

**TRABAJO DE GRADOS PRÁCTICAS ACADÉMICAS EN INGENIERÍA
MECÁNICA MINEROS S.A.**

IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO DE ANÁLISIS DE RCM

**AUTOR:
JUAN PABLO RÚA ÁLVAREZ**

**ASESOR INTERNO:
JUAN CARLOS ORREGO BARRENA**

**ASESOR EXTERNO:
JUAN FERNANDO CARMONA MESA**



**UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA
1803
FACULTAD DE INGENIERÍA**



**UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
GRUPO MINEROS
2018 – 02**

IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO DE ANÁLISIS DE RCM

Tabla de contenido

1	Resumen	4
2	Introducción.....	5
3	Objetivos.....	6
3.1	Objetivo general	6
3.2	Objetivos específicos.....	6
4	Marco Teórico	6
4.1	RCM.....	6
4.2	Normas SAE JA1011 Y JA1012.....	9
4.3	Causa Raíz.....	9
4.4	Etapa de molienda en el proceso de recuperación de oro en planta de beneficio.....	10
4.5	Molino de Bolas 8'x8'	12
5	Metodología	13
5.1	Alcance	13
5.2	Análisis previo.....	13
5.3	Grupo de Análisis	14
5.4	Análisis funcional	14
5.5	Análisis de los modos y efectos de falla	18
5.6	Proceso de selección de las estrategias de mantenimiento	18
6	Resultados y análisis.....	20
7	Conclusiones.....	21
8	Referencias Bibliográficas.....	22
9	Anexos	23
	ANEXO A. Diagrama de flujos de la planta beneficio (a)	23
	ANEXO B. Diagrama de flujo de la planta beneficio (b)	23
	ANEXO C. Norma SAE JA1011	23
	ANEXO D. Norma SAE JA1012	23
	ANEXO E. Análisis de criticidad planta beneficio.....	24
	ANEXO F. Cronograma de actividades	25
	ANEXO G. Sistema de partición del molino primario.....	26
	ANEXO H. Subsistemas del molino	27

IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO DE ANÁLISIS DE RCM

ANEXO I. Contexto operacional del molino 8'x8'	27
ANEXO J. Hoja de información RCM -Molino Primario.....	27

Tabla de figuras

Figura 1. Diagrama del intervalo PF.....	8
Figura 2.Molino 8'x8' utilizado en la etapa de molienda.	11
Figura 3.Esquema de la etapa de molienda y concentración gravimétrica.	12
Figura 4. Fases de la implementación de un RCM	14
Figura 5. Árbol de decisión.....	19

Tabla de tablas

Tabla 1. Listado de equipos principales de la planta de beneficio.....	10
Tabla 2. Características del molino de bolas planta beneficio.....	12
Tabla 3. Análisis sistemático del molino de bolas 8x8	16

IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO DE ANÁLISIS DE RCM

1 Resumen

En la búsqueda de un crecimiento rentable y sostenible el grupo empresarial MINEROS diseñó e implementó un plan estratégico para la cadena de abastecimiento que aplicara para hacer efectivo lo que ya tenía en ese entonces y que al mismo tiempo viabilizara la operación con el desarrollo esperado; en el marco de esto surgió la implementación de nuevas metodologías que ayuden a optimizar la inversión. Se decidió realizar un modelo de análisis RCM en algunos de sus equipos más críticos con el fin de analizar todas las posibilidades de fallo de un sistema y desarrollar mecanismos que traten de evitarlos, ya sean producidos por causas intrínsecas al propio equipo o por actos personales, además, determinar una serie de acciones que permiten garantizar una alta disponibilidad en la operación.

En la planta de beneficio de Operadora Minera se comenzó este proceso con el molino primario, un molino de bolas de dimensiones 8x8 ft el cual es considerado un equipo crítico ya que si éste falla pararía toda la producción, es el que más costos totales por reparaciones tiene en el mes y aporta la mayor indisponibilidad a la planta, factores importantes que se deseaban mitigar.

Como lo describe John Moubray en su libro RCM II, el RCM es un método empleado para determinar las necesidades de mantenimiento de cualquier activo físico en su contexto operacional, acorde a esto, durante el proceso se logró determinar tareas de mantenimiento, que posteriormente formarían un Plan de Mantenimiento, mejorar procesos operativos, tomar acciones de capacitación de personal y determinar el stock de repuestos que se requieren que permanezcan en la planta.

En vista de que la práctica académica tiene una duración de 6 meses se limitó el trabajo a servir como ente metodológico en la realización del análisis y la estructuración inicial de un plan de mantenimiento para el molino, es responsabilidad del personal de la empresa continuar con la retroalimentación al proceso y las respectivas auditorías para garantizar los mejores resultados.

IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO DE ANÁLISIS DE RCM

2 Introducción

El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM por sus siglas en inglés, *Reliability Centered Maintenance*) fue desarrollado inicialmente por la industria comercial de aviación para mejorar la seguridad y la confiabilidad de sus equipos. Desde entonces, RCM ha sido utilizado para ayudar a formular estrategias de mantenimiento de activos en casi todas las áreas de trabajo humano organizado y en caso todos los países industrializados del mundo. El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad se basa en asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que se desea que haga en su contexto operacional establecido.

Por esta razón la empresa MINEROS S.A., dedicada a la exploración, explotación y producción de oro y otros metales asociados por medio de actividades de minería aluvial y subterránea en los municipios de El Bagre, Nechí y Zaragoza, está trabajando en la implementación de dicho proceso para algunas de sus máquinas principales ya que la importancia de la operación requiere garantizar un funcionamiento permanente y controlado.

Esta metodología, como herramienta estructurada de análisis a partir de la información específica de los equipos y la experiencia de los usuarios, trata de determinar qué tareas de mantenimiento son las más efectivas, así mejorando la fiabilidad funcional de los sistemas relacionados con la seguridad y disponibilidad, previniendo sus fallos y minimizando el costo de mantenimiento.

En el presente documento se expondrá el acompañamiento por parte del practicante en la implementación de RCM al molino principal de la planta beneficio de Operadora minera, empresa encargada de la extracción subterránea.

La aplicación de RCM no es temporal, es un proceso dinámico y permanente, en el que los análisis deben ser validados a través del tiempo debido a que el contexto operacional, las funciones, los modos de falla, los efectos y las estrategias de manejo de las fallas, pueden cambiar por requerimientos diferentes de los activos, cambios en las competencias de los operadores o mantenedores y por modificaciones ambientales.

Dado que el acompañamiento del estudiante a la empresa, en modalidad de practicante, tiene una duración neta de 6 meses, se limita el proyecto al análisis inicial del equipo, la solución de las preguntas que plantea la metodología y la propuesta de un plan de mantenimiento basado en los resultados de dicho análisis, el cual se deberá retroalimentar permanentemente y modificar con forme las circunstancias lo requieran.

IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO DE ANÁLISIS DE RCM

3 Objetivos

3.1 Objetivo general

Realizar un análisis de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad en el molino de bolas 8'x8', sistema encargado de reducir la granulometría del mineral extraído de la mina, el cual pasa previamente por el área de trituración de la planta de beneficio de la empresa Operadora Minera del Grupo Mineros S.A.

3.2 Objetivos específicos

- Crear un equipo multidisciplinario para el análisis y desarrollo de la metodología.
- Recopilar la toda la información de mantenimiento y reparación del equipo en cuestión almacenada en el software SAP durante el último año (2017-2018).
- Levantar contexto operacional actual del equipo.
- Realizar el análisis funcional del molino de bolas 8'x8' de la planta beneficio.
- Definir las funciones del activo en su contexto operacional.
- Definir, con base en las funciones del equipo, las posibles fallas funcionales y los modos de fallas que se puedan asociar a cada una de estas fallas.
- Establecer los efectos y consecuencias de cada falla y la criticidad de estas con el fin de definir un orden jerárquico para precisar políticas de mantenimiento, revisar matriz de criticidad de la compañía y aplicarla.
- Proponer un plan de mantenimiento o estrategias de mantenimiento según resultados del análisis RCM realizado al molino de bolas de la planta beneficio.

4 Marco Teórico

4.1 RCM

Se puede definir el mantenimiento como el conjunto de disposiciones técnicas, medios y actuaciones destinados a conservar equipos e instalaciones industriales en servicio durante el mayor tiempo posible (buscando la más alta disponibilidad) y con el máximo rendimiento.

Durante los últimos años, el mantenimiento ha cambiado, quizás más que cualquier otra disciplina gerencial. Estos cambios se deben principalmente al enorme aumento en números y en variedad de los activos físicos (planta, equipamiento, edificaciones) que deben ser

IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO DE ANÁLISIS DE RCM

mantenidos en todo el mundo, diseños más complejos, nuevos métodos de mantenimiento, y una óptica cambiante en la organización del mantenimiento y sus responsabilidades.

El mantenimiento centrado en fiabilidad es un proceso utilizado con el fin de determinar que se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional, se basa en el análisis de fallos, tanto aquellos que ya han ocurrido, como los que se están tratando de evitar con determinadas acciones preventivas como por último aquellos que tienen cierta probabilidad de ocurrir y pueden tener consecuencias graves.

La primera industria en tener en cuenta esto fue la industria de la aviación civil internacional. Sobre la base de investigaciones que cambian muchas de las creencias más firmes y sostenidas respecto del mantenimiento, esta industria desarrolló un marco estratégico completamente nuevo de manera que cada activo continúe haciendo aquello que sus usuarios quieren que haga. Esta metodología se conoce dentro de la industria de la aviación como MSG3, y fuera de esta como Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, o RCM.

El objetivo del RCM es desarrollar una serie de políticas que preserven las funciones del activo o sistema considerado en los estándares de desempeño aceptables para el usuario o dueño. Cualquier proceso RCM debe asegurarse de responder satisfactoriamente las siguientes siete preguntas y, además, ser respondidas en el orden que se muestran.

1. ¿Cuáles son las funciones deseadas y los estándares de desempeño asociados al activo en su contexto operacional (funciones)?
2. ¿De qué manera puede fallar al cumplir sus funciones (fallas funcionales)?
3. ¿Qué causa cada falla funcional (modos de falla)?
4. ¿Qué pasa cuando ocurre cada falla funcional (efectos de falla)?
5. ¿De qué manera afecta cada falla (consecuencias de falla)?
6. ¿Qué se debe hacer para predecir o prevenir cada falla (áreas proactivas e intervalos de tareas)?
7. ¿Qué se debe hacer si una tarea proactiva que conviene no está disponible (acciones predeterminadas)?

Algunos conceptos importantes para tener en cuenta en el desarrollo del RCM son:

- **Contexto Operacional**

La definición del Contexto Operacional de cualquier activo físico típicamente incluye una descripción global y breve de cómo se

IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO DE ANÁLISIS DE RCM

espera que sea utilizado ese activo, donde se utilizará y los aspectos claves para definir los criterios de desempeño.

- **Función**

La función primaria es la que constituye la función principal por la que el activo físico o sistema es adquirido por su dueño o usuario. Adicionalmente, las funciones secundarias son las que un activo físico o sistema tiene que cumplir a parte de sus funciones primarias, tales como aquellas que se necesitan para cumplir con los requerimientos regulatorios y aquellas a las cuales conciernen los problemas de protección, control, contención, confort, apariencia, eficiencia de energía e integridad estructural.

- **Falla Funcional**

Es la incapacidad total o parcial de cumplir con el estándar de desempeño definido. Cuando un activo deja de cumplir con la función, sin embargo, no necesariamente significa que deje de producir. Es un síntoma o evento observable por el personal de producción y mantenimiento.

- **Modo de Falla**

Un evento físico único que causa una falla funcional.

- **Intervalo P-F**

Se puede considerar como la cantidad de tiempo o el número de ciclos de esfuerzo que transcurre entre el punto en el cual ocurre la falla potencial (identificable) y el punto en que se da la falla funcional. El intervalo P-F rige la duración de tiempo disponible para

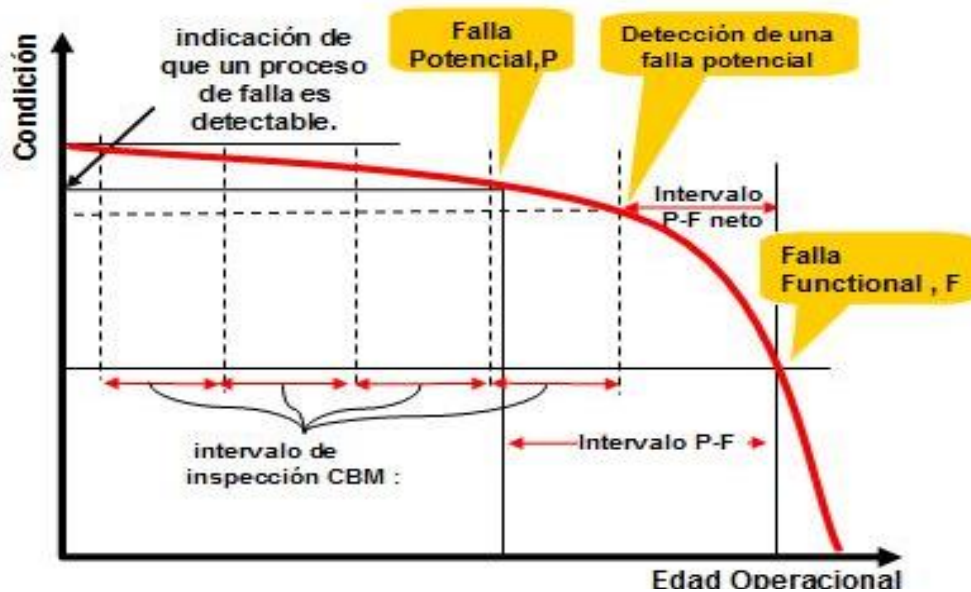


Figura 1. Diagrama del intervalo PF

IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO DE ANÁLISIS DE RCM

tomar cualquier acción necesaria con la finalidad de reducir o eliminar las conciencias del modo de falla. En la *Figura 1* se puede observar la línea de vida útil de un elemento o equipo.

4.2 Normas SAE JA1011 Y JA1012

Como resultado de que el uso extendido del término “RCM” ha llevado a enaltecer un número de procesos que difieren significativamente del original, pero que sus defensores los llaman también “RCM” y que, adicionalmente, muchos de estos otros procesos fallan en el logro de las metas del proceso original, ha habido un crecimiento de la demanda internacional por una norma que imponga los criterios que cualquier proceso deba cumplir para ser llamado “RCM”. Estas normas contemplan esa necesidad. Los criterios en estas normas SAE están basados en los procesos RCM y los conceptos de tres documentos de RCM: (1) Libro de 1978 de Nowlan and Heap “*Reliability-Centered-Maintenance*”, (2) MIL-STD-2173(AS) de la Aviación naval de U.S (*Reliability-Centered-Maintenance Requirements of Naval Aircraft, Weapons Systems and Support Equipment*) y su sucesor, U.S. Naval Air Systems Command Management Manual 00-25-403 (*Guidelines for the Naval Aviation Reliability-Centered Maintenance Process*), y (3) “*Reliability-Centered Maintenance (RCM 2)*,” por John Moubray. Estos documentos son considerados como los documentos sobre RCM disponibles más ampliamente usados y aceptados.

La norma SAE JA1011 describen los criterios mínimos que cualquier proceso debe cumplir para ser llamado “RCM”. Mientras que la SAE JA1012 amplía, y cuando es necesario aclara, los conceptos y términos clave, especialmente aquellos que son exclusivos de RCM. Es indispensable tener en cuenta que ninguna de estas normas intenta definir un proceso específico de “RCM” ni pretenden ser un manual o una guía de procedimientos para realizar RCM.

Como material de soporte para el presente trabajo se presentan las normas SAE JA1011 y JA1012 en los anexos C y D, respectivamente.

4.3 Causa Raíz.

El término “Causa raíz” es comúnmente utilizado en conexión con el análisis de la falla. Implica que si uno ahonda lo suficiente es posible llegar a un nivel causal final y absoluto, de hecho, por lo general esto no ocurre.

Es claro que el proceso de seguir descendiendo podría continuar ilimitadamente, mucho allá del punto en que la organización que realiza un análisis de modos de fallas y efectos (AMFE) tiene control sobre los modos de falla. Por esto, se enfatiza que el nivel al que debería ser identificado un modo de falla es aquel en el cual es posible identificar una política apropiada para el manejo de la falla. (esto es válido tanto si

IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO DE ANÁLISIS DE RCM

se está llevando un AMFE antes de que ocurra la falla como se hace un “análisis de causa raíz” después de que ocurrió la falla.)

El hecho de que el nivel apropiado varía para los distintos modos de falla muestra que en la hoja de información o debemos listar todos los modos de falla al mismo nivel. Algunos podrían ser identificados en el nivel 2 otros en el nivel 7 y el resto en algún nivel intermedio.

Evidentemente, para poder detenerse en un nivel apropiado, la gente que participa de este tipo de análisis necesita conocer la totalidad de las opciones de políticas de manejos de fallas.

4.4 Etapa de molienda en el proceso de recuperación de oro en planta de beneficio

Operadora Minera procesa mineral en su planta de beneficio con capacidad de procesamiento de 450 toneladas métricas por día provenientes de las minas Mangos y La Ye. La planta de proceso incluye los procesos de trituración, molienda y concentración gravimétrica, cianuración intensiva, concentración por flotación, pretratamiento y cianuración convencional de concentrados, filtrado y destoxificación, precipitación por Merrill-Crowe y Fundición. El diagrama de flujo de la planta de beneficio se observa en los anexos A y B.

En la *Tabla 1* se presenta un listado de los equipos principales que integran la planta beneficio con sus respectivos procesos.

Tabla 1. Listado de equipos principales de la planta de beneficio

Proceso	Equipo	Cantidad	Tamaño	Marca
Trituración	Trituradora de mandíbula primaria	1	500x900	
	Zaranda vibratoria No. 1	1		TRUEMAX
	Trituradora cónica secundaria	1	3 FTS/STD	SYMONS
	Zaranda vibratoria No. 2	1		TRUEMAX
	Trituradora cónica terciaria	1	4-1/4 FTS/SH	SYMONS
Molienda y Concentración Gravimétrica	Molino de Bolas	1	8x8 Ft	FIMA
	Hidrociclones	1	D6	ICBA
	Concentradores gravimétricos	3		FALCON, KNELSON
Flotación	Celda Flash	1		OUTOTEC
	Celda Unitaria	1	2,4 x 2 Ft	
	Celda TanKcell	1		OUTOTEC
	Celda Nacional	1	10 ft	
	Celda Cleaner	1	5 m3	WEMCO
	Celda Rougher	1	10 m3	WEMCO
	Celda Scavenger	1	10 m3	WEMCO
	Molino de Bolas	1	5x8 Ft	FIMA

IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO DE ANÁLISIS DE RCM

Pretratamiento y Cianuración Convencional	Hidrociclones	1	D3	ICBA
	Espesadores DCT's	3	3x9m, 8x13m	
	Espesadores High Rate	2		OUTOTEC
	Agitadores	7	14x14 Ft	
Filtrado y Detoxificación	Filtro Prensa	1	M900	SHRIVER
	Agitadores	9		
Merrill Crowe	Filtro prensa de clarificado	3	M630	SHRIVER
	Torre de Vacío	2		
	Filtro prensa de Precipitado	3	M630 (2)	SHRIVER
Cianuración Intensiva	Reactor IRL	1		GEKKO
Fundición	Horno de Fundición	1		
	Mesa Gemeni	1		

La etapa de molienda comienza a partir de la tolva de finos donde se encuentra almacenado el mineral triturado, el cual es dosificado mediante un alimentador vibratorio a la banda transportadora N°7 la cual alimenta al molino de bolas de 8'x8' (Figura 2) que también recibe la descarga del nido de hidrociclones primarios (compuesto por 5 hidrociclones D-6) y el producto grueso de la zaranda de alta frecuencia.



Figura 2. Molino 8'x8' utilizado en la etapa de molienda.

La descarga del molino junto con las colas de los concentradores gravimétricos *Falcon SB-750* y *Knelson* son bombeadas a la celda de flotación flash *SK-240*, las espumas (el concentrado) de esta flotación pasan a una etapa de concentración gravimétrica en un *Falcon SB400*.

El bajo flujo de la celda de flotación flash es bombeado hacia la etapa de clasificación en el nido de hidrociclones primarios y aproximadamente una quinta parte caerá a la zaranda de alta frecuencia. El producto fino

IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO DE ANÁLISIS DE RCM

(sobre flujo) del nido de hidrociclones alimenta por gravedad a la etapa de flotación, mientras que el producto grueso (bajo flujo) es enviada directamente como alimentación del molino. En la siguiente figura se puede observar el diagrama de flujo de la etapa de molienda y concentración gravimétrica.

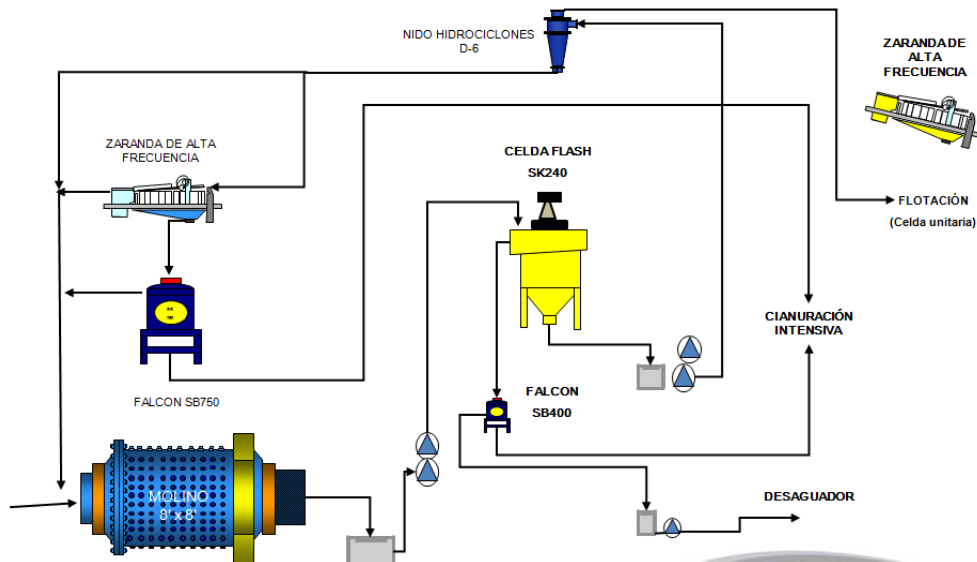


Figura 3. Esquema de la etapa de molienda y concentración gravimétrica.

4.5 Molino de Bolas 8'x8'

El molino de bolas es el encargado de reducir la granulometría del mineral que viene del área de trituración (silo de finos) o que fue clasificado como grueso por la zaranda de alta frecuencia y sobre flujo de concentrador gravimétrico. El funcionamiento consiste en un cilindro el cual gira sobre dos chumaceras en *babbitt* y que en su interior lleva el material y bolas de diversos tamaños. Al girar el molino genera movimiento en las bolas las cuales impactan contra el mineral reduciendo el tamaño de las partículas.

En la *Tabla 2* se pueden observar las propiedades del molino de bolas 8'x8' con el que cuenta la planta beneficio de Operadora Minera.

Tabla 2. Características del molino de bolas planta beneficio.

Especificaciones del Molino 8ftX8Ft.	
Potencia	400HP
RPM	20.5
Flujo de alimentación fresca	18 ton/hora material seco
Carga Circulante	520%
Densidad de la pulpa	1940g/lit.
Volumen de carga de bolas	35%
F80	5mm

IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO DE ANÁLISIS DE RCM

P80	150µm
% velocidad critica	78%
Consumo actual de Bolas	1900g/ton
Secuencia de recarga Kg/día	1.9 veces lo molido en toneladas/día=Kilos de bolas a reponer/día.
Composición granulométrica de la recarga	60% de Ø2.5", 25% de Ø3" y 15% de Ø2".
Índice de Bond	16,2KW/Ton

5 Metodología

5.1 Alcance

El alcance de la implementación de un análisis centrado está orientado a la aplicación RCM, cumpliendo con las normas SAE JA1011 y JA1012, para la entrega de:

- Tareas de mantenimiento y acciones de mejora a los procesos de mantenimiento.
- Información para la obtención de las frecuencias de acuerdo la metodología RCM.
- Lista de repuestos, entrenamientos, procedimientos y rediseños recomendados.

5.2 Análisis previo

Antes de comenzar el análisis de las necesidades de mantenimiento de los activos de una organización es fundamental conocer que tipos de activos físicos existen y decidir cuáles son los que deben someterse al proceso de revisión del RCM.

Para esto se realiza un análisis de criticidad, en este caso la empresa ya contaba con uno, en el cual su principal criterio fue encontrar que equipos, en caso de fallar, paran por completo la planta beneficio.

Con base en esto, y teniendo en cuenta otros criterios como lo fueron el número de horas que paraba el equipo por paros no programados, la cantidad de paradas al mes, el MTBF (tiempo medio entre fallas), MTR (tiempo medio de reparación de una falla), entre otros, se decidió iniciar el análisis de RCM para la planta beneficio con su molino primario, un molino de bolas cuyas dimensiones son 8x8 ft, marca FIMA que se encuentra en la etapa de molienda.

En el *anexo E* se presenta este análisis de criticidad.

En la *Figura 4* se exhibe un breve flujograma de las fases que se llevan a cabo en la implementación de un RCM, comenzando desde la formación de un grupo de análisis hasta la aplicación de la lógica del RCM.

IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO DE ANÁLISIS DE RCM

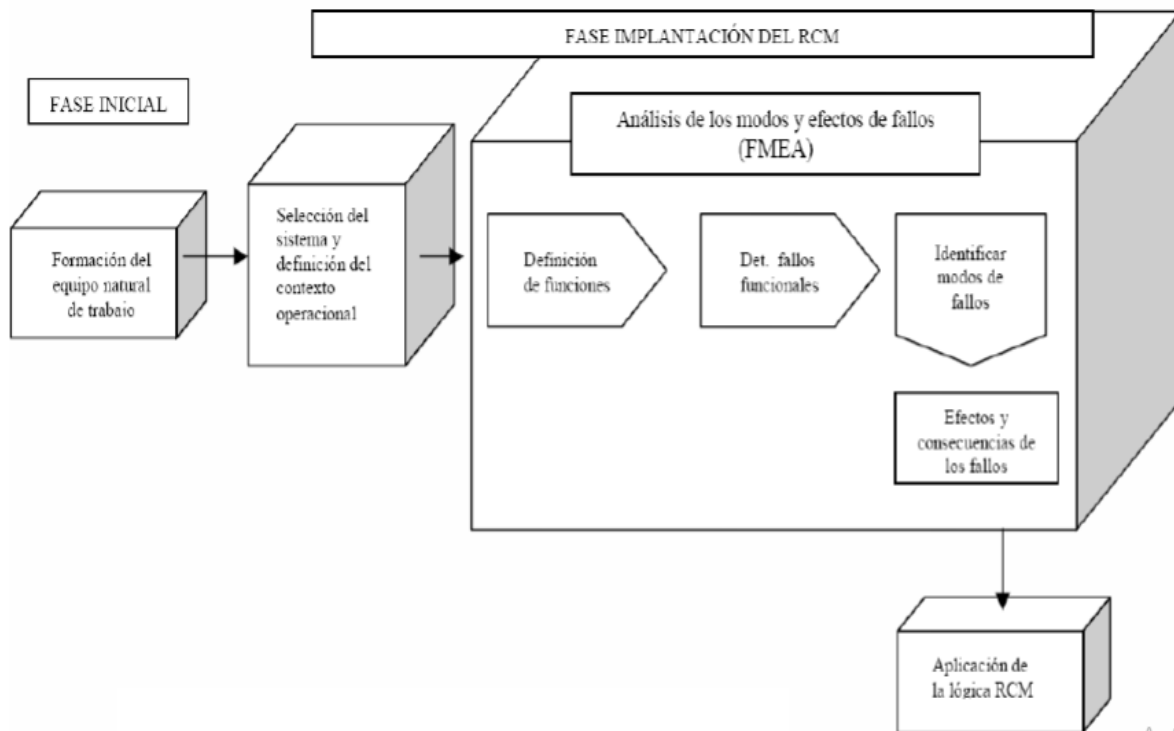


Figura 4. Fases de la implementación de un RCM

Siguiendo este esquema secuencial se realizó un cronograma dinámico con los pasos a seguir en unos tiempos estipulados para la elaboración de este análisis. Adicionalmente, este cronograma realiza una comparación entre el tiempo de ejecución real y el esperado.

En el *anexo F* se presenta una visualización de este cronograma, el cual se encuentra originalmente en el archivo de Excel “hoja de implementación del RCM” que se puede encontrar en el *anexo J* del presente documento.

5.3 Grupo de Análisis

Es necesario, con el fin de asegurar todos los puntos de vista, crear un equipo natural de trabajo multidisciplinario que esté en la capacidad de dar respuesta a las 7 preguntas planteadas por la metodología.

El equipo encargado de llevar a cabo este proceso fue cuidadosamente seleccionado de acuerdo con las necesidades del proceso y estaba conformado por:

- Juan Fernando Carmona - **Facilitador de la metodología:**

Ingeniero encargado del área de confiabilidad y lubricación del grupo empresarial MINEROS S.A. Cuenta con un curso enfocado a facilitadores de la metodología RCM

IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO DE ANÁLISIS DE RCM

- Juan Pablo Rúa Álvarez - **Facilitador de la metodología:**

Estudiante en práctica con énfasis en el desarrollo de la metodología RCM.

- Gabriel Montoya – **Jefe global de mantenimiento mecánico:**

Ingeniero jefe de mantenimiento del área mecánica de todo el grupo empresarial MINEROS S.A., con amplia experiencia en la empresa y alto conocimiento de la maquinaria de Operadora Minera, además cuenta con un curso de implementación de RCM.

- Jeison Velázquez – **Jefe mantenimiento eléctrico:**

Ingeniero eléctrico jefe del mantenimiento eléctrico de Operadora Minera.

- Alejandro Vélez – **Jefe mantenimiento mecánico:**

Ingeniero encargado de la jefatura del mantenimiento mecánico de Operadora Minera

- Marco Arteaga – **Ingeniero de proceso:**

Jefe supervisor de operadores de la planta beneficio de Operadora Minera

- Fabian Camilo Sánchez – **Ingeniero de proceso:**

Jefe supervisor de operadores de la planta beneficio de Operadora Minera

- Jorge Enrique Gil - **Programador de mantenimiento:**

Ingeniero encargado de la planeación del mantenimiento del grupo empresarial MINEROS S.A. cuenta con amplio conocimiento de la metodología RCM y de los procesos de mantenimiento que se llevan a cabo en la empresa.

- Carlos esteban López - **Ingeniero de diseño:**

Ingeniero mecánico encargado de la jefatura del área de diseño del grupo empresarial MINEROS S.A.

5.3.1 Roles de los integrantes del equipo de trabajo

- Facilitador: es una persona clave en el equipo de trabajo, guía y conduce el proceso de implementación del RCM, además de asegurar que se realice de forma ordenada y efectiva.
- Ingeniero de procesos: debe tener una visión global del funcionamiento de la planta beneficio, sus especificaciones técnicas y es un integrante clave ya que es quien está en contacto directo con el proceso.

IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO DE ANÁLISIS DE RCM

- Programador de mantenimiento: tiene conocimiento claro de los procesos de mantenimiento que se realizan actualmente en la empresa y de la capacidad y limitaciones con la que cuenta la empresa para realizar cambios en el plan de mantenimiento de determinado activo.

En consenso con todo el grupo de trabajo se decidió realizar una reunión semanal los martes de 1:30 a 5:00 pm en las instalaciones de Operadora Minera. Con la ayuda de los facilitadores se esperaba avanzar con eficacia y poder realizar el proceso en el plazo de 6 meses, que es lo que se tenía proyectado por las directivas de la empresa.

5.4 Análisis funcional

Luego de la selección del equipo se realizó un análisis funcional donde se determinó su composición, los elementos de nivel inmediatamente inferior, los subsistemas, los componentes y las partes o piezas de estos.

En la *Tabla 3* se puede observar la composición determinada para el molino de bolas 8'x8', esta fue organizada jerárquicamente y acoplada a una estructura de árbol pura que fue la que se agregó a la hoja de información del RCM.

En los *anexos G y H* se puede ver la organización final del sistema de partición del molino primario donde aparecen los sistemas, subsistemas, componentes y piezas del equipo.

Luego de definir la partición del equipo se recopiló toda la información necesaria para elaborar un contexto operacional claro y detallado del sistema a evaluar. Con esta información se elaboró un documento que expone las especificaciones del molino, los datos técnicos, el funcionamiento, las condiciones operativas y algunos datos del proceso y del circuito, además, de una corta explicación de la composición sistemática del molino. Este documento se presenta en formato pdf en el *anexo I*.

Tabla 3. Análisis taxonómico del molino de bolas 8x8

Molino de bolas 8x8 (604041)			
Sistema	Subsistema	Componente	Pieza
Sistema de Transmisión principal	Motor electrico US Motor 400HP-1760RPM	Acople de alta tipo rejilla 1100-T10	Rejilla
	Caja reductora paramax PHD9070	Acople de baja tipo rejilla 1140-T10	Manzanas Rejilla
	Sistema del contra eje	Apoyos de eje	Rodamientos
			Manguitos de fijación
			Cajas de rodamientos
			Sellos
	Eje piñon de ataque	Eje Piñon de ataque	
	Catalina o rueda dentada	Conjunto rueda dentada	Catalina
	Cubierta de catalina	Elementos de fijación	Tornillos
		Cubierta superior	N.A
	Cubierta inferior	N.A	

IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO DE ANÁLISIS DE RCM

Sistema de lubricación	Lubricación trunnión lado alimentación	Chumacera muñon lado flotante	Depósito de lubricante Casquete de babbit Sellos de aceite
		Conjunto rascador de lubricante	Bandeja rascador de aceite Soporte rascador de aceite Hoja rascador de aceite
		Conjunto de tuberías e indicador de nivel de lubricante	Tuberías de drenaje Indicador de nivel de aceite
		Conjunto de bombeo manual	Bomba manual Farval
	Lubricación trunnión lado descarga	Chumacera muñon lado fijo	Depósito de lubricante Casquete de babbit Sellos de aceite
		Conjunto rascador de lubricante	Bandeja rascador de aceite Soporte rascador de aceite Hoja rascador de aceite
		Conjunto de tuberías e indicador de nivel de lubricante	Tuberías de drenaje Indicador de nivel de aceite
		Conjunto de bombeo manual	Bomba manual Farval
	Lubricación piñon-catalina	Bandeja de alimentación de lubricante	
	Sistema de molienda	Cabezal de alimentación tipo tambor	Conjunto alimentador tipo spoud
Cabezal / muñon lado apuesto al engranaje			Forro del muñon lado carga
			Muñon
			Rotula chumacera lado flotante
Set de forros del cabezal de alimentación			Forro tipo 405
Anillo de ajuste de cabezal			N.A.
Goma de respaldo en caucho de 1/4"		N.A.	
Casco cilindrico		Casco	Tapas del paso hombre
		Set de forros del casco	Forros tipo 400, 401, 402, 403 y 404
		Goma de respaldo en caucho de 1/4"	N.A.
Cabezal de descarga tipo tambor		Conjunto cernidor o trommel	Trommel Bandeja descarga tormmel
		Cabezal / muñon lado engranaje	Forro del muñon lado descarga
			Muñon
		Set de forros del cabezal de descarga	Forro tipo 405
		Goma de respaldo en caucho de 1/4"	N.A.
Sistema eléctrico y de control		Variador de frecuencia	Variador power flex 700 de 500HP
	Tablero de control y potencia	Cableado de potencia	N.A.
		Interruptor principal	N.A.
		Fusibles 450Amp.	N.A.
	Sensores e instrumentos	Sensor de temperatura muñon	N.A.

IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO DE ANÁLISIS DE RCM

5.5 Análisis de los modos y efectos de falla

Con base en el contexto operacional ya definido se procedió a precisar las funciones del equipo, tanto la principal como sus funciones secundarias, con los respectivos estándares de desempeño.

Estas funciones se plasmaron en un archivo de Excel llamado "Hoja de información de RCM -Molino Primario", en la hoja "Formato RCM", la cual fue usada como plantilla base para la realización del análisis, este archivo se presenta en el *anexo J* del documento.

Una vez definidas las funciones el siguiente paso es localizar como este activo deja de cumplir dichas funciones, para esto se encontraron las diferentes fallas funcionales que podría tener cada función.

Los fallos funcionales tienen causas físicas que originan la aparición de las mismas, estas causas son lo que la metodología RCM define como *modos de fallos*. Para encontrar todos los modos de falla posibles, de cada una de las fallas funcionales ya definidas, se consultaron listas genéricas de modos de fallo establecidas por la norma para este tipo de activos, se consultó con el personal de operación y mantenimiento que ha tenido un contacto directo y permanente con el equipo, se consultaron los manuales de uso y mantenimiento del activo y finalmente se examinaron los registros e historiales técnicos de mantenimiento.

Luego de esto se identificó lo que sucedería en el contexto operacional cuando ocurra el modo de fallo previamente hallado. A esto se le llama *los efectos y consecuencias de los modos de falla*. Los efectos del modo de falla deberán incluir toda la información necesaria que ayude a soportar la evaluación de las consecuencias de las fallas.

5.6 Proceso de selección de las estrategias de mantenimiento

Para la selección del tipo de actividad de mantenimiento se usa una herramienta diseñada por el RCM, el *árbol lógico de decisiones del RCM*, que permite seleccionar el tipo de actividad de mantenimiento más adecuada para evitar los posibles efectos de cada modo de falla. En la *Figura 5* se muestra el árbol lógico de decisiones que propone John Moubray en su libro *RCM II*, que fue el utilizado en este caso.

IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO DE ANÁLISIS DE RCM

Un Algoritmo de Decisión MCC

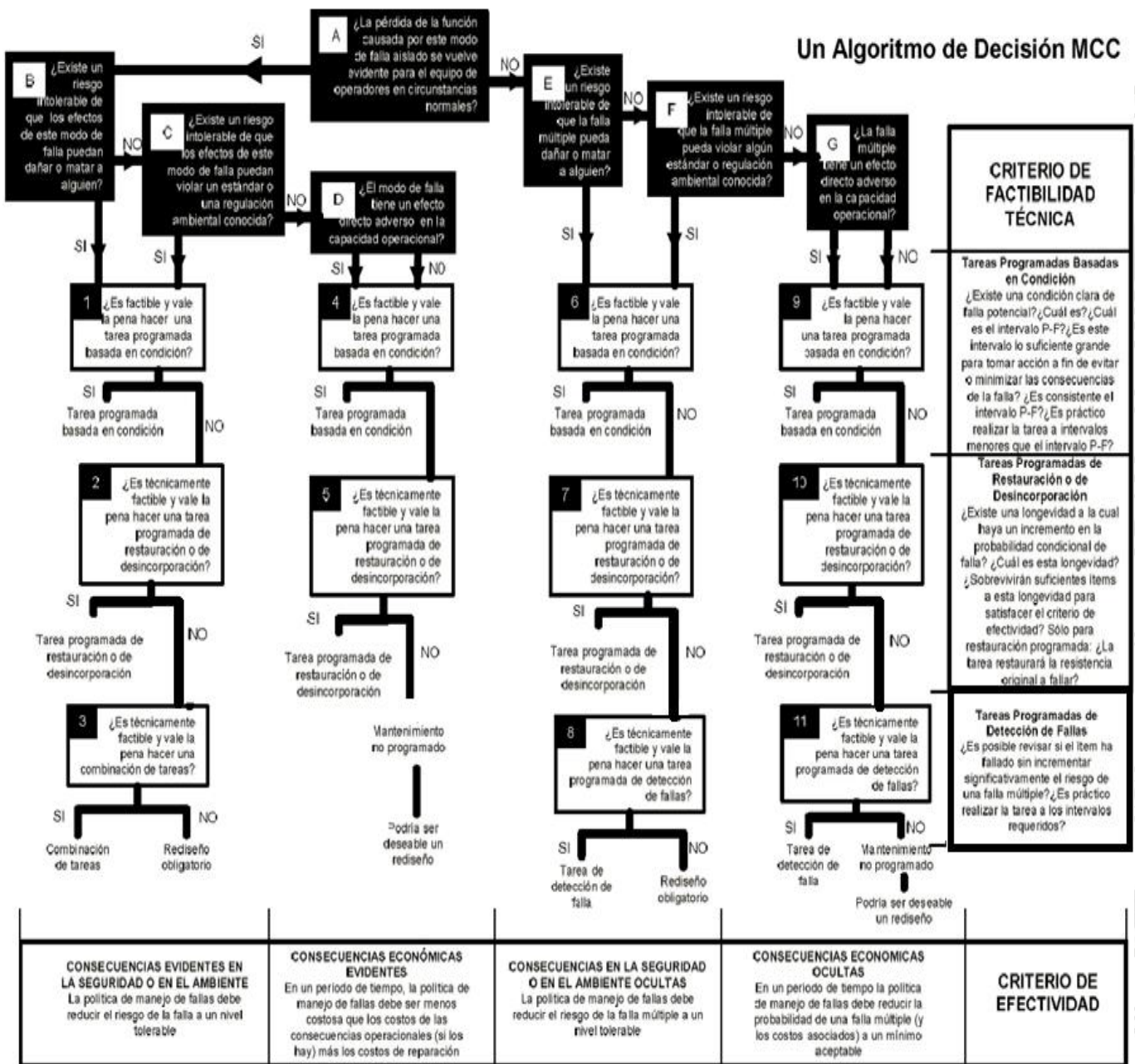


Figura 5. Árbol de decisión.

Este árbol se usa como un algoritmo de decisión por el cual pasan cada uno de los modos de falla anteriormente hallado. Se comienza respondiendo la pregunta situada en la casilla "A" y dependiendo de la respuesta se toma el camino que indica el árbol realizando cada una de las preguntas siguientes hasta llegar a un criterio de factibilidad técnica. Posteriormente se determina la acción de mantenimiento a ejecutar asociada al criterio de factibilidad con su respectiva frecuencia de ejecución.

Luego de realizar este proceso para todos los modos de falla se elaboró un plan de mantenimiento estratégico teniendo en cuenta uno de los

IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO DE ANÁLISIS DE RCM

principales objetivos del RCM, evitar o al menos reducir las posibles consecuencias a la seguridad humana, el ambiente y a las operaciones.

Este plan de mantenimiento cuenta con las acciones que se deben realizar, si se requiere el paro del equipo, el personal necesario para realizar la tarea, la frecuencia con la que se debe hacer, el tiempo que dura y los recursos necesarios. Hubo algunas acciones con las cuales no se contaba la información necesaria para determinarlas, por esto salieron una serie de compromisos para los integrantes del equipo de trabajo que se expusieron en un acta final entregada junto con la información completa del análisis, dicha acta se puede encontrar en el *anexo J*.

6 Resultados y análisis

Con base en cronograma planteado para la implementación del RCM en el molino de bolas primario de la planta beneficio (*anexo F*) se cumplió con la totalidad de las actividades esperadas en el tiempo indicado.

Los resultados más relevantes de la práctica se evidencian en el *anexo I* donde se presenta el contexto operacional completo del molino de bolas con sus respectivos parámetros de funcionamiento y una breve descripción de los subsistemas que lo compone.

Adicional a este, en el *anexo J*, que es un archivo en formato de Excel, se entrega a la empresa el sistema de partición del molino, el formato de RCM que cuenta con las fallas funcionales, los modos de falla y los efectos y consecuencias de las fallas.

Finalmente se presenta el formato del plan de mantenimiento, el cual se le entrega al planeador de mantenimiento que se encargará de estructurarlo en la ruta de mantenimiento de acuerdo con las frecuencias establecidas y los requerimientos tanto de personal como de recursos materiales.

Asimismo, cabe resaltar que se generaron una serie de compromisos individuales, para los miembros del equipo, que se deberán ejecutar antes de una fecha estipulada en la cual se reunirán nuevamente para complementar y revisar el plan ya estructurado. Estos compromisos se encuentran en una hoja del *anexo J* donde se presenta el acta final del análisis.

Un análisis RCM, como se mencionó anteriormente, es un proceso de retroalimentación permanente y cambio continuo, al cual se le debe hacer un seguimiento oportuno y una auditoría constante con el fin de validar su eficacia y adaptarlo a las nuevas condiciones que se vayan presentando. Esta tarea, debido al tiempo limitado en el cual se desarrolla la práctica del estudiante, queda a cargo del personal de la empresa y deberá ser reportado al área de Ingeniería y planeación de mantenimiento (IPM) para su validación.

7 Conclusiones

- El RCM es un proceso de mucho cuidado en el cual se deben analizar todos los aspectos que lo componen y tener un acompañamiento constante del grupo de trabajo en donde la totalidad de los integrantes deben poseer un conocimiento profundo de la metodología y contar con un asesor experto en el tema para poder guiar el análisis por buen camino.
- Se debe soportar más el contexto operacional presentado en el informe puesto que este es la base de todo RCM, un buen contexto operacional permite tener claro el desempeño esperado del equipo y definir el alcance del proyecto.
- Un correcto análisis del histórico de mantenimiento debe ser el punto de partida para realizar un proceso de implementación de RCM, este sirve como soporte y ayuda a tener clara la meta a la cual se espera llegar, no se recomienda realizar este proceso sin tener un objetivo claro ya que es largo y tedioso, se puede fácilmente desviar el camino y no culminar en un buen plan de mantenimiento.
- Este trabajo se presenta como un ejercicio práctico en el cual se demuestra que la implementación de la metodología no se debe tomar a la ligera, se recomienda profundizar más en el análisis realizado para el molino de bolas ya que este informe no contiene los documentos necesarios para soportar la efectividad del ejercicio.
- La implementación de RCM sobre un equipo es de constante seguimiento, de retroalimentación y que está expuesta a cambios por lo que se debe realizar un seguimiento pertinente incluso después de culminado el análisis inicial, el periodo de duración de la práctica académica no es suficiente por lo que el alcance de este informe se ve limitado y se recomienda llevarlo más a fondo y con una pericia mayor.

IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO DE ANÁLISIS DE RCM

8 Referencias Bibliográficas

- International Organization for standardization. (1999). industrias de petróleo y gas natural - Recolección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos. *ISO 14224*.
- Márquez, C. P., & Másrquez, A. C. (2018). *Introducción a la gestión de activos. Integración con las Técnicas de Ingeniería de Confiabilidad y Mantenimiento*. España.
- MINEROS S.A. (2014). *Partes del Molino de bolas*. Empresarial, El Bagre - Antioquia.
- Moubray, J. (2004). *RCM II - Mantenimiento Centrado en Confiabilidad*. Buenos Aires, Argentina - Madrid, España : Ellmann, Sueiro y Asociados .
- SAE INTERNATIONAL . (1999). Evaluation Criteria Raliability-Centered Maintenance (RCM) Processes. *Norma SAE JA1011: SURFACE VEHICLE / AEROSPACE STANDAR* .
- SAE INTERNATIONAL. (2002). A Guide to the REliability-Centered Maintenance (RCM) standard. *Norma SAE JA1012: SURFACE VEHICLE / AEROSPACE RECOMMNEDED PRACTICE*.
- Hoyos, O. (2011). Diagrama del intervalo PF [Figura 1]. Recuperado de <http://www.livingreliability.com/wordpress/posts/¿es-el-intervalo-pf-una-distraccion/>

9 Anexos

ANEXO A. Diagrama de flujos de la planta beneficio (a)

Documento anexo en pdf.

ANEXO B. Diagrama de flujo de la planta beneficio (b)

Documento anexo en pdf.

ANEXO C. Norma SAE JA1011

Documento anexo en pdf.

ANEXO D. Norma SAE JA1012

Documento anexo en pdf.



IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO DE ANÁLISIS DE RCM

ANEXO E. Análisis de criticidad planta beneficio.

ANÁLISIS DE AVERÍAS							ANÁLISIS DE COSTOS POR ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO								
CODIGO SAP	EQUIPO	NPI (horas)	# de paradas	Tiempo posible (horas)	MTTR (horas)	MTBF (horas)	\$ Mito correctivo (COP)	% (COP)	\$ Mito correctivo programado (COP)	% (COP)	\$ Mito preventivo (COP)	% (COP)	\$ Mito predictivo (COP)	% (COP)	Total costos (COP)
604041	MOINO DE BOLAS 8X8 FIMA	122	118	38.765	1.0	329.5	40.742.516	3%	612.656.995	39%	913.343.735	58%	177.238	0%	1.566.920.484
604054	CELDA DE FLOTACIÓN FLASH SK-240 OUTOTEC	100	120	38.765	0.8	323.0	24.312.040	5%	187.329.750	42%	230.813.019	52%	203.326	1%	442.658.135
604112	MOINO DE BOLA 5X8 FIMA	70	38	38.765	1.8	1.020.1	6.650.102	8%	69.641.742	82%	7.847.474	9%	876.033	1%	85.015.351
604138	FILTRO PRENSA M900FB SHRIVER	28	9	38.765	3.1	4.307.2	22.426.164	11%	174.573.175	85%	8.678.080	4%	32.534	0%	205.709.953
604144	BOMBA VER BVM 2-1/2X24 ESP/ASA	25	8	38.765	3.1	4.845.6	7.734.259	20%	20.330.473	52%	10.763.034	28%	15.125	0%	38.842.891
604141	ESPESADOR ESTÁTICO 3.5x12MT	12	6	38.765	2.0	6.460.8	758.688	4%	18.304.741	96%	0	0%	0	0%	19.063.429
604227	BOMBA VER BVM 2-1/2X36 ESP/ASA	9	3	38.765	3.0	12.921.7	2.061.476	7%	11.307.687	40%	14.657.851	52%	0	0%	28.027.014
604037	BANDA TRANSPORTADORA DISMET No.07	5	12	38.765	0.4	3.230.4	2.769.373	21%	8.315.758	63%	2.148.486	16%	63.280	0%	13.296.897
604035	ALIMENTADOR VIBRATORIO 628 ERIZ	4	4	38.765	1.0	9.691.3	398.174	1%	43.505.144	77%	12.777.307	23%	0	0%	56.680.625
604153	ESPESADOR 3x9m DORR-OLIVER EIMCO DCT3	3	3	38.765	1.0	12.921.7	433.688	1%	121.482.311	93%	8.024.687	6%	157.198	0%	130.097.884
604146	ESPESADOR 3x9m DORR-OLIVER EIMCO DCT2	2	2	38.765	1.0	19.382.5	355.693	2%	22.699.556	92%	1.316.165	5%	168.647	1%	24.540.061
604122	BOMBA PER SPX-65 BREDEL No.01	2	1	38.765	2.0	38.765.0	33.772.146	44%	18.262.659	24%	24.165.327	32%	14.606	0%	76.214.738
604142	BOMBA PER SPX-65 BREDEL No.02	2	2	38.765	1.0	19.382.5	10.907.081	13%	25.493.583	32%	42.979.457	54%	459.829	1%	79.839.950
604195	BOMBA PIS HMD-G-32-0250 ABEL	1	3	38.765	0.3	12.921.7	38.935	0%	46.305.819	53%	41.231.339	47%	15.471	0%	87.591.564
604134	BANDA TRANSPORTADORA DISMET No.08	0	0	38.765	0.0	0.0	72.887	0%	36.002.337	92%	2.938.945	8%	19.530	0%	39.033.699
604120	ATRICKIONADOR WEMCO	0	0	38.765	0.0	0.0	61.131	0%	64.022.019	96%	2.394.764	4%	75.070	0%	66.552.984
604189	ESPESADOR HIGH RATE OUTOTEC No.02	0	0	38.765	0.0	0.0	505.642	1%	32.900.745	91%	2.761.778	8%	157.258	0%	36.325.423

IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO DE ANÁLISIS DE RCM

ANEXO F. Cronograma de actividades

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES IMPLEMENTACIÓN RCM MOLINO DE BOLAS 8x8			AVANCE REAL: 100%								AVANCE ESPERADO: 100%							
Actividad	Descripción	Estado de la actividad	Septiembre				Octubre				Noviembre				Diciembre			
			Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8	Semana 9	Semana 10	Semana 11	Semana 12	Semana 13	Semana 14	Semana 15	Semana 16
Avance			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
1	Definir el sistema.	100%																
	Definir al detalle el equipo a implementar RCM.	100%																
	Realizar la partición funcional del sistema en los equipos que lo conforman.	100%																
	Definir con claridad el contexto operacional del sistema y todos los criterios de desempeño esperados para este.	100%																
2	Realizar un análisis funcional del sistema junto con sus estándares de desempeño.	100%																
	Identificar la función primaria del sistema en su contexto operacional.	100%																
	Identificar las funciones secundarias que tiene el sistema junto con sus estándares de desempeño.	100%																
3	Identificar posibles fallas funcionales	100%																
	Identificar todas las posibles fallas que impidan que la maquina realice sus funciones o deje de cumplir con algún estándar de desempeño.	100%																
4	Modos de Falla	100%																
	Se deben establecer los modos de falla (Eventos físico únicos que causan una falla funcional) probables que puedan causar cada falla funcional.	100%																
	Identifique la causa de la Falla de cada modo de falla. Busque las causas de falla en las 5M a manera de lluvia de ideas. Podría haber una gran variedad de factores que causen la falla.	100%																
5	Establecer los efectos de falla	100%																
	Establecer que pasa cuando ocurre una falla funcional.	100%																
	Describir lo que puede pasar (o ha pasado) si no se realiza ninguna tarea especifica para anticipar, prevenir o detectar la falla .	100%																
	Asegurar que en el campo existan las herramientas o las ayudas visuales suficientes para que el responsable pueda determinar facilmente un modo de falla potencial.	100%																
6	Consecuencias de falla	100%																
	Definir el tipo de falla (Fallas Evidentes o Fallas Ocultas).	100%																
	Ya bien definidos los efectos de falla se procede a analizar las consecuencias que puede tener cada uno de los modos de falla.(Impacto en la seguridad, en el ambiente, en la capacidad operacional, en los costos de reparacion directos o indirectos).	100%																
	Llenas completa y claramente la hoja de información de RCM definida por la empresa.	100%																
7	Políticas de manejo de fallas	100%																
	Evidenciar las fallas potenciales, una condición identificable que indica que una falla funcional esta a punto de ocurrir o en proceso de ocurrencia.	100%																
	Determinar el intervalo P-F de las fallas potenciales y definir "Tareas Basadas en Condición"	100%																
	Realzar una matriz de criticidad para RCM	100%																
	Determinar la politica de manejo de falla más apropiada para cada modo de falla (Tareas basadas en condición, Tareas de reatauración programada, Tareas de detección de fallas, Rediseño, Operar hasta fallar)	100%																
8	Desarrollar Plan de mantenimiento	100%																
	Con base en las Políticas de manejo de falla determinadas y en la matriz de criticidad se deben establecer unos periodos de frecuencia para cada una de las acciones a ejecutar.	100%																
	Plasmar Todo lo encontrado en un Plan de Mantenimiento lo má detallado posible, donde se consideren las acciones, los responsables, la frecuencia, los recursos y la fecha de ejecucion esperada.	100%																
NOTAS:																		

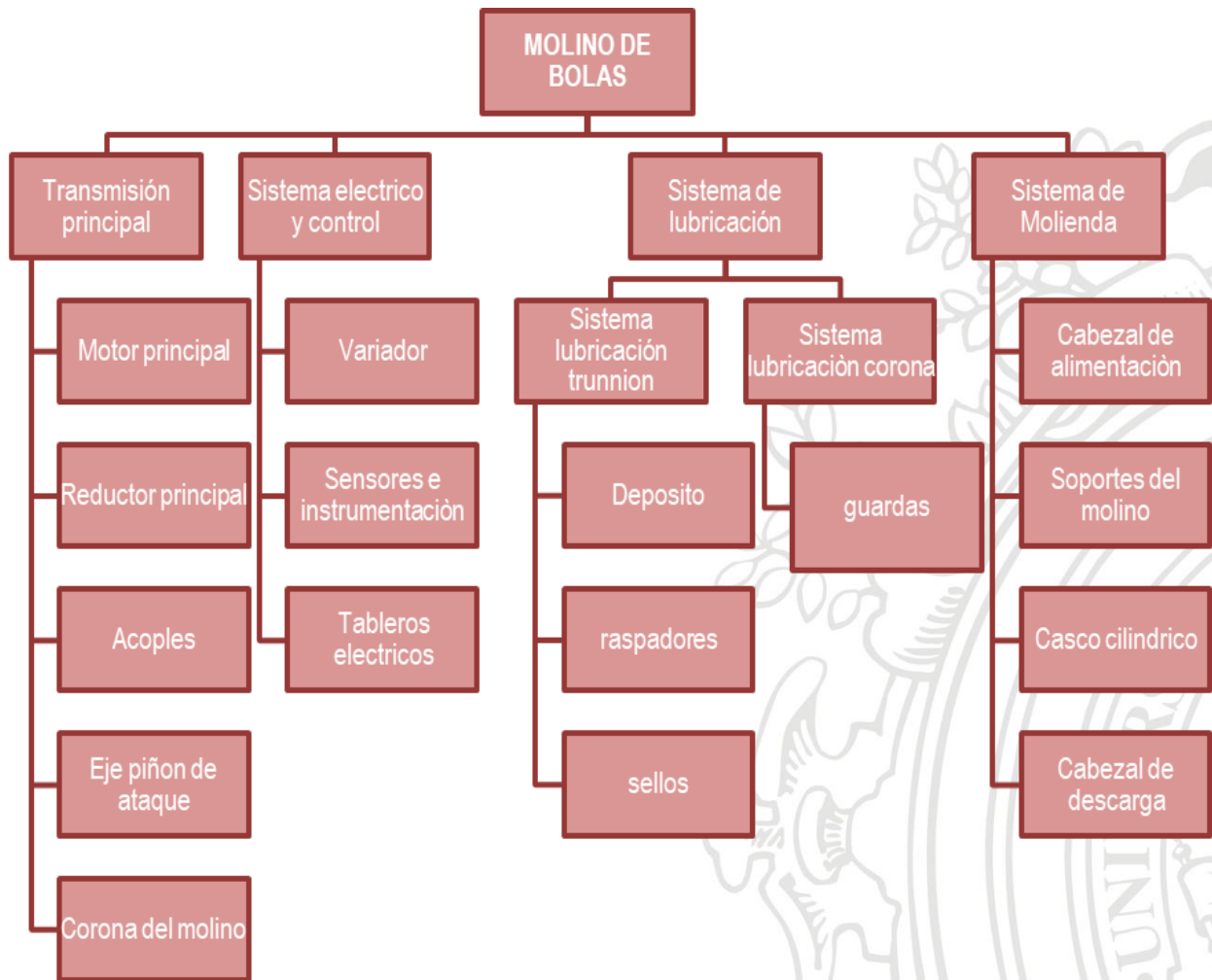
IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO DE ANÁLISIS DE RCM

ANEXO G. Sistema de partición del molino primario.

SISTEMA DE PARTICIÓN DEL MOLINO PRIMARIO				
SISTEMA PRINCIPAL	SISTEMAS	SUB-SISTEMA	COMPONENTE	PIEZA
Molino de bolas 8X8	Sistema de Transmisión principal	Motor eléctrico US Motor 400HP-1760RPM	Acople de alta tipo rejilla 1100-T10	Rejilla Manzanas
		Caja reductora paramax PHD9070	Acople de baja tipo rejilla 1140-T10	Rejilla Manzanas
		Sistema del contra eje	Apoyos de eje	Rodamientos Manguitos de fijación Cajas de rodamientos Sellos
			Eje piñón de ataque	Eje Piñón de ataque
		Catalina o rueda dentada	Conjunto rueda dentada	Catalina
			Elementos de fijación	Tornillos
		Cubierta de catalina	Cubierta superior Cubierta inferior	
	Sistema de lubricación	Lubricación trunnión lado alimentación	Chumacera muñon lado flotante	Depósito de lubricante Casquete de babbit Sellos de aceite
			Conjunto rascador de lubricante	Bandeja rascador de aceite Soporte rascador de aceite Hoja rascador de aceite
			Conjunto de tuberías e indicador de nivel de	Tuberías de drenaje Indicador de nivel de aceite
			Conjunto de bombeo manual	Bomba manual Farval
		Lubricación trunnión lado descarga	Chumacera muñon lado fijo	Depósito de lubricante Casquete de babbit Sellos de aceite
			Conjunto rascador de lubricante	Bandeja rascador de aceite Soporte rascador de aceite Hoja rascador de aceite
			Conjunto de tuberías e indicador de nivel de lubricante	Tuberías de drenaje Indicador de nivel de aceite
			Conjunto de bombeo manual	Bomba manual Farval
	Sistema de molienda	Cabezal de alimentación tipo tambor	Conjunto alimentador tipo spoud	Alimentador spoud feeder Anillo de jebe no diafragma
			Cabezal / muñon lado apuesto al engranaje	Forro del muñon lado carga Muñon Rotula chumacera lado flotante
			Set de forros del cabezal de alimentación	Forro tipo 405
			Anillo de ajuste de cabezal Goma de respaldo en caucho de 1/4"	
		Casco cilindrico	Casco	Tapas del paso hombre
			Set de forros del casco	Forros tipo 400, 401, 402, 403 y 404
			Goma de respaldo en caucho de 1/4"	
		Cabezal de descarga tipo tambor	Conjunto cernidor o trommel	Trommel Bandeja descarga tommel
			Cabezal / muñon lado engranaje	Forro del muñon lado descarga Muñon Rotula chumacera lado fijo
			Set de forros del cabezal de descarga	Forro tipo 405
			Goma de respaldo en caucho de 1/4"	
	Sistema eléctrico y de control	Variador de frecuencia	Variador power flex 700 de 500HP	Reactancia de entrada
		Tablero de control y potencia	Cableado de potencia Interruptor principal Fusibles 450Amp.	
		Sensores e instrumentos	Sensor de temperatura muñon	

IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO DE ANÁLISIS DE RCM

ANEXO H. Subsistemas del molino



ANEXO I. Contexto operacional del molino 8'x8'

Documento anexo en pdf.

ANEXO J. Hoja de información RCM -Molino Primario

Documento anexo en Excel.