE FEED PUMPS REDUCER COOLER FAN	Motor	213T	No	380	3
210-FE-001-M1	PEBBLE CRUSHER FEEDER	Motor	286T	No	380	15
210-FE-002-M1	PEBBLE CRUSHER FEEDER	Motor	286T	No	380	15
210-FE-004-M1	ROTARY BALL FEEDER	Motor	182T	No	380	1.5
210-FE-005-M1	ROTARY BALL FEEDER	Motor	182T	No	380	1.5
210-FE-006-M1	ROTARY BALL FEEDER	Motor	182T	No	380	1.5
210-GA-005	BALL MILL BALLS FLOP GATE	Load		No	380	0.75
210-GC-001-M1	SAG MILL LIME SILO TRUCK UNLOADING SYSTEM AIR COMPRESSOR	Motor	HGF5009/10/11 TS	No	400 0	200
210-GC-002-M1	SAG MILL LIME SILO TRUCK UNLOADING SYSTEM AIR COMPRESSOR	Motor	HGF5009/10/11 TS	No	400 0	200
210-HP-018	SAG MILL SCREENS LIFT HYDRAULIC SYSTEM	Load		No	380	5.5
210-HP-118	SAG MILL SCREENS LIFT HYDRAULIC SYSTEM	Load		No	380	5.5
210-HS-012	TRAMP IRON MAGNET TROLLEYS	Load		No	380	3
210-HS-013	TRAMP IRON MAGNET TROLLEYS	Load		No	380	6
210-HS-015	GRINDING BUILDING MONORAIL HOIST	Load		No	380	11.9
210-HS-016	GRINDING BUILDING MONORAIL HOIST	Load		No	380	11.9
210-HS-017	SAG MILL LUBE ROOM MONORAIL HOIST	Load		No	380	4.6
210-HS-018	BALL MILL LUBE ROOM MONORAIL HOIST	Load		No	380	4.6
210-HS-019	BALL MILL LUBE ROOM MONORAIL HOIST	Load		No	380	4.6
210-MA-002	SELF CLEANING ELECTROMAGNET POWER CONSUMPTION	Load		No	380	12.5
210-MA-002-M1	SELF CLEANING ELECTROMAGNET BELT CLEANING MOTOR	Motor	215T	No	380	5.5
210-MA-003	SELF CLEANING ELECTROMAGNET POWER CONSUMPTION	Load		No	380	15
210-MA-003-M1	SELF CLEANING ELECTROMAGNET BELT CLEANING MOTOR	Motor	254T	No	380	7.5
210-MA-004	SELF CLEANING ELECTROMAGNET POWER CONSUMPTION	Load		No	380	15
210-MA-004-M1	SELF CLEANING ELECTROMAGNET BELT CLEANING MOTOR	Motor	254T	No	380	7.5
210-MA-005	BALL MILL TRUNNION MAGNET	Load		No	380	15
210-MA-006	BALL MILL TRUNNION MAGNET	Load		No	380	15

210-ML-001-HT1	SAG MILL SPACE HEATER	Load	No	380	27
210-ML-001-HT2	SAG MILL SPACE HEATER	Load	No	380	27
210-ML-001-M	SAG MILL WRAP-AROUND MOTOR	Motor	No	400 0	2800 0
210-ML-002-HT1	BALL MILL 1 SPACE HEATER	Load	No	380	18
210-ML-002-HT2	BALL MILL 1 SPACE HEATER	Load	No	380	18
210-ML-002-M	BALL MILL #1 WRAP-AROUND MOTOR	Motor	No	400 0	2200 0
210-ML-003-HT1	BALL MILL 2 SPACE HEATER	Load	No	380	18
210-ML-003-HT2	BALL MILL 2 SPACE HEATER	Load	No	380	18
210-ML-003-M	BALL MILL #2 WRAP-AROUND MOTOR	Motor	No	400 0	2200 0

Nota. Tabla de partes del sistema de molienda con criticidad media. * Vn: Voltaje nominal, Kw: Kilovatio, Tag: alias del parte . Adaptado por el autor en base a la norma SAE JA1012.

En la tabla 10 se presentan los equipos del área de molienda que resultaron con criticidad media, que cuando al perder su función parcial o total tendrán un impacto intermedio en los costos asociados a la producción de la planta.

Dentro de la clasificación de los equipos, resulta pertinente analizar, los equipos que resultaron con criticidad baja, como se aprecia en la tabla 12.

Tabla 12

Equipos con criticidad baja

Tag motor	Descripción	Frame	Stand by	Vn	Kw	Total
210-BL-004	MILL OFFICE (MODULAR)		No	380	75	1
210-CN-003	PEBBLE CRUSHER AREA SEMI-GANTRY CRANE HOIST MOTOR		No	380	100	1
210-FA-077-M1	SAG MILL FEED CONVEYOR REDUCER LUBE/COOLING FAN	143T	No	380	0.56	1
210-FA-081-M1	PEBBLE CRUSHER LUBRICATION ROOM VENTILATION FAN	143T	No	380	0.55	1
210-GB-003-M1	PEBBLE CRUSHER COUNTERSHAFT BLOWER	182T	No	380	2.2	1
210-GB-004-M1	PEBBLE CRUSHER COUNTERSHAFT BLOWER	182T	No	380	2.2	1
210-GC-001-M2	LIME SILO TRUCK UNLOADING COMPRESSOR A DEMISTER PUMP MOTOR	143T	No	380	0.37	1
210-GC-002-M2	LIME SILO TRUCK UNLOADING COMPRESSOR A DEMISTER PUMP MOTOR	143T	No	380	0.37	1
210-GC-003-M2	LIME SILO TRUCK UNLOADING COMPRESSOR A DEMISTER PUMP MOTOR	143T	No	380	0.37	1
210-HP-006	BELT FEEDER HYDRAULIC POWER PACK		No	380	1.1	1
210-HP-020	HYDRAULIC VALVE		No	380	7.5	1
210-HP-021	HYDRAULIC VALVE		No	380	7.5	1
210-HS-001	PEBBLE TRANSFER CONVEYOR HEAD PULLEY MONORAIL HOIST		No	380	11.6	1
210-HS-004	PEBBLE TRANSFER CONVEYOR HEAD PULLEY MONORAIL HOIST		No	380	5.8	1
210-HT-001	SAG MILL LUBRICATION SYSTEM IMMERSION HEATER		No	380	10	1
210-HT-002	SAG MILL LUBRICATION SYSTEM IMMERSION HEATER		No	380	10	1

210-HT-003	SAG MILL LUBRICATION SYSTEM IMMERSION HEATER	No	380	10	1	
210-HT-004	SAG MILL LUBRICATION SYSTEM IMMERSION HEATER	No	380	10	1	
210-HT-010	PEBBLE CRUSHER LUBRICATION SYSTEM IMMERSION HEATER	No	380	6	1	
210-HT-011	PEBBLE CRUSHER LUBRICATION SYSTEM IMMERSION HEATER	No	380	6	1	
210-HT-014	PEBBLE CRUSHER LUBRICATION SYSTEM IMMERSION HEATER	No	380	6	1	
210-HT-015	PEBBLE CRUSHER LUBRICATION SYSTEM IMMERSION HEATER	No	380	6	1	
210-HT-020	BALL MILL LUBRICATION SYSTEM IMMERSION HEATER	No	380	10	1	
210-HT-021	BALL MILL LUBRICATION SYSTEM IMMERSION HEATER	No	380	10	1	
210-HT-022	BALL MILL LUBRICATION SYSTEM IMMERSION HEATER	No	380	10	1	
210-HT-023	BALL MILL LUBRICATION SYSTEM IMMERSION HEATER	No	380	10	1	
210-HT-024	BALL MILL LUBRICATION SYSTEM IMMERSION HEATER	No	380	10	1	
210-HT-025	BALL MILL LUBRICATION SYSTEM IMMERSION HEATER	No	380	10	1	
210-HT-026	BALL MILL LUBRICATION SYSTEM IMMERSION HEATER	No	380	10	1	
210-HT-027	BALL MILL LUBRICATION SYSTEM IMMERSION HEATER	No	380	10	1	
210-HT-030	SAG MILL BRAKE SYSTEM HYDRAULIC UNIT IMMERSION HEATER	No	380	0.5	1	
210-HT-033	BALL MILL BRAKE SYSTEM HYDRAULIC UNIT IMMERSION HEATER	No	380	0.5	1	
210-HT-036	BALL MILL BRAKE SYSTEM HYDRAULIC UNIT IMMERSION HEATER	No	380	0.5	1	
210-HT-037	SAG MILL GREASE DRUM HEATER	No	380	0.7	1	
210-HT-038	BALL MILL GREASE DRUM HEATER	No	380	0.7	1	
210-HT-039	BALL MILL GREASE DRUM HEATER	No	380	0.7	1	
210-HT-046	SAG MILL LINER HANDLER OIL HEATER	No	380	3	1	
210-HT-047	SAG MILL LINER HANDLER OIL HEATER	No	380	3	1	
210-HT-048	BALL MILL LINER HANDLER OIL HEATER	No	380	3	1	
210-HT-049	SAG MILL FEED CONVEYOR REDUCER LUBE/COOLING HEATER	No	380	1	1	
210-HT-050	SAG MILL FEED CONVEYOR REDUCER LUBE/COOLING HEATER	No	380	1	1	
210-PP-001-VF*	AUXILIARY SYSTEMS FOR MEDIUM VOLTAGE VFD	No	380	10	1	
210-PP-002-VF*	AUXILIARY SYSTEMS FOR MEDIUM VOLTAGE VFD	No	380	10	1	
210-PP-003-VF*	AUXILIARY SYSTEMS FOR MEDIUM VOLTAGE VFD	No	380	10	1	
210-PP-004-VF*	AUXILIARY SYSTEMS FOR MEDIUM VOLTAGE VFD	No	380	10	1	
210-PP-021-M1	SAG MILL LUBRICATION SYSTEM LOW PRESSURE PUMP	365T	Si	380	37	1
210-PP-025-M1	SAG MILL LUBRICATION SYSTEM HIGH PRESSURE PUMP	586T	Si	380	150	1
210-PP-042-M1	PEBBLE CRUSHER LUBRICATION SYSTEMS PUMP	364T	Si	380	30	1
210-PP-043-M1	PEBBLE CRUSHER LUBRICATION SYSTEMS PUMP	364T	Si	380	30	1
210-PP-047-M1	BALL MILL LUBRICATION SYSTEM LOW PRESSURE PUMP	365T	Si	380	37	1
210-PP-051-M1	BALL MILL LUBRICATION SYSTEM HIGH PRESSURE PUMP	586T	Si	380	150	1
210-PP-053-M1	BALL MILL LUBRICATION SYSTEM LOW PRESSURE PUMP	365T	Si	380	37	1
210-PP-057-M1	BALL MILL LUBRICATION SYSTEM HIGH PRESSURE PUMP	586T	Si	380	150	1
210-PP-097-M1	MILL COOLING TOWER WATER CIRCULATING PUMPS	405T	Si	380	45	1
210-PP-100-M1	APRON FEEDER COOLING WATER PUMP	286T	Si	380	15	1
210-PP-110-M1	MILL COOLING TOWER WATER TREATMENT CHEMICAL DRUM PUMPS	No	380	1.1	1	
210-PP-111-M1	MILL COOLING TOWER WATER TREATMENT CHEMICAL DRUM PUMPS	No	380	1.1	1	
210-PP-112-M1	MILL COOLING TOWER WATER TREATMENT CHEMICAL DRUM PUMPS	No	380	1.1	1	
210-SC-001-M1	LIME SCREW FEEDER 'A' MOTOR	254T	No	380	7.5	1
210-SC-002-M1	LIME SCREW FEEDER 'B' MOTOR	254T	No	380	7.5	1

210-SL-001	SAG MILL FEED CONVEYOR BELT SCALE	No	380	1.1	1
210-SN-101-M2	SAG MILL SCREEN DRIVE MOTOR	Si	380	60	1
210-SN-101-M3	SAG MILL SCREEN CARRIAGE DRIVE MOTOR	SI	380	11	1
210-SN-101-M4	SAG MILL SCREEN HYDRAULIC PUMP	SI	380	5.6	1
Total					64

Nota. Tabla de partes con criticidad baja del sistema de molienda. * Vn: Voltaje nominal, Kw: Kilovatio, Tag: alias del parte. Adaptado por el autor, en sabe a metodologia de implementacion de RCM II en base a la norma SAE JA1012.

La pérdida de función primaria o secundaria, no tiene impacto en la operación de la minera, sin embargo, no se debe dejar desapercibido la falla de estos equipos.

Para ver la data completa de los activos analizados su criticidad, ver la hoja de Excel en el anexo.

2.6. Descripción del Activo

Del análisis realizado al proceso de molienda (grinding), el equipo mas critico recae en los equipos con tag 210-SN-001-M1 SAG MILL SCREEN DRIVE MOTOR y 210-SN-001-M2 SAG MILL SCREEN DRIVE MOTOR como se observa en la tabla 9, de acuerdo a los resultados obtenidos del Análisis de Criticidad , el RCM+ será implementado con mayor detenimiento a estos equipos críticos, pero por considerarse área critica a la atapa de molienda por parte de la minera, pues se tiene planeado a proponer a todo los equipos con clasificación de criticidad media y alta.

Para efectos de la presente investigación solo se enfocará en los equipos críticos desde la evaluación de efectos y modos de falla y la propuesta de mantenimiento de los equipos, para que los datos analizados no sean extensos, estos equipos pertenecen al proceso de molienda, que en algunos casos están enclavados a los equipos críticos de esta área.

Según los criterios de la empresa ha considerado critica el área de molienda, por lo que en el presente estudio no discute dicho caso, pero si justificar desde la concepción operativa del proceso de molienda ya es crítico, aunque técnicamente no requiere demostrar la criticidad de esta área, al fallar el proceso de molienda no hay mineral para otras etapas de proceso y afecta considerablemente la producción.

Esta etapa de proceso está operando en dos turnos 24 horas al día 365 días del año y las cuatro estaciones diferenciadas en la sierra del Perú. cada turno(guardia A, B y C), tiene sus propios objetivos operacionales, las actividades se realizan bajo estándares de calidad, ambiental

y seguridad, dichos estándares son supervisados por los supervisores inmediatos de cada departamento y turno, la producción se hace por proceso continuo con redundancia en alguna etapas; el mantenimiento que se aplica es de tres tipos, preventivo, monitoreo de condición y correctivo, sin embargo las actividades de mantenimiento lo realizan bajo la experiencia adquirida del personal de mantenimiento en su trayectoria personal y las recomendaciones de fabricantes.

Los operadores y personal de mantenimiento coordinan solo en actividades específicas o tareas por realizar, vale decir cuando una falla ya es evidente y las actividades proactivas son escasos o de existir se realiza sin tener un plan de mantenimiento a mediano corto y largo plazo.

El área de predictivo, realiza las rutinas de inspección establecidas por el, su superior o pedidos de algún área específica, los reportes producto de dicha inspección que se emite tiene poca información y solo se registran o documentan las que según su criterio personal es considerado de importancia sin que la toda sea mostrado en gráficos de tendencias bajo un plan de gestión establecida.

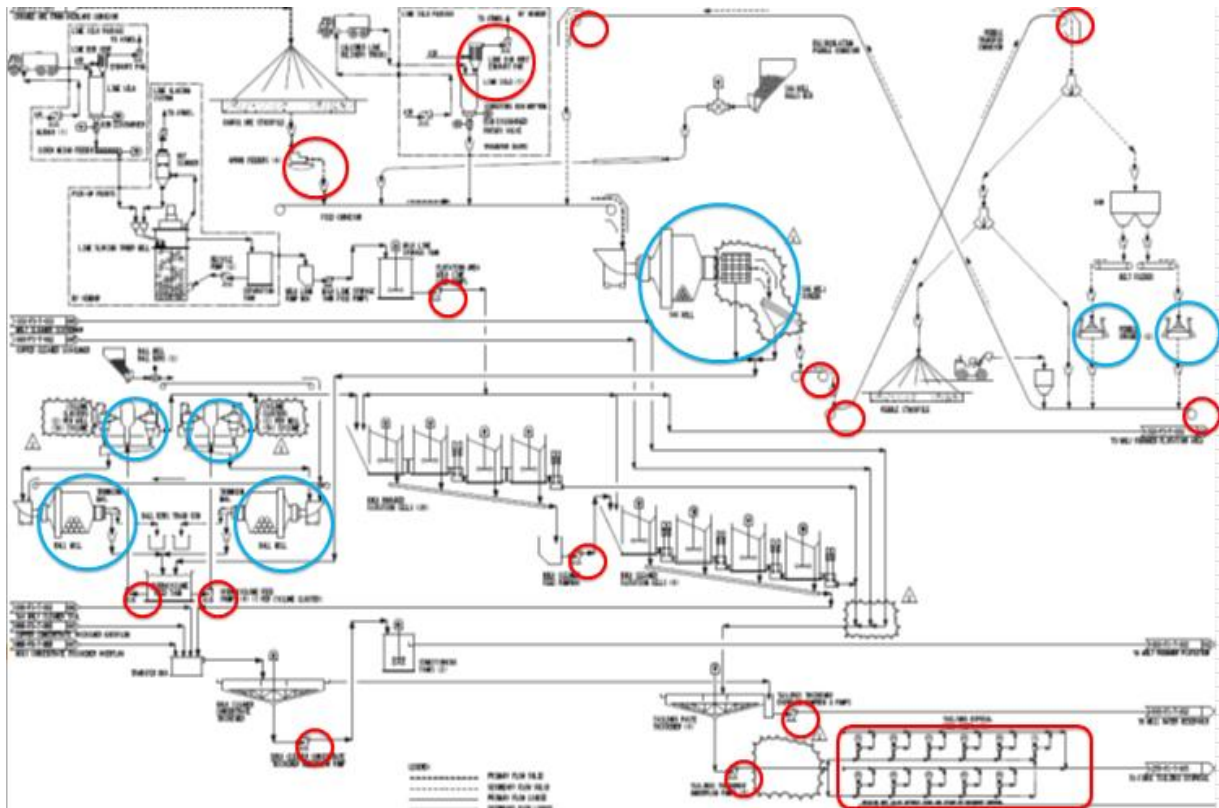
Las rutas de mantenimiento preventivo, son programados por experiencia del personal de mantenimiento o las recomendaciones del fabricante, en el contexto operacional no necesariamente evidencia las fallas establecidas por el fabricante ya que existen modos de falla diferentes y desgastes aparentemente desconocidos típicamente.

Los correctivos se ejecutan cuando el equipo muestra fallas evidentes, la mayoría ocurre fallas desconocidas, por lo que el personal de mantenimiento se demora en encontrar la falla incrementando la indisponibilidad del activo.

En la gráfica siguiente se muestra la predisposición de los equipos en el área de molienda (flow sheet) donde se desea aplicar la estrategia RCM.

Figura 6

Ubicación de proceso de molienda en la minera



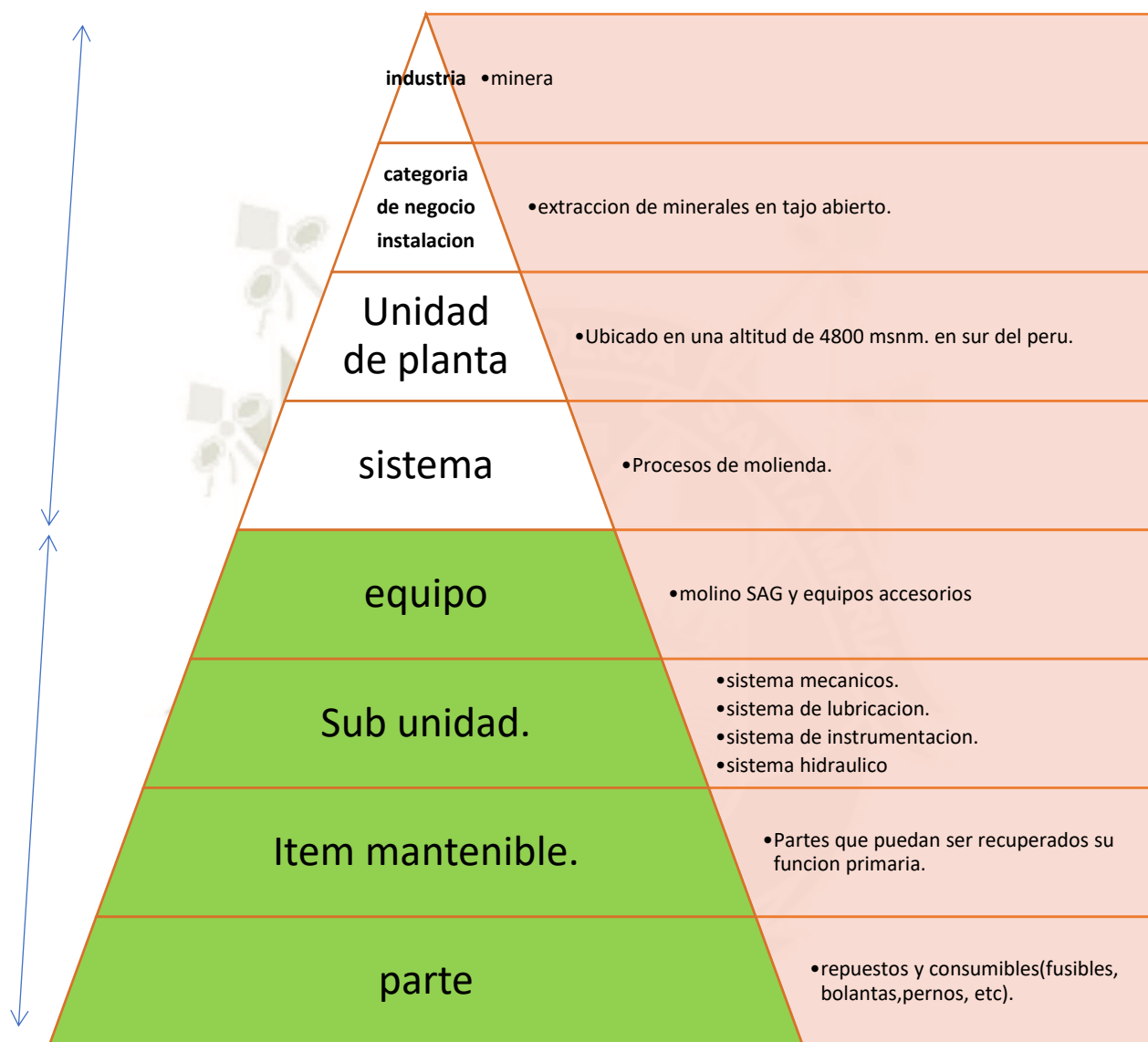
Nota. En el grafico se aprecia plano de área de molienda con la indicacion de puntos criticos. Tomado de plano (flow sheet) de la minera, adaptado en base al requerimiento de implementacion de activos mas representativos de la minera.

2.7. Taxonomía del Activo

La taxonomía de los activos de la minera será establecida bajo recomendaciones de la norma internacional ISO 14224-2004, como se sugiere en la figura 5, para el análisis de RCM se considera solo hasta el ítem mantenible de los equipos.

Figura 7

Taxonomía de los activos de la minera



Nota. En el grafico la gerarquia de los equipos, desde la industria hasta el parte del activo.

Fuente: Tomado en base a la norma ISO 14224 (2004).

2.8. Descripción del Sistema

Aquí se describe a los equipos críticos o en algunos casos a los ítem mantenibles de su funciones primarias y secundarias del equipo y los sistemas que lo conforman, la finalidad es identificar al sistema y los ítem mantenible de forma simple y comprensible del area de molienda.

2.8.1. *Función Primaria*

La función primaria del sistema de molienda es, reducir la granulometría del mineral proveniente de chancado primario, aptos para ser procesado en el proceso de flotación para recuperar el mineral sin interrupción de proceso productivo.

2.8.2. *Funciones Secundarias*

a. Función secundaria ecológica. Realizar la molienda de rocas con emisiones mínimas de polución al medioambiente y afectación de hábitat natural de fauna silvestre.

b. Función secundaria seguridad. Realizar la molienda de rocas sin provocar lesiones a las personas, ni daños al equipo.

c. Función secundaria control. El equipo obedece a los algoritmos programados y mandos generado, tiene el control de frenado manual y automático.

d. Función secundaria apariencia. Los equipos de área de molienda, están instalados y pintados bajo estándares internacionales sin que ello afecte la ergonomía de los trabajadores, todos pintados de color amillo y negro.

e. Función Secundaria Protección. Los equipos de molienda disponen de guardas de seguridad, control de accionamiento de emergencia en puntos estratégicos visibles y señalizados para accionarlo de requerirse, remotamente y localmente.

f. Función Secundaria Eficiencia. Los molinos y equipos del área de molienda, mantienen estable el consumo de energía eléctrica, lubricantes, en función al mineral procesado.

En la tabla 13, se describe las funciones de los equipos que integran el proceso de molienda con su respectivo identificador de TAG del equipo.

2.8.3. *Fallas Funcionales (Totales y parciales)*

Descritas las funciones Primaras y Secundarias del proceso de molienda se establecen fallas totales y parciales del molino SAG y de cada uno de los ítems mantenibles, el siguiente tabla muestra los mas representativos desarrollado en las hojas RCM II para el molino SAG y la Investigación, como se tiene.

Tabla 13
Funciones primarias y secundarias de los equipos que forman el proceso de molienda

AREA NAME	TAG MOTOR	DESCRIPCION	Consecuencia de Falla a CALIDAD	Consecuencia de Falla a la SEGURIDAD	Consecuencia de Falla al MEDIO AMBIENTE	Consecuencia de Falla a la PRODUCCION	Consecuencia de Falla a los COSTOS
Grinding Circuit	210-CV- 004-M1	PEBBLE COLLECTING CONVEYOR	Existen períodos fuera de especificación 5% controlados.	Lesiones medianas con pérdidas de días entre 7 a 30 días.	Contaminación confinada. Mediano costo remediación (50% margen)	Paro de plata o área entre 1 a 4 horas	El costo de reparación esta entre 10 % del costo del equipo. Lucro cesante 12 y 4 horas
Grinding Circuit	210-FA- 002-M1	PEBBLE CRUSHER LUBRICATION SYSTEMS OIL COOLER FAN	Existen períodos fuera de especificación 5% controlados.	Lesiones medianas con pérdidas de días entre 7 a 30 días.	Contaminación confinada. Mediano costo remediación (50% margen)	Paro de plata o área entre 1 a 4 horas	El costo de reparación esta entre 10 % del costo del equipo. Lucro cesante 12 y 4 horas
Grinding Circuit	210-PP- 001-M1	BALL MILL HYDROCYCLONE FEED PUMP	Fuera de especificación aleatoria. Planta inestable	Accidente grave, con pérdidas de días. Pérdida leve de capacidad. Más de 45 días.	Áreas contaminadas. Emisiones a la atmósfera sobrepasando límite en forma alternada. Alto costo remediación (un margen)	Paro de plata o área entre 24 y 8 horas	El costo de reparación esta entre 25% y 10 % del costo del equipo. Lucro cesante 24 y 8 horas
Grinding Circuit	210-PP- 049-M1	BALL MILL LUBRICATION SYSTEM HIGH PRESSURE PUMP	Existen períodos fuera de especificación 5% controlados.	Lesiones medianas con pérdidas de días entre 7 a 30 días.	Contaminación confinada. Mediano costo remediación (50% margen)	Paro de plata o área entre 1 a 4 horas	El costo de reparación esta entre 10 % del costo del equipo. Lucro cesante 12 y 4 horas
Grinding Circuit	210-PP- 058-M1	BALL MILL TEMPORARY LUBRICATION PUMP	Existen períodos fuera de especificación 5% controlados.	Lesiones medianas con pérdidas de días entre 7 a 30 días.	Contaminación confinada. Mediano costo remediación (50% margen)	Paro de plata o área entre 1 a 4 horas	El costo de reparación esta entre 10 % del costo del equipo. Lucro cesante 12 y 4 horas
Grinding Circuit	210-SN- 001-M2	SAG MILL SCREEN DRIVE MOTOR	Fuera de especificación aleatoria. Planta inestable	Accidente grave, con pérdidas de días. Pérdida leve de capacidad. Más de 45 días.	Áreas contaminadas. Emisiones a la atmósfera sobrepasando límite en forma alternada. Alto costo remediación (un margen)	Paro de plata o área entre 24 y 8 horas	El costo de reparación esta entre 25% y 10 % del costo del equipo. Lucro cesante 24 y 8 horas

Nota. En la tabla se aprecia las funciones primarias y las consecuencias a la calidad, seguridad, mediomambiente, producción y costos por la pérdida de sus funciones. Adaptado por el autor en base a la norma SAE JA1012.

2.8.4. Modos de Fallas

Un modo de falla, es la pérdida total o parcial de la función del activo, en la tabla 13, se

muestra las fallas descritos por el fabricante y las analizadas según el contexto operacional recomendado por RCM II para un activo.

Tabla 14

Fallas del sub sistema de anillo del estator del molino

Ítem	Función	Falla Funcional	Modo de Falla (Causa de la Falla)	Efecto de Falla (Qué sucede cuando se produce la falla)
1	<i>Ser capaz de girar con una capacidad de 6300 tph con 70% de solidos a una velocidad promedio de 9.31 rpm</i>	<i>Motor no gira.</i>	Estator quemado por pérdida de aislamiento	El operador evidencia la detención del motor. Se presentan reiteradas fallas a tierra, antes de la pérdida del aislamiento. Tiempo de detención: 3 días
2			Perdida de aislamiento de estator por error humano	El operador evidencia la detención del motor. Falla por una mala ejecución de mantenimiento. Tiempo de detención: 3 días
3			Motor se detiene por falsa señal del relé a tierra del estator	El operador evidencia la detención del motor. Falsa señal del relé por cable suelto. Tiempo de detención: 2 horas
4			Motor se detiene por falla del relé a tierra del estator.	El operador evidencia la detención del motor. Relé queda inoperativo. Tiempo de detención: 4 horas
5			Perdida de aislamiento del estator por presencia de humedad originado por error humano	El operador evidencia la detención del motor. Actúa el relé, deteniendo el motor. Tiempo de detención: 6 horas
6			Cuña de soporte del bobinado del estator suelta por vibración	El operador evidencia la detención del motor. La cuña suelta provoca que se desplace el bobinado del estator y falla. No es evidente hasta que la bobina se desplaza. Tiempo de detención: 30 días
7			Cuña de soporte del bobinado del estator suelta por uso normal	El operador evidencia la detención del motor. La cuña suelta provoca que se desplace el bobinado del estator y falla. No es evidente hasta que la bobina se desplaza. Tiempo de detención: 30 días
8			Terminación de cable de alimentación al estator soplado por mal montaje (Termo contraíble)	El operador evidencia la detención del motor. La fase se va a tierra. Tiempo de detención: 4 horas

Nota. En la tabla se aprecia modos y efectos de falla según el manual y el registro del cuaderno de reportes. Adaptado por el autor según las estrategias de implementación de RCM II en base a la norma SAE JA1012.

2.9. Selección de Tareas de Mantenimiento Preventivo MP o Programado MPd

La propuesta de un mantenimiento preventivo o programado, obedece a la necesidad de intervención del equipo, cuando esta en funcionamiento o detenido según las condiciones de seguridad que requiera el activo previamente establecidas por la compañía como política de gestión de seguridad.

Tabla 15

Selección de tareas y estrategias de mantenimiento

Ítem	Función	Falla Funcional	Modo de Falla	Efecto de Falla	Consecuencia de la Falla	Estrategia de Mantto	Tarea Propuesta
1	Ser capaz de girar con una capacidad de 6300 tph con 70% de solidos a una velocidad promedio de 9.31 rpm	Motor no gira	Motor se detiene por alta temperatura en el devanado del estator debido a falla del motor de 1 o más ventiladores.	El operador evidencia la detención del molino. Se activa alarma de muy alta temperatura en el estator (mayor a 120 oC) en el VMS. Tiempo de detención: 4 horas.	Consecuencias Operacionales	Tarea a Condición	Verificar que el valor indicado por el sensor de temperatura sea real. De ser positivo se procede a revisar el status de relés de protección del arrancador del ventilador en falla y según lo que indique se restablece o se programa su intervención. Se debe inspeccionar y monitorear parámetros de vibración, lubricación, temperatura y análisis de corriente/voltaje/potencia en los ventiladores del estator (monitoreo online).
2			Motor se detiene por alta temperatura en el devanado del estator debido a falla de 1 o más ventiladores.	El operador evidencia la detención del molino. Se activa alarma de muy alta temperatura en el estator (mayor a 120 oC) en el VMS. Tiempo de detención: 4 horas.	Consecuencias Operacionales	Tarea a Condición	Verificar que el valor indicado por el sensor de temperatura sea real. De ser positivo se procede a revisar el status de relés de protección del arrancador del ventilador en falla y según lo que indique se restablece o se programa su intervención. Se debe inspeccionar y monitorear parámetros de vibración, alineamiento y balanceo en los ventiladores del estator.
3			Motor se detiene por alta temperatura en el devanado del estator debido a falla del motor de la bomba del cooling tower.	El operador evidencia la detención del molino. Se activa alarma de muy alta temperatura en el estator (mayor a 120 oC) en el VMS. Tiempo de detención: 1 horas.	Consecuencias Operacionales	Tarea a Condición	Verificar que el valor indicado por el sensor de temperatura sea real. De ser positivo se procede a arrancar la bomba en stand by del cooling tower mientras se revisa el status del relé de protección del arrancador de la bomba que falló según lo que indique se restablece o se programa su intervención. Se debe inspeccionar y monitorear parámetros de vibración en rodamientos, lubricación, temperatura y análisis de corriente/voltaje/potencia en las bombas del cooling tower (monitoreo online).

Nota. En la tabla se aprecia las estrategias de mantenimiento propuestas, según al modo y efecto de falla. Adaptado por el autor en base a la norma SAE JA1012 (2002).

2.10. Selección de Frecuencias

Las frecuencias establecidas con los requerimientos de la intervención, servirán de gran ayuda para la programación de actividades y asignación de recursos, de modo tal que el plan de mantenimiento sea la mas efectiva posible.

Sin el RCM, las horas y los recursos son establecidas aleatoriamente, pues el estudio presentado mejora significativamente las horas y las frecuencias de intervención a los activos.

Tabla 16

Selección de frecuencias de mantenimiento de acuerdo a criticidad del equipo

Ítem	Función	Falla Funcional	Modo de Falla	Efecto de Falla	Consecuencia de la Falla	Estrategia de Mantenimiento	Tarea Propuesta	Condiciones Resultantes.					
								Persona Responsab le de la Actividad	Frecuencia	# Persona s	Horas por Person a	H - Person a	Shutdown
1	Ser capaz de girar con una capacidad de 6300 tph con 70% de solidos a una velocidad promedio de 9.31 rpm	Motor no gira	Motor se detiene por alta temperatura en el devanado del estator debido a falla del motor de 1 o más ventiladores.	El operador evidencia la detención del molino. Se activa alarma de muy alta temperatura en el estator (mayor a 120 oC) en el VMS. Tiempo de detención: 4 horas.	Consecuencias Operacionales	Tarea a Condición	Verificar que el valor indicado por el sensor de temperatura sea real. De ser positivo se procede a revisar el status de relés de protección del arrancador del ventilador en falla y según lo que indique se restablece o se programa su intervención. Se debe inspeccionar y monitorear parámetros de vibración, lubricación, temperatura y análisis de corriente/voltaje/potencia en los ventiladores del estator (monitoreo online).	Eléctrico	4	2	1	2	NO

Nota. En la tabla se las frecuencia de mantnimiento, según lo modos y efectos de fallo y las tareas recomendadas, para obtener un trabajo planificado. Adaptado por el autor en base a la norma SAE JA1012.

2.11. Plan de Implementación RCM

En el plan de mantenimiento implementado, pues las actividades a realizar ya sean programadas o para una intervención mayor ya están establecidas, las mismas que se ajustaran en función de las nuevas condiciones a presentarse.

Debe precisar que esta comprendida los equipos críticos sujeto al estudio por lo que para todo la planta se deberá de establecer agregando las demás áreas de la planta.

Ver anexos, ya hojas adjuntas de Excel muy extensos.

2.12. Diseño de Herramientas de Monitoreo y Control de las Mejoras

Una fase importante seria la implementación para verificar y ajustar la madurez del plan de gestión implementado.

Este plan tiene por finalidad diagnosticar el proceso de las actividades de mantenimiento implementado a la molienda de la minera que consta de pasos.

Debe aclararse no es una auditoria, sino algunos reglamentos internos propuestos al área de mantenimiento que vinculan con los objetivos corporativos de la empresa para verificar el impacto de plan implementado.

Tabla 17

Ponderación para evaluar el proceso de mantenimiento

Puntaje	Descripción 1	Descripción 2	Descripción 3
1	Nunca	No se cumple 0%	Regresivo
2	Casi Nunca	Se cumple Menos de 30%	Reactivo
3	Algunas Veces	Entre 30% y 70%	Planificado
4	Casi Siempre	Se cumple más de 70%	Proactivo
5	Siempre	Se cumple 100%	Clase Mundial

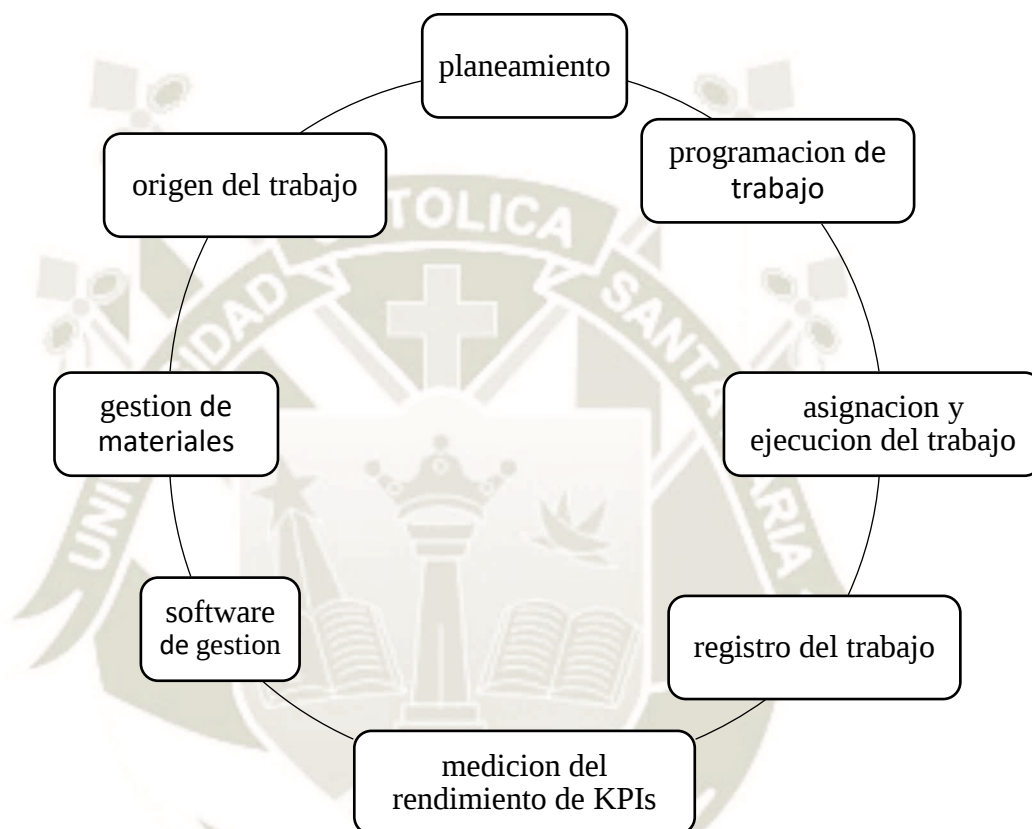
Nota. En la tabla se aprecia los ponderacion por el tipo de mantenimiento en funcion de la planificacion. Adaptado por el autor en base a la norma SAE JA1012.

Esta propuesta básicamente realiza un seguimiento minucioso de todo el clico de la actividad de mantenimiento como parte de la gestión implementada, las tablas 16 y 17 son las preguntas tipo cuestionario para ponderar con los valores preestablecidos con los valores de la

tabla 15, pues el grado de cumplimiento será graficada en un gráfico tipo radar para representar y observar cada trimestre para seguir mejorando.

Figura 8

Ciclo de la actividad de mantenimiento



Nota. En el grafico se aprecia los procesos internos dentro de la organización de mantenimiento gestionados desde el origen hasta culminarlos, enfocando las actividades que necesariamente ocurre por más planificado sea el trabajo.

El seguimiento del cumplimiento del ciclo de mantenimiento, pues radica en ponderar cuantitativamente cada etapa del ciclo de mantenimiento para mostrar la tendencia y en función a ello tomar decisiones futuras, las valoraciones se muestran en las tablas 18.

Tabla 18
Preguntas de monitoreo del ciclo de trabajo, desde origen hasta programación de trabajos

Elemento.	Sub Elemento	Preg	Tema	Puntuación
1	Origen del Trabajo	1	Solicitud de Trabajo Correctivo	
2	Planeamiento	2	Inicio del Trabajo Correctivo	
3	Programación	3	Calidad y Extensión del Planeamiento	
4	Programación	4	Base de Datos de Trabajos Estándares	
5	Programación	5	Reducción de Demoras y Re-Trabajos	
6	Programación	6	Programación de Trabajos	
7	Programación	7	Carga de Trabajo	

Nota. En la tabla se aprecia los procesos internos dentro de la organización de mantenimiento gestionados desde el origen hasta culminarlos, enfocando las actividades que necesariamente ocurre por más planificado sea el trabajo. Adaptado por el autor en base a la norma SAE JA1012.

Tabla 19
Preguntas de monitoreo del ciclo de trabajo desde asignacion y ejecucion a medición de KPIs

Element o.	Sub Elemento	Pre g	Tema	Puntuació n
4	Asignación y Ejecución del Trabajo			
	8		Coordinación para Ejecución del Trabajo	
		8A	Preparación del equipo	
		8B	Mantenimiento Posterior del Área	
			Verificación de la Operación después de un	
		8C	Trabajo Correctivo	
	9		Asignación del Trabajo	
			Asignación de Trabajos y Procedimientos de	
		9A	Ejecución	
			Información brindada al Personal que ejecuta	
		9B	el Trabajo	
			Acceso a Listas de Trabajo para realizar un	
		9C	Mantenimiento Oportuno.	
		9D	Cambios de Guardia	
		9E	Manejo de Llamadas Imprevistas	
5	Registro del Trabajo			
	10		Cierre de la Orden de Trabajo	
			Procedimientos de Cierre de Órdenes de	
		10A	Trabajo	
		10B	Término de Trabajos	
			Enlace de Seguimiento de Trabajo Correctivo a	
		10C	Trabajo Preventivo	
		10D	Captura de Información de Fallas	
		10E	Códigos ingresados al Término del Trabajo	
6	Medición del Rendimiento KPIs			
	11		Indicadores de Gestión Adecuados	
			Alineamiento de los KPIs de Resultado con el	
		11A	Negocio	
		11B	KPIs de Proceso Apropriados	
		11C	Diseño de KPIs para alcanzar un Resultado	
		11D	Responsabilidad por las Mediciones	
	12		Uso de Indicadores de Gestión para Mejora	
		12A	Uso de KPIs para Mejora	
		12B	Análisis de OTs	

Nota. En la tabla se aprecia los preguntas de monitoreo del ciclo de trabajo, resaltando los 3 elementos como: asignacion y ejecucion de trabajo, registro de trabajo y KPIs. Adaptado por el autor en base a las politicas corporativa.

En la tabla 17 y 18, se plantea interrogantes, para monitorear y mejorar las actividades de mantenimiento, ya al medir solamente se puede saber que falta mejorar.

Tabla 20
Preguntas de monitoreo del ciclo de trabajo desde software a gestion de trabajo

Elemento.	Sub Elemento	Preg	Tema	Puntuación
7	Sistema ERP Ellipse			
	13		Capacidad del Sistema	
		13A	Especificación del Ellipse	
		13B	Hardware para el Ellipse	
		13C	Sistema amigable para el Usuario	
	14		Integración del Sistema	
		14A	Planeamiento del Sistema de Información	
		14B	Integración del Sistema	
	15		Operación y Mantenimiento del Sistema	
		15A	Seguridad de la Información en Servidores Centrales	
			Aprobación de Niveles de Acceso para Ingreso y	
		15B	Revisión de Información	
		15C	Reportes y Extracción de Información	
		15D	Coordinador del Sistema	
		15E	Monitoreo del Rendimiento del Sistema	
		15F	Mejoras del Ellipse	
		15G	Registrar Equipos MSQ600	
8	Gestión de Materiales			
	16		Suministro y Cooperación de Mantenimiento	
		16A	Procedimiento de Manejo de Inventario	
		16B	Aviso previo de las Necesidades de Mantenimiento	
		16C	Optimización del Stock de Inventario.	
		16D	Apresuramiento de Materiales y Partes	
		16E	Determinación del Estado de Partes Faltantes	
		16F	Entrega de Partes y Materiales.	
		16G	Manejo de Partes y Materiales en desuso.	
		16H	Monitoreo del Rendimiento del Suministro	
		16I	Mejoras en el Rendimiento del Suministro	
	17		Materiales de Calidad a Tiempo	
		17A	Requisición en Línea	
		17B	Pruebas de Calidad de Repuestos	
		17C	Manejo de Condición de Partes	
		17D	Agrupamiento (kit) de Partes	
TOTAL				xx

Nota. En la tabla se aprecia los procesos internos orientados a gestion de trabajo y gestion de materiales. Adaptado por el autor en base a las políticas corporativas de la empresa.

En la tabla 20, se aprecia interrogantes para mejorar el soporte de software, si no se registra y gestiona adecuadamente el sistema, no se podrá obtener los reportes, sin que influya en la mejora.

CAPITULO III

3. Análisis e Interpretación de Resultados

3.1. Discusión de Sistema Propuesto y Evaluación de Resultados

El presente capítulo se discute la implementación y los efectos estimados.

En la parte primera se compara las rutinas hechas antes de la implementación de la gestión de mantenimiento, donde se analiza el impacto del MTTR y MTBF en la disponibilidad del activo crítico, respecto a las filosofías de cambio del personal involucrado.

Luego, en el apartado 3.7 se analiza los costos globales y su impacto económico en operacional en el contexto actual del activo, evidenciando no solo el RCM II en el análisis de disponibilidad y confiabilidad, sino el el impacto de estos en los costos globales y operacionales de la minera.

3.2. Impacto de Mantenimiento en Negocio

El área de mantenimiento en una empresa, genera costos operativos, logísticos de mantenimiento, almacenamiento de materiales herramientas, personal, horas hombre de ineficiencia, etc. Mas allá que algunas empresas lo consideran como gasto, pues algunas empresas con adecuados sistemas de gestión de mantenimiento consideran como un área operativa vinculante a la inversión en el activo.

Para ilustrar el impacto de mantenimiento en el negocio se presenta un caso específico donde se analiza este hecho con los datos existentes en la planta respecto a los datos planteados por el RCM II propuestos en la tesis.

Se tiene los siguientes datos obtenidos del reporte semestral de un periodo operativo de

un equipo, pero en la siguiente tabla es inferido por los ajustes obtenidos una vez implementado el RCM del molino.

3.3. Caso 1, Evaluación Antes de la Intervención del RCM II en el Sistema de Molienda

De un periodo de 6 meses de estudio, se han registrado eventos mayores con impactos operativos y productivos, en donde se consigna como costo de improductividad del molino 100000 USD por hora, se tiene 2 paradas programadas mensual y se prevee que el área de molienda deja de producir en promedio conforme se cita en tabla 19, también se tiene las horas operativas en la misma tabla. Se tiene que el equipo opera las 24 horas y los 365 días del año.

Tabla 21

Horas operativas del molino reportado en un periodo definido para el estudio de RCM II

	Tiempo operativo (TO)	Tiempo fuera de servicio (TFS)
	7	2
	6	2
	5	3
	7	3
	8	1
	7	2
Total	40	13

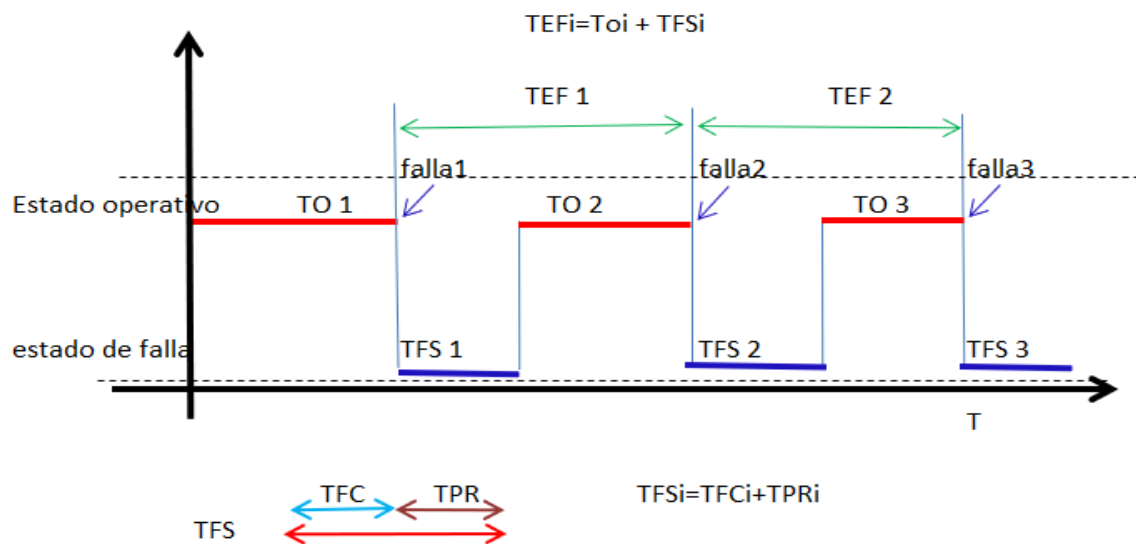
Nota. En la tabla se aprecia los tiempos operativos y los no operativos, para calcular los MTTR y MTBF.

Para calcular la solución graficaremos el contexto de funcionamiento y la no funcionamiento del sistema bajo las condiciones establecidas.

En la figura 9, se evidencia el ciclo que cumple para el activo operando y fuera de servicio, que de allí se calcula du MTBF, MTTR y su disponibilidad.

Figura 9

Horas operativas del molino reportado en un periodo definido para el estudio de RCM II



Nota. En el grafico se aprecia los criterios para determinar tiempo entre fallas. Tomado de Analisis y calculos de MTTR y MTBF, adaptado por el autor autor en base a la norma SAE JA1012. *TFS: tiempo fuera de servicio, TO: tiempo operativo, TFC: tiempo fuera de control, TEF: tiempo entre fallas.

El la figura 9 ilustra los tiempos operativos y los tiempos fuera de servicio, así como los tiempos de entre fallos en un periodo determinado.

Con la información de la tabla 20 se procede a calcular el tiempo promedio de falla MTBF MTTR y el del molino teniendo los resultados siguientes.

Donde

$$MTBF = \frac{\sum TO}{\# \text{ eventos}}$$

De la tabla 21, se tiene $To=40$; # de eventos= 6.

Entonces,

$$MTBF = \frac{\sum TO}{\# \text{ eventos}} = \frac{40}{6} = 6.67$$

$$MTTR = \frac{\sum TFS}{\# \text{ eventos}}$$

De la tabla 21, se tiene $\sum TFS=13$; # de eventos= 6.

$$MTTR = \frac{\sum TFS}{\# \text{ eventos}} = \frac{13}{6} = 2.2$$

Para calculo de disponibilidad se tiene; MTBF= 6.67, MTTR=2.2

$$DISP = \frac{MTBF}{MTTR+MTBF} \times 100$$

$$DISP = \frac{MTBF}{MTTR + MTBF} * 100 = 2.2 * \frac{100}{6.67} = 75.47\%$$

Con los datos registrados; se tiene una disponibilidad de la planta de 75.47 % y una indisponibilidad de 24.53%.

La empresa minera ha establecido que el costo de tener el molino SAG en estado inoperativo es de 100000.00 USD por hora.

3.4. Inferencia de Mejora con el Proceso de Implementación del RCM II

Con los mismos datos, se vuelve recalcular, asumiendo una mejora de media hora por cada intervención en un periodo similar, por concepto mejoras en logística de mantenimiento, entrenamiento de personal, comprensión de operacional, etc.

Se tendría lo siguiente.

Tabla 22

Horas operativas del molino reportado en un periodo definido para el estudio de RCM II

Tiempo operativo (TO)	Tiempo fuera de servicio (TFS)	Nuevo Tiempo fuera de servicio (TFS)
7	2	1.5
6	2	1.5
5	3	2.5
7	3	2.5
8	1	0.5
7	2	1.5
Totales 40	13	12.5

Nota. En la tabla se aprecia la variacion de tiempo fuera de servicio, optimizando 30 minutos o 0.5H. Adaptado por el autor en base a la norma SAE JA1012 (2002).

En la tabla 22, se evidencia la mejora por lo que los nuevos valores de confiabilidad se reflejan cómodos.

De la tabla 22, se tiene To=40 ; # de eventos= 6, TFS=12.5

Entonces,

$$MTBF = \frac{40}{6} = 6.67$$

$$MTTR = \frac{12.5}{6} = 2.08$$

Para calculo de disponibilidad se tiene; MTBF= 6.67, MTTR=2.08

$$DISP = \frac{6.67}{6.67 + 2.08} * 100 = 76.19\%$$

Si la disponibilidad es de 76.19 %, la indisponibilidad será la diferencia del total – disponibilidad, siendo de 23.81%.

$$\text{Para el caso 1. } PDIS = \frac{6.7}{2.2+6.7} \times 100 = 75.47 \%$$

$$\text{Para el caso 2. } DISP = \frac{6.66}{2.08+6.7} \times 100 = 76.19 \%$$

De los cálculos se puede inferir que la disponibilidad de la planta ha mejorado de 75.47 a 76.19 % vale decir incremento 0.72 %.

De hecho, este resultado es parcial, la correcta sería que el TFS al disminuir, correlacionalmente debería incrementos TO.

Tabla 23

Horas operativas del molino reportado en un periodo definido para el estudio de RCM II

Nuevo Tiempo operativo (TO) en horas	Nuevo Tiempo fuera de servicio (TFS) en horas
7.5	1.5
6.5	1.5
5.5	2.5
7.5	2.5
8.5	0.5
7.5	1.5
Total	43
MRTR	2.08
MTBF	7.17
Disponibilidad	0.77477

Nota. En la tabla se aprecia el calculo de disponibilidad, aprtir de TO y TFS.

Cálculo de disponibilidad.

$$Disponibilidad = \frac{MTBF}{MRTR + MTBF} \times 100$$

$$DISP = \frac{7.17}{2.08+7.17} \times 100 = 77.48 \%$$

De la tabla 22 se deduce que al mejorar en media hora el TFS, la disponibilidad de la planta se incrementa a 77.48 %, es decir en 2% adicional.

3.5. Cálculo de Variación de la Disponibilidad Respecto al Costo de Producción del Molino SAG

Como cada hora de producción del Molino SAG, es de 100000.00 USD, y la estimación de media hora por TFS recuperado en un periodo de 6 meses equivale a 3 Horas, como se evidencia en el cálculo, pues resulta que se genera de un ahorro de más de medio millón de dólares

Ahorro = Costo de producción del Molino Hora * Horas optimizadas con RCM

Ahorro=100000.00 USD*3 horas

Ahorro= 300000.00 USD.

En un periodo de seis meses con la mejora implementada de 3 horas en el mismo periodo, generaría un ahorro de 300 mil USD por semestre, lo que implica en un periodo de un año un ahorro de 600 mil USD, que aparentemente el ahorro es insignificante para una empresa de talla mundial.

Debe aclararse, que el cálculo aparentemente presenta inconsistencias de datos registrados en el software de gestión de la empresa (elipse) al realizarse prorratesos por tonelada tratada de mineral con la cantidad material chanco y teniendo en cuenta que la línea de molienda nunca deja de producir por estrategias operacionales y corporativas, razón por la que la empresa considera tiempos operativos TO de 7 y 8 Horas mensuales, lo que conlleva a que el tiempo fuera de servicio optimizado también sean cortos como de 2 y 1 hora, haciendo que el efecto de optimización cuantificado en efectivo sea menor.

En la práctica comparando con los históricos de empresas similares y estimando con datos sin prorratesos (datos registrados en cuaderno de reportes de mantenimiento y operacionales diarios) las estimaciones evidentemente son más alentadores.

3.6. Estimación de Cálculo Semestral de Disponibilidad del Molino SAG, Bajo la Premisa de Gestión de Mantenimiento Basado en RCM II

Para el calculo de disponibilidad según la metodología RCM II, se recurre al consolidado de reportes durante el periodo de estudio.

En la tabla 24, se observa los eventos ocurridos durante 8 meses en la minera en su area de molienda.

Estos datos corresponden al horómetro registrado en el sistema de molienda, cuaderno de reportes de mantenimiento, y el plan de mantenimiento emitido por departamento de planeamiento, las mismas que han sido validadas y aceptadas por la empresa como parte de la metodología empleada para el proceso de implementación del sistema de gestión de mantenimiento preventivo y correctivo.

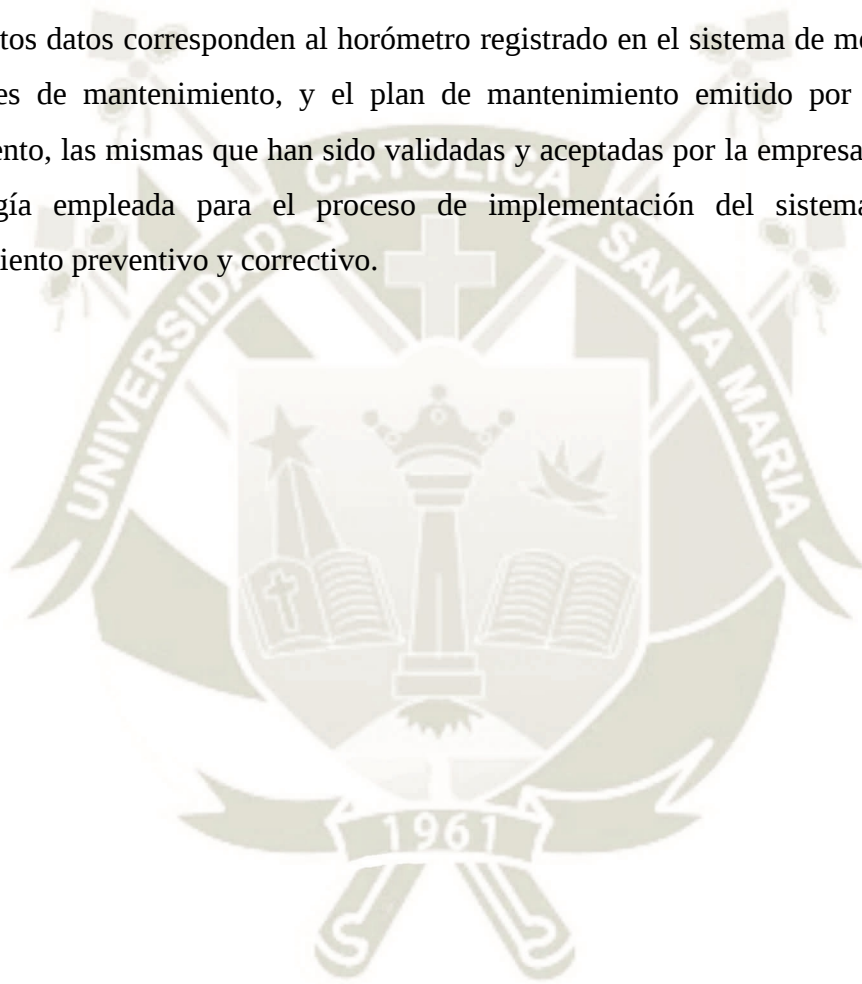


Tabla 24

Tabla de mejora de disponibilidad actual y proyectada con RCM II

Comentario del evento	Sistema sin optimizar		Optimiza ción media hora	0.5	Optimiza ndo 40 min	0.6667	Optimiza ndo 50 min	0.8333	Optimiza ndo 1 hora	1
	Tiempo operativo (TO)	Tiempo fuera de servicio (TFS)	Tiempo operativo (TO)	Tiempo fuera de servicio (TFS)	Tiempo operativo (TO)	Tiempo fuera de servicio (TFS)	Tiempo operativo (TO)	Tiempo fuera de servicio (TFS)	Tiempo operativo (TO)	Tiempo fuera de servicio (TFS)
Parada programada	360	12	360.50	11.50	360.67	11.33	360.83	11.17	361.00	11.00
Parada programada	336	12	336.50	11.50	336.67	11.33	336.83	11.17	337.00	11.00
Parada programada	288	10	288.50	9.50	288.67	9.33	288.83	9.17	289.00	9.00
Parada programada	264	11.5	264.50	11.00	264.67	10.83	264.83	10.67	265.00	10.50
Parada programada	170.0016	0.5	170.50	0.00	170.67	-0.17	170.83	-0.33	171.00	-0.50
evento no programado			336	10	336.50	9.50	336.67	9.33	336.83	9.17
Parada programada	386.0016	12	386.50	11.50	386.67	11.33	386.83	11.17	387.00	11.00
Parada programada			336	10	336.50	9.50	336.67	9.33	336.83	9.17
Parada programada	53.016	1	53.52	0.50	53.68	0.33	53.85	0.17	54.02	0.00
Parada programada			312	8	312.50	7.50	312.67	7.33	312.83	7.17
Parada programada	408	11	408.50	10.50	408.67	10.33	408.83	10.17	409.00	10.00
Parada programada			312	13	312.50	12.50	312.67	12.33	312.83	12.17
Parada programada	360	12	360.50	11.50	360.67	11.33	360.83	11.17	361.00	11.00
Parada programada			336	12	336.50	11.50	336.67	11.33	336.83	11.17
Parada programada	336	12								
Total	4257.0192	135	4264.02	128.00	4266.35	125.67	4268.69	123.33	4271.02	121.00
MTTR	9.6	MTTR	9.1	MTTR	9.0	MTTR	8.8	MTTR	8.6	
MTBF	304.1	MTBF	304.6	MTBF	304.7	MTBF	304.9	MTBF	305.1	
Disponibilidad	0.96926	Disponibilidad	0.97086	Disponibilidad	0.97139	Disponibilidad	0.97192	Disponibilidad	0.97245	
Indisponibilidad	0.03074	Indisponibilidad	0.02914	Indisponibilidad	0.02861	Indisponibilidad	0.02808	Indisponibilidad	0.02755	

Nota. En la tabla se muestra la optimización de 30 minutos hasta 1 hora, donde al optimizar 1 hora, la disponibilidad incrementa hasta 97.24 % frente a 96.93 sin optimizar, con datos registrados en el periodo de estudio.

A efectos de análisis, se re tabula el MTTR y el MTBF y la disponibilidad, propuesta que mejoraría con las proyecciones establecidas con optimización de MTTR en media hora, 40 minutos y una hora, las que supuestamente mejoraría implementado el sistema de gestión propuesto sujeto de estudio.

Dicha información es consistente, dado que, al planificar todas las actividades de equipo crítico, se evita imprevisto de repuestos faltantes, herramientas no disponibles, tareas no

planificadas y reduciendo tiempo quizá hasta más de una hora, porque cualquier imprevisto implica mayor tiempo.

Tabla 25

Tabulación del MTTR, MTBF y Disponibilidad

Propuesta de optimización	MTTR	MTBF	Disponibilidad
Sin Optimizar	9.6	304.1	96.93%
Optimizando Media Hora	9.1	304.6	97.09%
Optimizando 40 min	9.0	304.7	97.14%
Optimizando 50 min	8.8	304.9	97.19%
Optimizando 1 Hora	8.6	305.1	97.25%

Nota. En la tabla se aprecia el incremento de disponibilidad cuando los tiempos de optimizacion incrementan. Adaptado por el autor en base a la norma SAE JA1012 (2002).

Cálculo de disponibilidad sin optimizar. $DISP = \frac{304.1}{9.6+304.1} \times 100 = 96.93 \%$

Disponibilidad optimizando media Hora. $DISP = \frac{304.6}{9.1+304.6} \times 100 = 97.09\%$

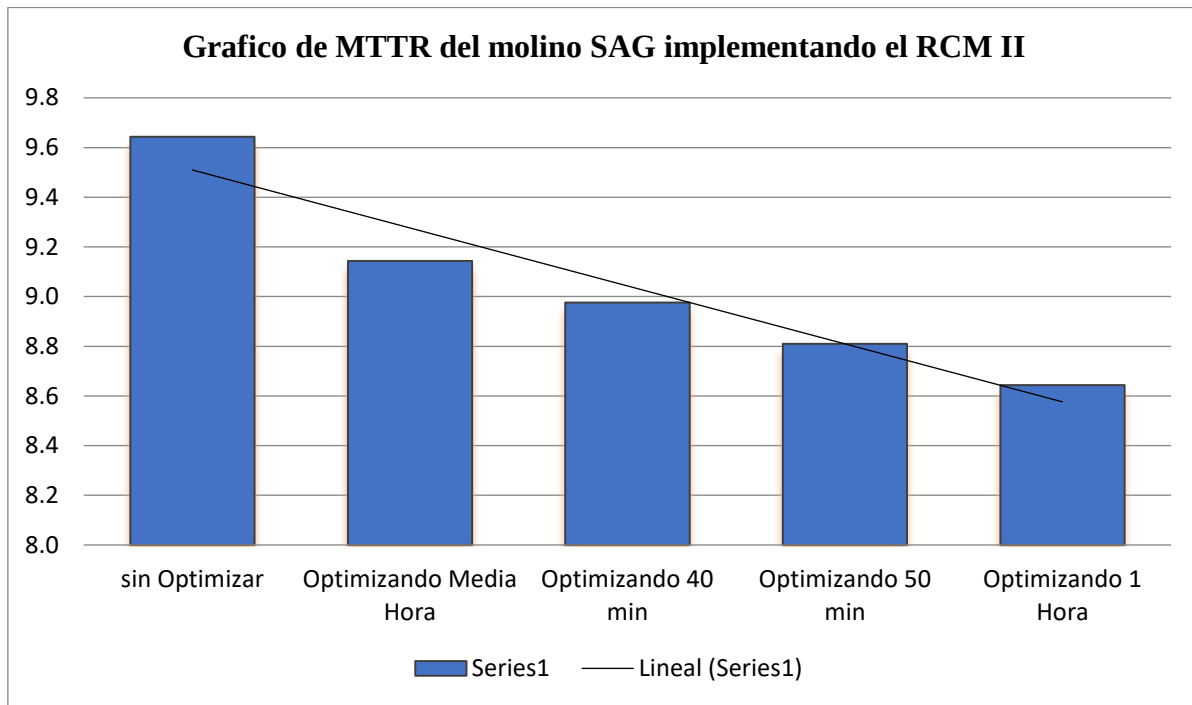
Cálculo de disponibilidad optimizando 40 min. $DISP = \frac{304.7}{9.0+304.7} \times 100 = 97.14 \%$

Cálculo de disponibilidad optimizando 40 min. $DISP = \frac{304.9}{8.8+304.9} \times 100 = 97.19 \%$

Cálculo de disponibilidad optimizando 1 H. $DISP = \frac{305.1}{8.6+305.1} \times 100 = 97.25 \%$

Figura 10

Grafico del MTTR del molino con RCM



Nota. En el grafico se aprecia la disminucion del MTTR cuando se optimiza los tiempos de mantenimiento.

Interpretación.

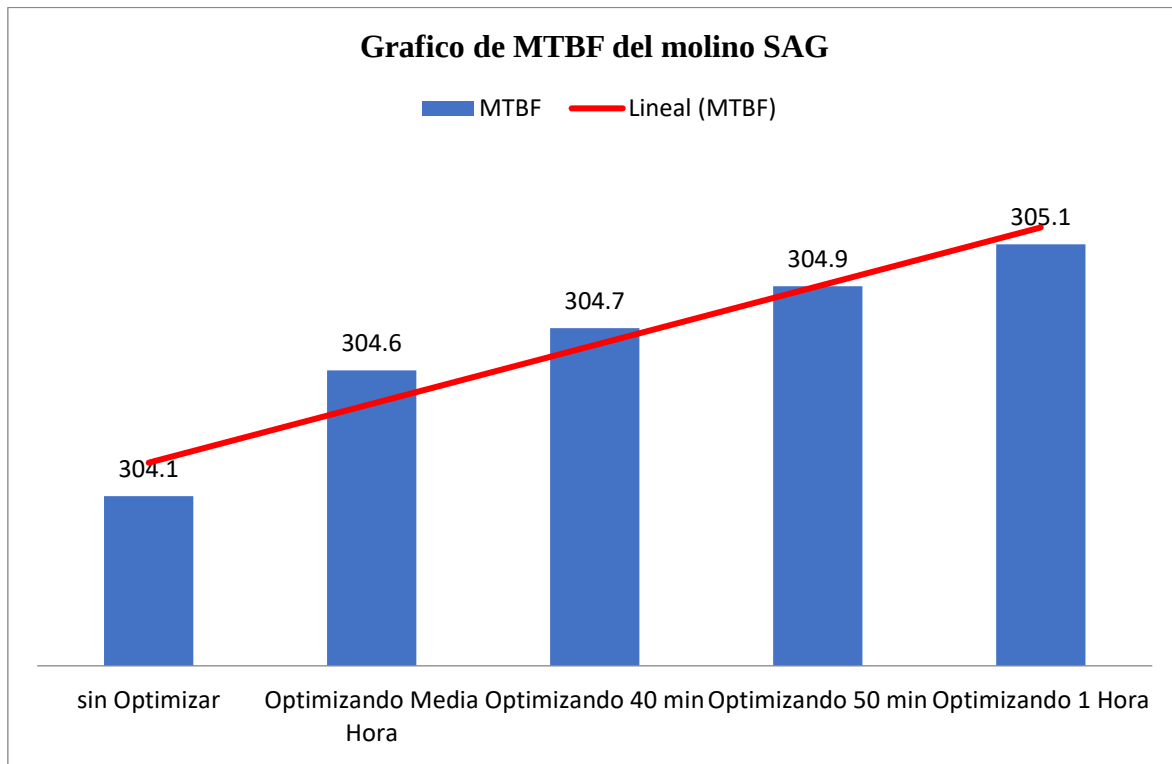
Al optimizar el tiempo promedio de reparacion, este desminuye de manera proporcional conforme a cuanto tiempo se logra optimizar.

Se debe precisar que este tiempo optimizado, es MTTR.

En el siguiente grafico se ilustra el comportamiento del MTBF del sistema de molienda, aunque no es significativo, pero más adelante se evalúa su impacto económico.

Figura 11

Tendencia de MTBF del molino con la optimización del RCM



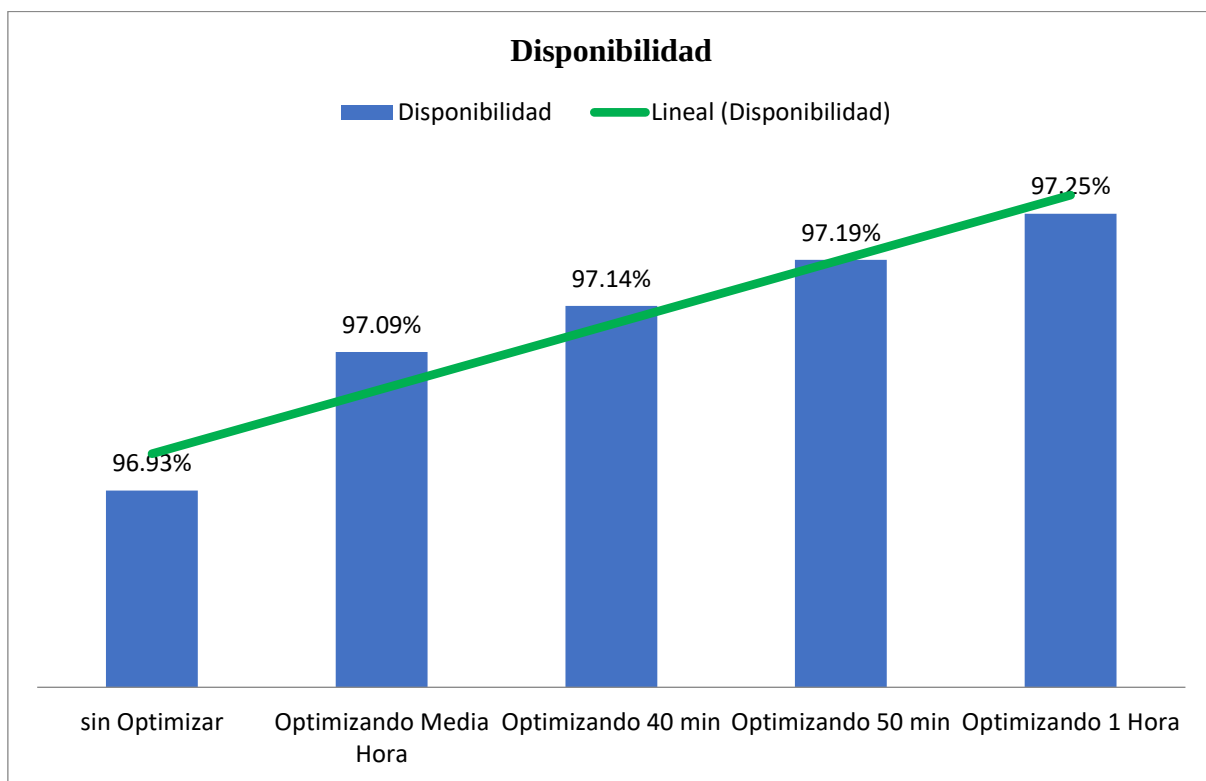
Nota. En el grafico se aprecia el crecimiento de MTBF, donde al optimizar también incrementa las horas de buen funcionamiento del activo.

De la figura 11, se puede evidenciar que al disminuir el MTTR optimizando el tiempo fuera de servicio, esta tiende a subir relativamente en función cuanto disminuye la MTTR del sistema analizado.

En la figura 12, se observa que la disponibilidad también sube conforme se incrementa la MTTR y disminuye el MBBF, pues la grafica 11 y 12 muestran tendencia creciente, lo que significa que la disponibilidad del activo está en función de la tiempo medio entre fallos.

Figura 12

Proyección de la disponibilidad al optimizar con RCM II



Nota. En el grafico se observa el incremento de disponibilidad 0.32% al optimizar una hora, considerado aceptable para el presente estudio.

Al disminuir el tiempo fuera de servicio la disponibilidad del activo incrementa relativamente en función de cuanto se disminuye el MTBF y se incrementa el MTTR, lo que implica que si la recuperación del activo es menor la disponibilidad del activo incrementa de en cuanto se disminuya el MTBF.

3.7. Estimación Operacional en el Contexto Actual

La evaluación de costos, pueden variar en función al comportamiento del mercado internacional, básicamente puede fluctuar por el costo de cobre o mterial procesado por la minera.

En las tablas siguiente se calcula considerando los costos significativos que influyen en el activo tanto en su operación y mantenimiento también considerando otros costos asociados al tiempo operativo y como fuera de servicio.

Tabla 26
Estimación del impacto de la disponibilidad en costos de producción anualizados sin RCM

ítems		Cálculos parciales	Costo en USD
		\$/vida útil 15	
1	CI	15000000 años	20 750000 \$ año
2	CO		150000 \$ año
3	CMP		50000 \$ año
4	CMM	20000 \$/ cada 5 años	4000 \$ año
5	CTFP		
	5.1	frecuencia de fallo	4 evento/año
	5.2	costo mano de obra	10000 \$/ evento
	5.3	costo de materiales	15000 \$/ evento
		costos anuales por reparar 5.1	
	5.4	*(5.2+5.3)	100000 \$ año
	5.5	tiempo fuera de servicio (Horas)	9 Horas/evento
	5.6	impacto de producción	100000 \$ horas
	5.7	costes anuales por penalización 5.5*5.6	900000 \$ año
	5.8	penalización anual x fallos 5.7*5.1	3600000 \$ año
	5.9	CTPF	3700000 \$ año
6	CTA		4654000 \$ año
7	% de costos de fiabilidad (5.9 /6)*100		79.50 %

Nota. En la tabla se aprecia los costos anualizados para un activo, en el presente caso para el milino SAG.

Donde:

CI: Costo inicial en USD año.

CO: Costo operativo en USD año

CMP: Costo de mantenimiento programado en USD año

CMM: Costo de mantenimiento Mayor en USD año.

CTFP: Costos totales de fallas en producción.

CTA: Costo total anualizado.

3.8. Estimación de costos proyectados

Esto supone la mejora encontrada con el incremento de la disponibilidad del sistema de molienda reflejándose en los costos operativos, siendo esta al incluir otros costos asociados por cada evento ocurrido, como de: mano de obra, materiales, equipos auxiliares, etc.

Tabla 27

Impacto económico con la optimización con el RCM II propuesto

ítem	Cálculos parciales		Costo en USD
	\$ / vida útil 15		
1 CI	15000000 años	20	750000 \$ año
2 CO			150000 \$ año
3 CMP			50000 \$ año
4 CMM	20000 \$ / cada 5 años		4000 \$ año
5 CTFP			
5.1 frecuencia de fallo			1 evento/año
5.2 costo mano de obra			10000 \$ / evento
5.3 Costo de materiales			15000 \$ / evento
5.4 costos anuales por reparar 5.1 *(5.2+5.3)			25000 \$ año
5.5 tiempo fuera de servicio			8 Horas/evento
5.6 impacto de producción			100000 \$ horas
5.7 costes anuales por penalización 5.5*5.6			800000 \$ año
5.8 penalización anual x fallos 5.7*5.1			800000 \$ año
5.9 CTPF			825000 \$ año
6 CTA			1779000 \$ año
7	% de costos de fiabilidad (5.9 / 6)*100		46.37 %

Nota. En la tabla se aprecia los costos anualizados ha disminuido a 46.37 %.

Haciendo una algebra simple, se evidencia que al restar de la tabla 26 respecto al 27 la diferencia es \$/. 2875000.00 dos millones ochocientos setenta y cinco mil dólares americanos.

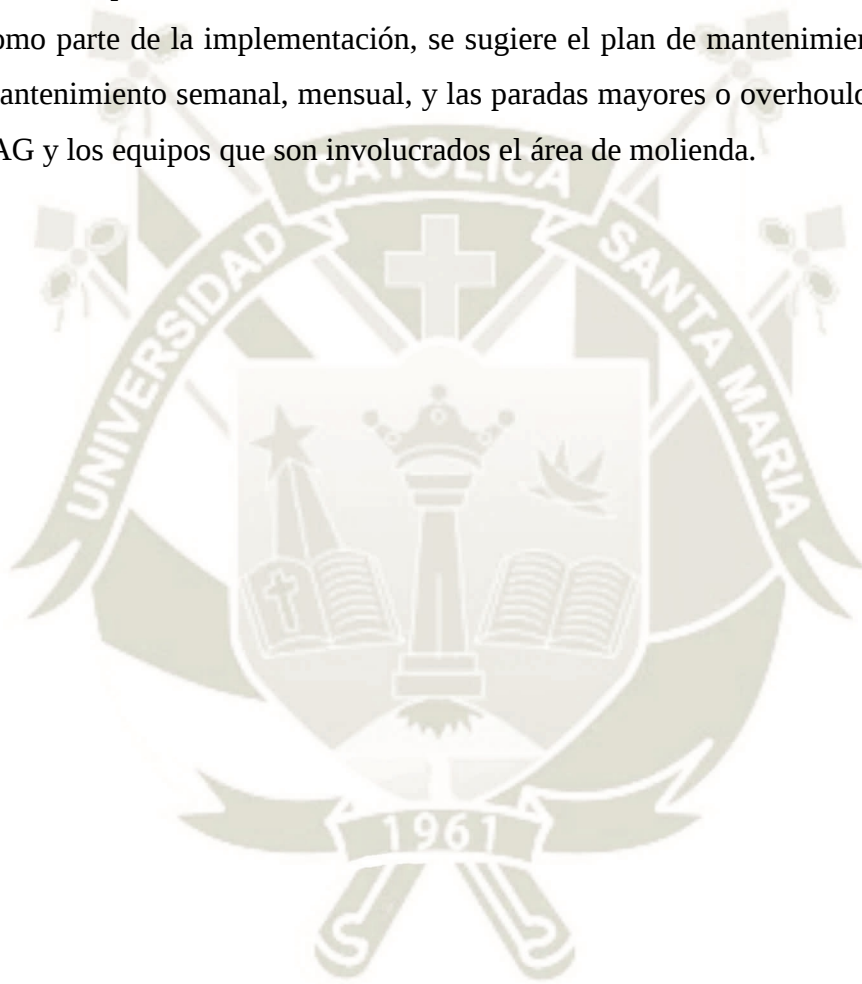
3.9. Filosofía de Mantenimiento con RCMII o Mantenimiento Planificado

Con la propuesta de RCM II implementada, las antiguas paradigmas cambiaran en sus definiciones, pues después de implementar el sistema de gestión basado en RCM II se conocerá

como filosofía, también todas las actividades se harán de forma planificada (anticipándose a la ocurrencia) en todo el ciclo de mantenimiento.

La filosofía implantada busca establecer un sistema de gestión de la disponibilidad y mantenimiento de los equipos aumentando el tiempo promedio ente fallos MTBF, facilitar el mantenimiento disminuyendo las intervenciones MTTR, prevenir el deterioro y prever la avería sin descuidar de repuestos.

Como parte de la implementación, se sugiere el plan de mantenimiento, se generan el plan de mantenimiento semanal, mensual, y las paradas mayores o overhaul que requieran el molino SAG y los equipos que son involucrados el área de molienda.



Conclusiones

Primera. - La propuesta de gestión de mantenimiento para molinos SAG en minería basado en RCM II, según el análisis desarrollado, la disponibilidad ha incrementado 0.32%, de 96.93 % a 97.25 %, evidenciando reducción de costos operativos, ya que gestiona a los activos con un detalle desde el contexto real de operación, mediante un plan de mantenimiento optimizado de recursos como: horas hombre, materiales y consumibles, planificación y programación oportuna para cada actividad de mantenimiento asignando óptimamente para hacer más con lo mismo. Esto queda demostrado que al disminuir el MTTR se incrementa la disponibilidad del activo, haciendo que esta se refleje en los costos globales de mantenimiento y operacionales.

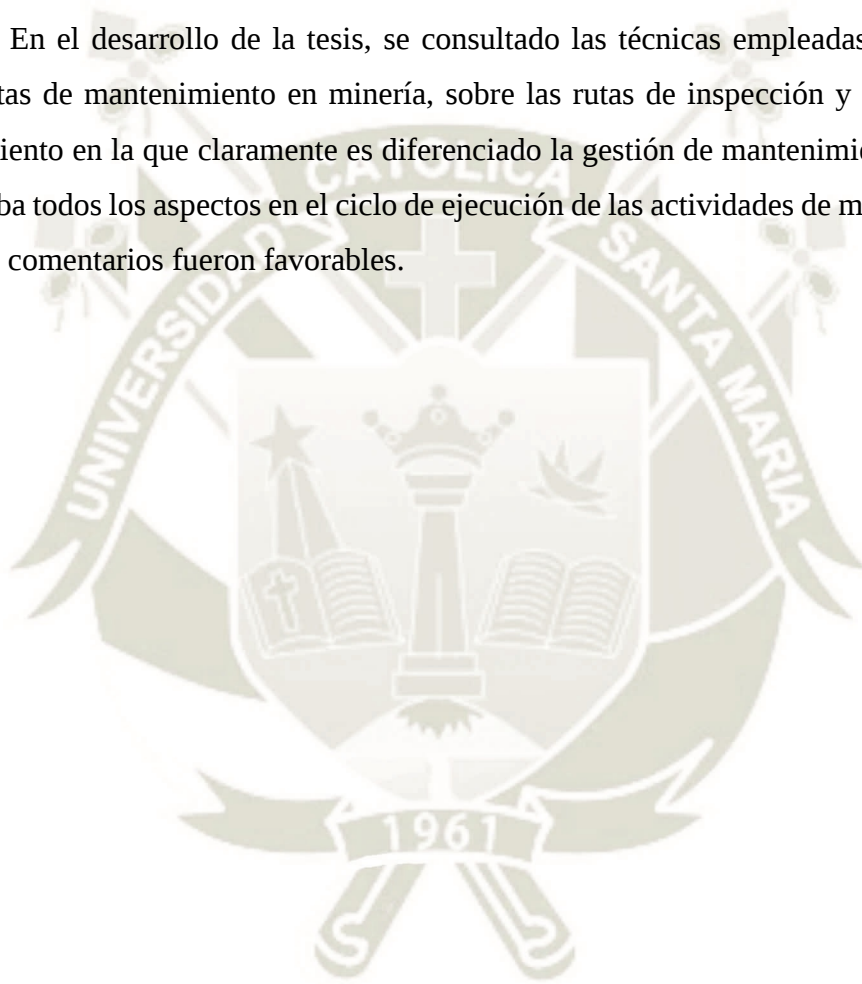
También en el resultado anual de la empresa minera, siendo esta, con un ahorro de \$ 2875000.00 dos millones ochocientos setenta y cinco mil 00/100 dólares americanos, al tipo de cambio peruano de 3.3 equivale a S/. 7548750.00 siete millones quinientos cuarenta y ocho mil setecientos cincuenta con 00/100 soles.

Segunda. - El presente estudio, ha considerado el RCM II como herramienta para la optimización de gestión de mantenimiento del activo crítico de la minera, en cuyo caso hay un ahorro aparente de 600000.00 dólares, pero para determinar el impacto económico real en la organización, se ha considerado análisis de costos globales anualizados, donde resulta un ahorro de \$ 2875000.00 dos millones ochocientos setenta y cinco mil 00/100 dólares americanos, esto evidencia que para valorar el impacto real de la gestión de mantenimiento basado en RCM II, no solo considerar el costo inoperativo del activo, sino considerar el análisis de costos globales anualizados como los costos de horas hombre, costo de mantenimiento programado, costo de mantenimiento mayor, costos de penalizaciones, costo de materiales y repuestos, costo de mantenimiento y costo de impacto en la producción, justificando su aplicación del RCM en la minera.

Tercera. - Se ha analizado los modos y efectos de fallo que tienen mayor incidencia en la confiabilidad del molino SAG, teniendo en cuenta el clima y contexto operacional respecto a las especificaciones del fabricante, evidenciando que existen diferencias y la gestión propuesta complementa ampliamente el impacto en la confiabilidad e indirectamente la producción.

Cuarta. - En esta tesis se ha propuesto la gestión de mantenimiento conjunto en la que sus ítems, considera por separado las actividades de mantenimiento por categorías como: plan de mantenimiento eléctrico, mecánico, de instrumentación y las posibles actividades predictivas en el proceso productivo de molienda, que englobado aumenta la confiabilidad del Molino SAG y área de molienda, logrando conseguir el objetivo de la tesis en incrementar la confiabilidad.

Quinta. - En el desarrollo de la tesis, se consultado las técnicas empleadas por los técnicos especialistas de mantenimiento en minería, sobre las rutas de inspección y los programas de mantenimiento en la que claramente es diferenciado la gestión de mantenimiento propuesto ya que engloba todos los aspectos en el ciclo de ejecución de las actividades de mantenimiento, por lo que sus comentarios fueron favorables.



Recomendaciones

Primera. - Esta metodología propuesta si bien puede funcionar adecuadamente en contextos parecidos, pero se recomienda analizarlo minuciosamente para cada operación, ya que factores climatológicos son diferentes, esto depende directamente de su contexto operacional de cada minera y los lineamientos corporativos.

Segunda. - Esta metodología debe ajustarse periódicamente, ya que los modos y efectos de falla pueden tener otro comportamiento en el tiempo, conforme se desgasta los equipos o exista rotación de personal de la planta. Estos últimos deben alinearse con los objetivos de la minera y el equipo de trabajo.

Tercera. - Bajo recomendación de los involucrados en las tareas de mantenimiento, pues se recomienda que exista un análisis, de esta misma metodología para los demás activos de la organización para que se optimice la producción global.

Cuarta. - Se sugiere la investigación en estimar cada que tiempo se debe remplazar los activos, para que complemente la decisión de cambio de las piezas o repuestos de cada activo de la minera.

Quinta. - Respecto a las dificultades del desarrollo de la presente investigación, no hubo bibliografía de consulta relacionada al RCM+ en la universidad, ya que no dispone de textos especializados en la biblioteca lo cual fue una limitación.

Sexta. – Se sugiere realizar estudios que exploren la posibilidad de incorporar herramientas digitales para la optimización del ciclo de mantenimiento de molinos SAG, como el machine learning, inteligencia artificial, minería de datos que permita predecir, automatizar y optimizar la gestión de mantenimiento o partes de gestión de mantenimiento propuesta por RCM II, a efectos de optimizar aún mejor las estrategias de mantenimiento en minería o procesos productivos.

Referencias

- Moubray, J. (1997). *RCM II Reability Centered Maitenance*. Reyno Unido. Aladon LLC.
- Arata, A. (2013). *Ingenieria de la confiabilidad*. Chile,Santiago: Ril Editores.
- Duran, J. (2001). *Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad Plus RCM+ en la minera de cobre-Lixiviacion. Proyecto Piloto de RCM (+) en Minería de Cobre*, The Woodhouse Partnership.
- Gulati, R. (2013). *Mantenaince and Reliability best practices*. New York: Industrial Press Inc.
- Silva Ardilla, P. E., & Orrego Barreda, J. C. (2014). *Confiabilidad en la practica*. Medellin.
- CEI / IEC . (2006). Internacional Standar. *Analysis techniques for system reliability - Procedure for failure mode and effects analysis (FMEA), second*.
- Fabrycky, W. J. (1997). *Análisis del coste del ciclo de vida de los sistemas*. Blacksburg, Virginia: Isdefe.
- Salas Nestares, C., & Arriaga Juares, E. (2006). *Guia para auditorias de sistema de gestion de prevencion de riesgos laborales*. España.
- Pascual, R. (2008). *El arte de mantener*. Chile, Santiago. Universidad de Chile.
- ISO 55000-2014. (enero de 2014). Gestion de activos. *Asset management Overview, principles and terminology*.
- ISO., N. N. (2014). *ISO 9001: Entendiendo el enfoque basado en procesos*. Recuperado el 8 de Julio de 2015, de <http://www.nueva-iso-9001-2015.com/2014/11/iso-9001-entendiendo-enfoque-basado-procesos/>
- Norma SAE JA1011. (Agosto de 1999). *Una guia para la norma de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad*. Practicas para vehiculos aeroespaciales y superficie.
- Norma SAE JA1012. (Enero de 2002). *Una guia para la norma de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad*. Practicas para vehiculos aeroespaciales y superficie.
- FL Smidth. (13 de Setiembre de 2011). *Instalation, operation and maintenance manual for SAG mill*. Instalation, operation and maintenance manual for SAG mill.
- Hastings, N. A. (2010). *Phisycal asset management*. Brisbane- Autralia: Sprinfiel.
- ISO 14224-2004. (18 de 10 de 2004). *Petroleum, petrochemical and natural gas industries - Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment*.

GESTIÓN DE CALIDAD - ISTEEC . (04 de Julio de 2007). **Principios básicos de la calidad (Norma ISO 9000)**. Recuperado el 8 de Julio de 2015, de <http://sistemasdegestindecalidad-isteec.blogspot.com/2007/07/principios-bsicos-de-la-calidad-norma.html>

ISO. (2008). **Requisitos de la documentación**. Ginebra: Secretaría Central de ISO.

PAS 55-1:2008 British Standar BSI. (2008). PAS 55-1:2008. **Asset management**.

Carabajo, J. y Solano, E. (2008). **Diseño de un plan de mantenimiento en el área de construcción de llantas radiales primera y segunda etapa de la Compañía Ecuatoriana del Caucho S.A. mediante la estrategia RCM (Reliability Centered Maintenance)** [Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana de Ecuador]. Archivo digital. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/1682>.

Surco, J. (2021). **Diseño e implementación de un sistema de control para instalación, afinación, operación y optimización del espesador HRT (alto rendimiento) OUTOTEC de la planta concentradora de la minera Chinalco Perú S.A. del proyecto Toromocho** [Tesis de grado, Universidad San Agustín de Arequipa]. Archivo digital. <http://hdl.handle.net/20.500.12773/13120>.



Anexos

Anexo 1

Funciones primarias y secundarias de los equipos que forman el proceso de molienda

AREA NAME	TAG MOTOR	DESCRIPCION	Consecuencia de Falla a CALIDAD	Consecuencia de Falla a la SEGURIDAD	Consecuencia de Falla al MEDIO AMBIENTE	Consecuencia de Falla a la PRODUCCION	Consecuencia de Falla a los COSTOS
Grinding Circuit	210-CV- 004-M1	PEBBLE COLLECTING CONVEYOR	Existen periodos fuera de especificación 5% controlados.	Lesiones medianas con pérdidas de días entre 7 a 30 días.	Contaminación confinada. Mediano costo remediación (50% margen)	Paro de plata o área entre 1 a 4 horas	El costo de reparación esta entre 10 % del costo del equipo. Lucro cesante 12 y4 horas
Grinding Circuit	210-FA- 002-M1	PEBBLE CRUSHER LUBRICATION SYSTEMS OIL COOLER FAN	Existen periodos fuera de especificación 5% controlados.	Lesiones medianas con pérdidas de días entre 7 a 30 días.	Contaminación confinada. Mediano costo remediación (50% margen)	Paro de plata o área entre 1 a 4 horas	El costo de reparación esta entre 10 % del costo del equipo. Lucro cesante 12 y4 horas
Grinding Circuit	210-PP- 001-M1	BALL MILL HYDROCYCLONE FEED PUMP	Fuera de especificación aleatoria. Planta inestable	Accidente grave, con pérdidas de días. Pérdida leve de capacidad. Más de 45 días.	Áreas contaminadas. Emisiones a la atmósfera sobrepasando limite en forma alternada. Alto costo remediación (un margen)	Paro de plata o área entre 24 y 8 horas	El costo de reparación esta entre 25% y 10 % del costo del equipo. Lucro cesante 24 y 8 horas
Grinding Circuit	210-PP- 006-M1	PEBBLE CRUSHING AREA SUMP PUMP	Existen periodos fuera de especificación 5% controlados.	Lesiones medianas con pérdidas de días entre 7 a 30 días.	Contaminación confinada. Mediano costo remediación (50% margen)	Paro de plata o área entre 1 a 4 horas	El costo de reparación esta entre 10 % del costo del equipo. Lucro cesante 12 y4 horas
Grinding Circuit	210-PP- 020-M1	SAG MILL LUBRICATION SYSTEM LOW PRESSURE PUMP	Existen periodos fuera de especificación 5% controlados.	Lesiones medianas con pérdidas de días entre 7 a 30 días.	Contaminación confinada. Mediano costo remediación (50% margen)	Paro de plata o área entre 1 a 4 horas	El costo de reparación esta entre 10 % del costo del equipo. Lucro cesante 12 y4 horas
Grinding Circuit	210-PP- 023-M1	SAG MILL LUBRICATION SYSTEM HIGH PRESSURE PUMP	Existen periodos fuera de especificación 5% controlados.	Lesiones medianas con pérdidas de días entre 7 a 30 días.	Contaminación confinada. Mediano costo remediación (50% margen)	Paro de plata o área entre 1 a 4 horas	El costo de reparación esta entre 10 % del costo del equipo. Lucro cesante 12 y4 horas
Grinding Circuit	210-PP- 028-M1	SAG MILL BRAKE SYSTEM HYDRAULIC PUMP	Existen periodos fuera de especificación 5% controlados.	Lesiones medianas con pérdidas de días entre 7 a 30 días.	Contaminación confinada. Mediano costo remediación (50% margen)	Paro de plata o área entre 1 a 4 horas	El costo de reparación esta entre 10 % del costo del equipo. Lucro cesante 12 y4 horas
Grinding Circuit	210-PP- 040-M1	PEBBLE CRUSHER LUBRICATION SYSTEMS PUMP	Existen periodos fuera de especificación 5% controlados.	Lesiones medianas con pérdidas de días entre 7 a 30 días.	Contaminación confinada. Mediano costo remediación (50% margen)	Paro de plata o área entre 1 a 4 horas	El costo de reparación esta entre 10 % del costo del equipo. Lucro cesante 12 y4 horas
Grinding Circuit	210-PP- 044-M1	PEBBLE CRUSHER HYDRAULIC UNIT PUMP	Existen periodos fuera de especificación 5% controlados.	Lesiones medianas con pérdidas de días entre 7 a 30 días.	Contaminación confinada. Mediano costo remediación (50% margen)	Paro de plata o área entre 1 a 4 horas	El costo de reparación esta entre 10 % del costo del equipo. Lucro cesante 12 y4 horas
Grinding Circuit	210-PP- 046-M1	BALL MILL LUBRICATION	Existen periodos fuera de	Lesiones medianas con pérdidas de días entre 7 a 30 días.	Contaminación confinada. Mediano costo remediación (50% margen)	Paro de plata o área entre 1 a 4 horas	El costo de reparación esta entre 10 % del costo del

		SYSTEM LOW PRESSURE PUMP	especificación 5% controlados.				equipo. Lucro cesante 12 y 4 horas
Grinding Circuit	210-PP-049-M1	BALL MILL LUBRICATION SYSTEM HIGH PRESSURE PUMP	Existen periodos fuera de especificación 5% controlados.	Lesiones medianas con pérdidas de días entre 7 a 30 días.	Contaminación confinada. Mediano costo remediación (50% margen)	Paro de plata o área entre 1 a 4 horas	El costo de reparación esta entre 10 % del costo del equipo. Lucro cesante 12 y 4 horas
Grinding Circuit	210-PP-058-M1	BALL MILL TEMPORARY LUBRICATION PUMP	Existen periodos fuera de especificación 5% controlados.	Lesiones medianas con pérdidas de días entre 7 a 30 días.	Contaminación confinada. Mediano costo remediación (50% margen)	Paro de plata o área entre 1 a 4 horas	El costo de reparación esta entre 10 % del costo del equipo. Lucro cesante 12 y 4 horas
Grinding Circuit	210-PP-060-M1	BALL MILL BRAKE SYSTEM HYDRAULIC PUMP	Existen periodos fuera de especificación 5% controlados.	Lesiones medianas con pérdidas de días entre 7 a 30 días.	Contaminación confinada. Mediano costo remediación (50% margen)	Paro de plata o área entre 1 a 4 horas	El costo de reparación esta entre 10 % del costo del equipo. Lucro cesante 12 y 4 horas
Grinding Circuit	210-PP-066-M1	BALL MILL LINER HYDRAULIC UNIT PUMP	Existen periodos fuera de especificación 5% controlados.	Lesiones medianas con pérdidas de días entre 7 a 30 días.	Contaminación confinada. Mediano costo remediación (50% margen)	Paro de plata o área entre 1 a 4 horas	El costo de reparación esta entre 10 % del costo del equipo. Lucro cesante 12 y 4 horas
Grinding Circuit	210-PP-099-M1	APRON FEEDER COOLING WATER PUMP	Existen periodos fuera de especificación 5% controlados.	Lesiones medianas con pérdidas de días entre 7 a 30 días.	Contaminación confinada. Mediano costo remediación (50% margen)	Paro de plata o área entre 1 a 4 horas	El costo de reparación esta entre 10 % del costo del equipo. Lucro cesante 12 y 4 horas
Grinding Circuit	210-SN-001-M2	SAG MILL SCREEN DRIVE MOTOR	Fuera de especificación aleatoria. Planta inestable	Accidente grave, con pérdidas de días. Pérdida leve de capacidad. Más de 45 días.	Áreas contaminadas. Emisiones a la atmósfera sobrepasando límite en forma alternada. Alto costo remediación (un margen)	Paro de plata o área entre 24 y 8 horas	El costo de reparación esta entre 25% y 10 % del costo del equipo. Lucro cesante 24 y 8 horas

Nota. En el anexo 1, se observa la función primaria y secundaria de partes del sistema de molienda. Adaptado según el estudio de RCM II de la minera. Fuente: Moubray (1997).

Anexo 2

Modos de fallas del sub sistema de anillo del estator del molino

Ítem	Función	Falla Funcional	Modo de Falla (Causa de la Falla)	Efecto de Falla (Qué sucede cuando se produce la falla)
1	<i>Ser capaz de girar con una capacidad de 6300 tph con 70% de solidos a una velocidad promedio de 9.31 rpm</i>	<i>Motor no gira.</i>	Estator quemado por pérdida de aislamiento	El operador evidencia la detención del motor. Se presentan reiteradas fallas a tierra, antes de la pérdida del aislamiento. Tiempo de detención: 3 días
2			Pérdida de aislamiento de estator por error humano	El operador evidencia la detención del motor. Falla por una mala ejecución de mantenimiento. Tiempo de detención: 3 días
3			Motor se detiene por falsa señal del relé a tierra del estator	El operador evidencia la detención del motor. Falsa señal del relé por cable suelto. Tiempo de detención: 2 horas
4			Motor se detiene por falla del relé a tierra del estator.	El operador evidencia la detención del motor. Relé queda inoperativo. Tiempo de detención: 4 horas
5			Pérdida de aislamiento del estator por presencia de humedad originado por error humano	El operador evidencia la detención del motor. Actúa el relé, deteniendo el motor. Tiempo de detención: 6 horas
6			Cuña de soporte del bobinado del estator suelta por vibración	El operador evidencia la detención del motor. La cuña suelta provoca que se desplace el bobinado del estator y falla. No es evidente hasta que la bobina se desplace. Tiempo de detención: 30 días
7			Cuña de soporte del bobinado del estator suelta por uso normal	El operador evidencia la detención del motor. La cuña suelta provoca que se desplace el bobinado del estator y falla. No es evidente hasta que la bobina se desplace. Tiempo de detención: 30 días
8			Terminación de cable de alimentación al estator soplado por mal montaje (Termo contraible)	El operador evidencia la detención del motor. La fase se va a tierra. Tiempo de detención: 4 horas
9			Pernos sueltos de terminales de cables de alimentación al estator por uso normal	El operador evidencia la detención del motor. Se roza fase con fase y se detiene bruscamente el motor: 2 días
10			Pernos sueltos de terminales de cables de alimentación estator por error humano	El operador evidencia la detención del motor. Se roza fase con fase y se detiene bruscamente el motor. Tiempo de detención: 2 días
11			Sellos de teflón de estator gastados por uso normal.	El operador evidencia una alarma por falla del sistema sellado con 2000 hr antes del término de su vida útil. Ingreso de contaminación (polvo, humedad). Tiempo de detención: 2 días.
12			platinas de sujeción del sello de teflón de estator fatigados por uso normal.	El operador evidencia una alarma por falla de sellado. Ingreso de contaminación (polvo, humedad). Tiempo de detención: 2 días.

13		Pernos del mecanismo del knife switch del estator sueltos por vibración	El motor no arranca y se visualiza alarma por perdida de fase o excitación, el knife switch se queda con un o más polos abiertos. Tiempo: 2 horas.
14		Cables alimentación principal del estator sueltos por vibración	El operador evidencia la detención del motor. Se choca fase con fase y se detiene bruscamente el motor. Tiempo de detención: 2 días
15		Cables de alimentación principal del estator con pérdida de aislamiento por falla a tierra	El operador evidencia la detención del motor. Se choca fase con fase y se detiene bruscamente el motor. Tiempo de detención: 2 días
16		Solenoide del knife switch de estator quemado por falla aleatoria	No se puede arrancar el motor. Se traba el mecanismo por la falla del solenoide Tiempo de detención: 2 horas.
17		Vástago del solenoide del knife switch del estator pegado en posición cerrada por contaminación	No se puede dar arranque al motor. Tiempo de detención: 2 horas.
18		Vástago de solenoide del knife switch del estator pegado en posición abierta por contaminación	No es posible aislar el sistema para hacer mantenimiento. Tiempo de detención: 2 horas.
19		Switch de estatus del knife switch del estator gastado por uso normal	El operador evidencia la detención del motor. No acciona el switch de posición. Tiempo de detención: 2 horas.
20		Cables de control de estatus del knife switch estator cortados/sueltos por mal montaje.	El operador evidencia la detención del motor. Tiempo de detención: 2 horas
21		Bulones de fundación del estator sueltos por uso normal	El operador evidencia la detención del motor. Desplazamiento del estator y posterior daño en la cubierta del rotor, se detiene bruscamente el motor. Tiempo de detención: 15 días
22		Bulones de anclaje del estator sueltos por uso normal	El operador evidencia la detención del motor. Desplazamiento del estator y posterior daño en la cubierta del rotor, se detiene bruscamente el motor. Tiempo de detención: 15 días
23		Bulones de juntas del estator por uso normal	El operador evidencia la detención del motor. Desplazamiento del estator y posterior daño en la cubierta del rotor, se detiene bruscamente el motor. Tiempo de detención: 15 días

Nota. En el anexo 2, se obserba modos y efectos de falla de partes del sistema de molienda.

Adaptado segun el estudio de RCM de la minera. Fuente: Moubray (1997).

Anexo 3

Selección de tareas de mantenimiento preventivo MP o mantenimiento programado MPd

Ítem	Función	Falla Funcional	Modo de Falla (Causa de la Falla)	Efecto de Falla (Qué sucede cuando se produce la falla)	Consecuencia de la Falla	Estrategia de Mantenimiento	Tarea Propuesta
1	Ser capaz de girar con una capacidad de 6300 tph con 70% de sólidos a una velocidad promedio de 9.31 rpm	Motor no gira	Motor se detiene por alta temperatura en el devanado del estator debido a falla del motor de 1 o más ventiladores.	El operador evidencia la detención del molino. Se activa alarma de muy alta temperatura en el estator (mayor a 120 oC) en el VMS. Tiempo de detención: 4 horas.	Consecuencias Operacionales	Tarea a Condición	Verificar que el valor indicado por el sensor de temperatura sea real. De ser positivo se procede a revisar el status de relés de protección del arrancador del ventilador en falla y según lo que indique se restablece o se programa su intervención. Se debe inspeccionar y monitorear parámetros de vibración, lubricación, temperatura y análisis de corriente/voltaje/potencia en los ventiladores del estator (monitoreo online).
2			Motor se detiene por alta temperatura en el devanado del estator debido a falla de 1 o más ventiladores.	El operador evidencia la detención del molino. Se activa alarma de muy alta temperatura en el estator (mayor a 120 oC) en el VMS. Tiempo de detención: 4 horas.	Consecuencias Operacionales	Tarea a Condición	Verificar que el valor indicado por el sensor de temperatura sea real. De ser positivo se procede a revisar el status de relés de protección del arrancador del ventilador en falla y según lo que indique se restablece o se programa su intervención. Se debe inspeccionar y monitorear parámetros de vibración, alineamiento y balanceo en los ventiladores del estator.
3			Motor se detiene por alta temperatura en el devanado del estator debido a falla del motor de la bomba del cooling tower.	El operador evidencia la detención del molino. Se activa alarma de muy alta temperatura en el estator (mayor a 120 oC) en el VMS. Tiempo de detención: 1 horas.	Consecuencias Operacionales	Tarea a Condición	Verificar que el valor indicado por el sensor de temperatura sea real. De ser positivo se procede a arrancar la bomba en stand by del cooling tower mientras se revisa el status del relé de protección del arrancador de la bomba que falló según lo que indique se restablece o se programa su intervención. Se debe inspeccionar y monitorear parámetros de vibración en rodamientos, lubricación, temperatura y análisis de corriente/voltaje/potencia en las bombas del cooling tower (monitoreo online).
4			Motor se detiene por alta temperatura en el devanado del estator debido a falla de la bomba del cooling tower.	El operador evidencia la detención del molino. Se activa alarma de muy alta temperatura en el estator (mayor a 120 oC) en el VMS. Tiempo de detención: 1 horas.	Consecuencias Operacionales	Tarea a Condición	Verificar que el valor indicado por el sensor de temperatura sea real. De ser positivo se procede a arrancar la bomba en stand by del cooling tower mientras se revisa el status del relé de protección del arrancador de la bomba que falló según lo que indique se restablece o se programa su intervención. Se debe inspeccionar y monitorear parámetros de vibración, alineamiento, temperatura y desgaste en las bombas del cooling tower.

5		Motor se detiene por alta temperatura en el devanado del estator debido a falla del intercambiador de calor en el cooling system del estator.	El operador evidencia la detención del molino. Se activa alarma de muy alta temperatura en el estator (mayor a 120 oC) en el VMS. Tiempo de detención: 5 horas.	Consecuencias Operacionales	Reacondicionamiento Cíclico	Verificar que el valor indicado por el sensor de temperatura se real y las bombas del cooling tower (210-PP-095/096/097) están operando, de ser positivo se procede a cambiar el intercambiador de calor. Se debe programar el mantenimiento (limpieza química) de los intercambiadores de calor del cooling system del estator.
6		Motor se detiene por alta temperatura en el devanado del estator debido a saturación del intercambiador de calor por una mala dosificación de reactivos en el cooling tower.	El operador evidencia la detención del molino. Se activa alarma de muy alta temperatura en el estator (mayor a 120 oC) en el VMS. Tiempo de detención: 4 horas.	Consecuencias Operacionales	Tarea a Condición	Verificar que el valor indicado por el sensor de temperatura se real y las bombas del cooling tower (210-PP-095/096/097) están operando, de ser positivo se procede a cambiar el intercambiador de calor. Se debe inspeccionar y monitorear la calidad de agua del coling tower. En función a los resultados se verá si la dosis de reactivo es la adecuada.
7		Motor se detiene por alta temperatura en el devanado del estator debido a rotura en la línea de agua de refrigeración que viene del cooling tower	El operador evidencia la detención del molino. Se activa alarma de muy alta temperatura en el estator (mayor a 120 oC) en el VMS. Tiempo de detención: 4 horas.	Consecuencias Operacionales	Tarea a Condición	Verificar que el valor indicado por el sensor de temperatura se real, las bombas del cooling tower (210-PP-095/096/097) están operando y se tenga un bajo flujo de agua. De ser positivo se procede a verificar el recorrido de la tubería de agua desde el cooling tower. Se debe inspeccionar y monitorear desgaste de las tuberías de agua que vienen desde el coling tower.
8		Motor no arranca debido a presencia de humedad en el estator & rotor debido a falla de los heaters.	Después de una parada programada o no programada del molino, el operador no puede arrancar el molino debido bajo aislamiento en el rotor o estator. Se activa alarma de falla a tierra del rotor o estator en el VMS. Tiempo de detención: 6 horas.	Consecuencias Operacionales	Reacondicionamiento Cíclico	Verificar que el valor indicado por los relés de falla a tierra del estator o rotor estén indicando un valor bajo, además que los arrancadores de los heater estén en falla. De ser positivo verificar el relé de protección en los arrancadores y según la falla que indique proceder a restablecer o cambiar el heater. Se debe programar el mantenimiento de los heaters (limpieza, medición de resistencia y megado).

Nota. En el anexo 3, se observa la selección de las tareas de mantenimiento, en función de modos de falla primaria y secundaria. Adaptado según el estudio de RCM de la minera. Fuente: Moubray (1997).

Anexo 4

Selección de Frecuencias

Ítem	Función	Falla Funcional	Modo de Falla (Causa de la Falla)	Efecto de Falla (Qué sucede cuando se produce la falla)	Consecuencias de la Falla	Estrategia de Mantenimiento	Tarea Propuesta	Condiciones Resultantes					
								Persona Responsable de la Actividad	Frecuencia	# Personas	Horas por Persona	H - H	Shutdown
1	Ser capaz de girar con una capacidad de 6300 tph con 70% de sólidos a una velocidad promedio de 9.31 rpm	Motor no gira	Motor se detiene por alta temperatura en el devanado del estator debido a falla del motor de 1 o más ventiladores.	El operador evidencia la detención del molino. Se activa alarma de muy alta temperatura en el estator (mayor a 120 oC) en el VMS. Tiempo de detención: 4 horas.	Consecuencias Operacionales	Tarea a Condición	Verificar que el valor indicado por el sensor de temperatura sea real. De ser positivo se procede a revisar el status de relés de protección del arrancador del ventilador en falla y según lo que indique se restablece o se programa su intervención. Se debe inspeccionar y monitorear parámetros de vibración, lubricación, temperatura y análisis de corriente/voltaje/potencia en los ventiladores del estator (monitoreo online).	Eléctrico	4	2	1	2	NO
2			Motor se detiene por alta temperatura en el devanado del estator debido a falla de 1 o más ventiladores.	El operador evidencia la detención del molino. Se activa alarma de muy alta temperatura en el estator (mayor a 120 oC) en el VMS. Tiempo de detención: 4 horas.	Consecuencias Operacionales	Tarea a Condición	Verificar que el valor indicado por el sensor de temperatura sea real. De ser positivo se procede a revisar el status de relés de protección del arrancador del ventilador en falla y según lo que indique se restablece o se programa su intervención. Se debe inspeccionar y monitorear parámetros de vibración, alineamiento y balanceo en los ventiladores del estator.	Mecánico	4	2	2	4	SI
3			Motor se detiene por alta temperatura en el devanado del estator debido a falla del motor de la bomba del cooling tower.	El operador evidencia la detención del molino. Se activa alarma de muy alta temperatura en el estator (mayor a 120 oC) en el VMS. Tiempo de detención: 1 horas.	Consecuencias Operacionales	Tarea a Condición	Verificar que el valor indicado por el sensor de temperatura sea real. De ser positivo se procede a arrancar la bomba en stand by del cooling tower mientras se revisa el status del relé de protección del arrancador de la bomba que falló según lo que indique se restablece o se programa su intervención. Se debe inspeccionar y monitorear parámetros de vibración en rodamientos, lubricación, temperatura y análisis de corriente/voltaje/potencia en las bombas del cooling tower (monitoreo online).	Eléctrico	4	2	1	2	NO
4			Motor se detiene por alta temperatura en el devanado del estator debido a falla de la bomba del cooling tower.	El operador evidencia la detención del molino. Se activa alarma de muy alta temperatura en el estator (mayor a 120 oC) en el VMS. Tiempo de detención: 1 horas.	Consecuencias Operacionales	Tarea a Condición	Verificar que el valor indicado por el sensor de temperatura sea real. De ser positivo se procede a arrancar la bomba en stand by del cooling tower mientras se revisa el status del relé de protección del arrancador de la bomba que falló según lo que indique se restablece o se programa su intervención. Se debe inspeccionar y monitorear parámetros de vibración, alineamiento, temperatura y desgaste en las bombas del cooling tower.	Mecánico	4	1	1	1	NO

5		Motor se detiene por alta temperatura en el devanado del estator debido a falla del intercambiador de calor en el cooling system del estator.	El operador evidencia la detención del molino. Se activa alarma de muy alta temperatura en el estator (mayor a 120 oC) en el VMS. Tiempo de detención: 5 horas.	Consecuencias Operacionales	Reacondicionamiento Cíclico	Verificar que el valor indicado por el sensor de temperatura se real y las bombas del cooling tower (210-PP-095/096/097) están operando, de ser positivo se procede a cambiar el intercambiador de calor. Se debe programar el mantenimiento (limpieza química) de los intercambiadores de calor del cooling system del estator.	Mecánico	3	2	4	8	SI
6		Motor se detiene por alta temperatura en el devanado del estator debido a saturación del intercambiador de calor por una mala dosificación de reactivos en el cooling tower.	El operador evidencia la detención del molino. Se activa alarma de muy alta temperatura en el estator (mayor a 120 oC) en el VMS. Tiempo de detención: 4 horas.	Consecuencias Operacionales	Tarea a Condición	Verificar que el valor indicado por el sensor de temperatura se real y las bombas del cooling tower (210-PP-095/096/097) están operando, de ser positivo se procede a cambiar el intercambiador de calor. Se debe inspeccionar y monitorear la calidad de agua del coling tower. En función a los resultados se verá si la dosis de reactivo es la adecuada.	Laboratorio Químico	1	1	1	1	NO
7		Motor se detiene por alta temperatura en el devanado del estator debido a rotura en la línea de agua de refrigeración que viene del cooling tower	El operador evidencia la detención del molino. Se activa alarma de muy alta temperatura en el estator (mayor a 120 oC) en el VMS. Tiempo de detención: 4 horas.	Consecuencias Operacionales	Tarea a Condición	Verificar que el valor indicado por el sensor de temperatura se real, las bombas del cooling tower (210-PP-095/096/097) están operando y se tenga un bajo flujo de agua. De ser positivo se procede a verificar el recorrido de la tubería de agua desde el cooling tower. Se debe inspeccionar y monitorear desgaste de las tuberías de agua que vienen desde el coling tower.	Mecánico	4	2	2	4	SI
8		Motor no arranca debido a presencia de humedad en el estator & rotor debido a falla de los heaters.	Después de una parada programada o no programada del molino, el operador no puede arrancar el molino debido bajo aislamiento en el rotor o estator. Se activa alarma de falla a tierra del rotor o estator en el VMS. Tiempo de detención: 6 horas.	Consecuencias Operacionales	Reacondicionamiento Cíclico	Verificar que el valor indicado por los relés de falla a tierra del estator o rotor estén indicando un valor bajo, además que los arrancadores de los heater estén en falla. De ser positivo verificar el relé de protección en los arrancadores y según la falla que indique proceder a restablecer o cambiar el heater. Se debe programar el mantenimiento de los heaters (limpieza, medición de resistencia y megado).	Eléctrico	6	2	3	6	SI

Nota. En el anexo 4, se observa la frecuencia de las tareas de mantenimiento y las áreas involucradas, según las tareas del sistema de molienda.

Adaptado según el estudio de RCM de la minera. Fuente: Moubray (1997).

Anexo 5

Preguntas de monitoreo del ciclo de trabajo desde origen de trabajo a programación de trabajos

Elemento	Sub Elemento	Preg	Tema	Puntuación
1	Origen del Trabajo			
	1		Solicitud de Trabajo Correctivo	
		1A	Existe Procedimientos para Iniciar un Trabajo	
		1B	Uso del Registro de Eventos MSQ627 y Solicitudes de Trabajo MSQ541	
		1C	Calidad de la Información de la Solicitud de Trabajo	
		1D	Retroalimentación de la Solicitud de Trabajo	
		1E	Revisión de Solicitudes de Trabajo	
		1F	Monitoreo de Solicitudes de Trabajo y Ordenes de Trabajo	
		1G	Mejora de Solicitudes de Trabajo	
	2		Inicio del Trabajo Correctivo	
		2A	Captura del Total de la Carga de Trabajo	
		2B	Información ingresada en las Órdenes de Trabajo	
		2C	Uso de un Sistema de Prioridad para el Trabajo	
2	Planeamiento			
	3		Calidad y Extensión del Planeamiento	
		3A	Procedimiento de Plan de Trabajo	
		3B	Nivel de Trabajo Planificado	
		3C	Calidad de los Planes de Trabajo	
		3D	Monitoreo de la Cantidad de Trabajo Planificado	
		3E	Monitoreo de la Calidad del Trabajo Planificado	
		3F	Mejoras a los Procesos de Planeamiento	
	4		Base de Datos de Trabajos Estándares	
		4A	Uso de Trabajos Estándares	
		4B	Decisión de cuándo crear un Trabajo Estándar	
		4C	Almacenamiento de Trabajos Estándares	
	5		Reducción de Demoras y Re-Trabajos	
		5A	Registro de Razones para Demoras en el Trabajo	
		5B	Análisis de Re-Trabajos	
3	Programación			
	6		Programación de Trabajos	
		6A	Procedimiento de Carga y Programación de Recursos	
		6B	Acuerdo y Comunicación del Programa	
		6C	Selección de Trabajos	
		6D	Nivel de Trabajo Programado	
		6E	Monitoreo de Trabajos Retrasados (Backlog)	
		6F	Monitoreo de Cumplimiento del Programa	
		6G	Mejoras a la Programación	
	7		Carga de Trabajo	
		7A	Recursos para el Programa	
		7B	Criterios para Manejar Interrupción de Trabajos	
		7C	Programa de Trabajo Diario	

Plano del Molino Semiautógeno SAG (cortesía de FLSmit)



Anexo 7

Fallas y Tareas a Realizar del Molino SAG (manual del molino)

Component	Task No.	PM Task	Inspected (✓) Note Repairs Required
Main Bearing Assembly, Thrust	001	Daily PM Tasks 1. Complete the daily PM tasks specified in the PM checksheet. 2. Correct all abnormal conditions observed and measured.	
	002	Grout 1. Check the condition of the bearing sole plate grout. 2. Arrange for repair of damaged and missing grout.	
	003	Hold-Down Fasteners 1. Check the torque of the main bearing and sole plate hold-down fasteners. 2. Tighten loose nuts as required.	
	004	Bearing Seals 1. Clean and inspect the bearing seals for damage, excessive wear, and leakage. Clearance between the seal and trunnion should be in the range of 0.15 to 0.30 mm (0.005 to 0.012 in). Signs of oil leakage may indicate a damaged seal or that the radial adjustment is incorrect. 2. Repair and/or adjust as required.	
	005	Lube Hoses 1. Clean and inspect the lubrication system hoses and fittings for damage and leakage. 2. Replace defective hose and fittings after shutting down and locking out the lube system.  These components are critical for correct and continuous operation of the mill.	
	006	Trunnion Surface 1. Inspect the trunnion for unusual signs of wear and abrasion. 2. Record observations.	
	007	Oil Sample Take an oil sample and submit it for analysis.	

Nota. Tareas de mantenimiento recomendadas por el fabricante del molino SAG. Fuente: obtenida de Manual de Usuario (FL Smidth, 2011).