

**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUEL CARRERA**

**PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN
CONFIABILIDAD A EQUIPO FILTRO-PRESA DE MOLIBDENO MINERA
CASERONES**

Trabajo de Titulación para optar al
Título de Ingeniero en
MANTENIMIENTO INDUSTRIAL.

Alumno:
Rodrigo Ariel Salinas Arce
Profesor Guía:
Mg: Erik Kohenkamp Núñez

RESUMEN

La industria de la minería, dentro de sus procesos ha evolucionado constantemente a lo largo de los años para afrontar los nuevos desafíos y exigencias que se presentan al llevar a cabo estas operaciones.

Uno de los aspectos que se ha vuelto fundamental dentro de la industria minera en los últimos años es el mantenimiento de los equipos para poder asegurar una alta disponibilidad de estos, tener un proceso eficiente y una alta continuidad operacional.

Es en este aspecto que se ha propuesto realizar un plan de Mantenimiento Basado en Confiabilidad para un equipo perteneciente a la Minera Caserones, de la comuna de Copiapó, en donde por su contexto operacional es de vital importancia asegurar la disponibilidad de sus equipos. Es en el marco de este trabajo, tomar un equipo para poder realizar esta intervención y que exista la posibilidad de replicarlos en otros procesos, cambiando las estrategias de mantenimiento.

En primer lugar se expone el contexto operacional del equipo, mediante la recopilación de antecedentes generales, donde se puede conocer la forma de la organización, los procesos que se realizan, las etapas de estos y el contexto operacional en donde se desempeña el equipo.

A continuación se explica la metodología que se utilizará para realizar esta propuesta de mantenimiento, como se llevará a cabo, la descripción del equipo, sus partes y luego proceder a aplicar las técnicas y herramientas del RCM sobre el equipo descrito, hasta obtener las tareas de mantenimiento.

Posteriormente se ordenarán todas las tareas de mantenimiento, la forma en que serán ejecutadas, los alcances de estas, las horas que se destinarán para realizarlas para finalizar con los costos que implica cada tarea de forma directa en base a los costos de mantenimiento del año 2024.

Por último se presentan las conclusiones obtenidas de este trabajo.

INDICE

RESUMEN	1
INDICE	2
ÍNDICE DE FIGURAS	3
ÍNDICE DE TABLAS	4
ÍNDICE DE GRÁFICOS	4
INTRODUCCIÓN	6
OBJETIVOS	7
1. ANTECEDENTES GENERALES.	9
1.1. ANTECEDENTES DE LA EMPRESA.	9
1.2. PROCESO PRODUCTIVO.	10
1.2.1. Minerales oxidados.	11
1.2.2. Minerales Sulfurados.	11
1.3. Principales EQUIPOS DE planta filtrado de molibdeno.	15
1.3.1. Filtro de Molibdeno.	15
1.3.2. Secadora.	16
1.3.3. Bomba alimentación.	17
1.3.4. Scrubber.	17
2. ESTRATEGIA DE MEJORA PARA LOS PLANES DE MANTENIMIENTO.	20
2.1. ELECCIÓN METODOLOGÍA.	20
2.2. MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM).	21
2.2.1. METODOLOGÍA RCM.	21
2.3. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO.	25
2.3.1. Conjunto de placas.	26
2.3.2. Diafragma plano.	27
2.3.3. Junta.	27
2.3.4. Marco	27
2.3.5. Tubo de filtrado	27
2.3.6. Tubo de alimentación	27
2.3.7. Tela de filtrado	28
2.3.8. Mecanismo de tracción de la tela.	28
2.3.9. Sistema de potencia hidráulica.	28
2.4. RCM EQUIPO DE FILTRADO.	29

2.4.1.	Contexto operacional.	30
2.4.2.	Análisis funcional SIPOC del subsistema.	30
2.4.3.	Historial de fallas.	30
2.4.4.	Diagrama de Pareto.	31
2.4.5.	Indicadores de Mantenibilidad Filtro Molibdeno.	32
2.5.	IMPLEMENTACIÓN AMEF	33
2.5.1.	Criterios para determinar criticidad.	33
2.5.2.	Análisis modo de falla y efectos.	33
2.5.3.	Número de prioridad de riesgo RPN.	39
2.5.4.	Hoja de decisión RCM.	40
3.	PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD DE LA ETAPA DE FILTRADO DE MOLIBDENO.	45
3.1.	PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN PARA PLAN DE MANTENIMIENTO EN RCM.	45
3.1.1.	Programa de mantenimiento.	46
3.1.2.	Distribución de horas para la ejecución.	54
3.1.3.	Instancia de ejecución planes de mantenimiento.	55
3.1.4.	Estructuras de pautas para SAP PM.	55
3.1.5.	Documentación.	56
3.2.	Costos de Mantenimiento Filtro Molibdeno.	57
	CONCLUSIÓN	62
	BIBLIOGRAFÍA	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1:	Estructura de propiedad.	9
Figura 1-2:	Mínera Caserones.	10
Figura 1-3:	Producción Mínera Caserones 2022.	10
Figura 1-4:	Diagrama de flujo Proceso Productivo.	11
Figura 1-5:	Diagrama de Flujo Sulfuros.	14
Figura 1-6:	Tela filtrante filtro-prensa molibdeno.	16
Figura 1-7:	Overview Planta Molibdeno.	17
Figura 1-8:	Maxisaco concentrado de molibdeno.	18

Figura 2-1: Principio de filtrado, filtro prensa.	26
Figura 2-2: Descripción técnica filtro.	29
Figura 2-3: Diagrama SIPOC Filtro Molibdeno.	30
Figura 2-4: Arbol de decisión AMEF.	41
Figura 3-1: Tareas de mantenimiento semanales Filtro Molibdeno.	54
Figura 3-2: Continuación tareas de mantenimiento.	54
Figura 3-3: Estructura pautas de mantenimiento para SAP PM.	56
Figura 3-4: Continuación estructura pautas SAP PM.	56
Figura 3-5: Carta gantt mantenimiento bisemanal Filtro Molibdeno.	57
Figura 3-6: Extracto costos de mantenimiento Filtro Molibdeno.	58

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: AMEF Filtro Molibdeno.	38
Tabla 2-2: Número prioridad de riesgo componentes Filtro Molibdeno.	39
Tabla 3-1: Inventario de tareas propuestas por modos de falla.	53
Tabla 3-2: HH estimadas para la ejecución de las tareas	55
Tabla 3-3: Costos de mantenimiento por tipo de tarea.	60
Tabla 3-4: Diferencia de costos actuales y proyectados	60

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 2-1: Diagrama de Pareto Principales detenciones Filtrado Molibdeno.	31
Gráfico 2-2: Consolidado 2023 Indicadores de Mantenimiento Filtro Molibdeno.	32
Gráfico 3-1: Disponibilidad Filtro Molibdeno 2023.	61

SIGLAS Y SIMBOLOGÍA

A. SIGLAS

RCM: Reliability Centered Maintenance

LX: Lixiviación

SX: Extracción por solvente

EX: Electro obtención

AMEF: Análisis de modo de falla y efectos

SIPOC: Suppliers Inputs Process Outputs Customers

MTBF: Mean Time Between Failures

MTTR: Mean Time to Repair

RPN: Risk Priority Number

MTTO: Mantenimiento

HH: Horas hombre

\$US: Dólares

B. SIMBOLOGÍA

CuT: cobre total

Cu: cobre

ppm: partes por millón

msnm: metros sobre nivel del mar

km: kilómetros

mm: milímetros

m³: metros cúbicos

INTRODUCCIÓN

La Minería en Chile representa una de las principales fuentes de ingresos para el estado y una de las industrias con mayor fuerza laboral en el país, esta industria aporta el 14,8 % del PIB total. Hoy en día la minería se divide aproximadamente en un 25% de capitales nacionales, siendo una de estas empresas pertenecientes al estado y el 75% restante en capitales y empresas internacionales, que deben aportar al estado según la ley para poder realizar sus operaciones en el país.

El principal producto obtenido por la minería es el cobre, ya sea en forma de concentrado de cobre o cátodos de cobre de alta pureza, pero no solo se encuentra el cobre, también junto con este se procesa otro elemento, el molibdeno el cuál es altamente comercializado y de un valor económico bastante rentable para las compañías.

Si bien la minería en el país tiene una larga data de tradición y producción de cobre y es reconocida por ser uno de los mayores productores a nivel mundial, para un consumidor principal como es China, la producción de concentrado de molibdeno ha tomado mucha importancia en esta industria.

Es por la cantidad de molibdeno que poseen los minerales dentro de los recursos del país que la industria ha diseñado los procesos de producción para poder obtener este producto y así poder sacar provecho de este. Las mayores reservas de molibdeno se encuentran en Estados Unidos, con Chile en segundo lugar.

El molibdeno es utilizado principalmente para la producción de metales más resistentes, pero también es utilizado en superaleaciones y aleaciones con níquel, y en industrias de lubricantes y químicos.

Es en este aspecto que la Compañía Minera Caserones en sus procesos de producción, se encuentra la etapa de flotación selectiva y filtrado de cobre y molibdeno, en cuanto al filtrado para producir cobre, se tienen dos equipos filtradores, correspondiente a dos filtros-prensa, pero en la línea de producción de molibdeno solo hay un filtro-prensa, por lo que se puede identificar como un equipo cuello de botella dentro de la línea de producción, por lo que se debe conseguir una alta disponibilidad del equipo, para no afectar la producción.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Proponer mejoras en plan de mantenimiento mediante el uso de las herramientas del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad del equipo filtro-prensa de Molibdeno.

OBJETIVO ESPECÍFICO

- Describir el contexto operacional del equipo a evaluar, utilidad y mantenimiento a través de la recopilación de información técnica.
- Definir metodología RCM para obtener tareas de mantenimiento de fallas críticas mediante el análisis del equipo Filtro de Molibdeno.
- Proponer el plan de mantenimiento adecuado mediante análisis técnico y económico para evaluar factibilidad de la propuesta.

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES.

1. ANTECEDENTES GENERALES.

1.1. ANTECEDENTES DE LA EMPRESA.

Mínera Caserones es una mina de cobre y molibdeno a cielo abierto que produce concentrado de cobre, cátodos de cobre y concentrado de molibdeno de alta calidad. Es un yacimiento de baja ley, con una ley de corte de 0,14% CuT. Se han estimado sus reservas en 810,5 millones de toneladas de minerales sulfurados, con una ley promedio de 0,36% de Cu y 121,0 ppm de Molibdeno; y 254,6 millones de toneladas de minerales lixiviables, con una ley del 0,29% de CuT.

Caserones se ubica en la región de Atacama, en la comuna de Tierra Amarilla a 125 km al sureste de Copiapó y a 9 km de la frontera con Argentina. Las operaciones se concentran a una altura entre los 3200 y 5500 msnm.

Caserones, en primera instancia SCM Minera Lumina Copper Chile (MLCC) es propiedad de las empresas japonesas Pan Pacific Copper Co., Ltd (77,37%), en la que participan JX Nippon Mining and Metals (66%) y Mitsui Mining and Smelting Co., Ltd (34%) y Mitsui and Co., Ltd. (22,63%)

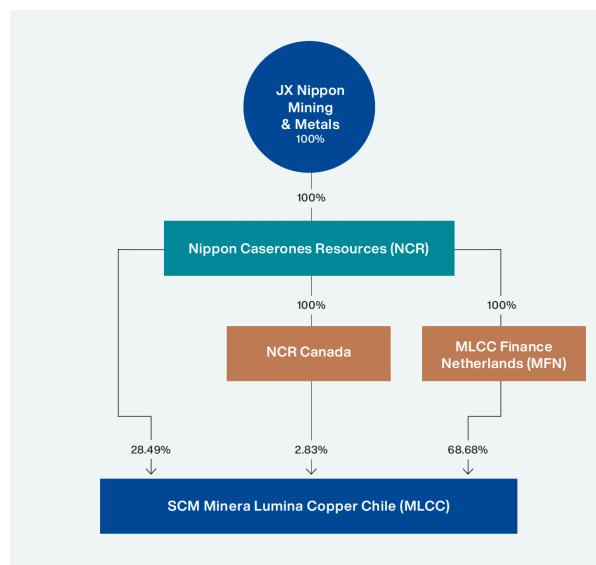


Figura 1-1: Estructura de propiedad.

Fuente: Extraído Memoria Anual Caserones.

La Aprobación ambiental del proyecto ocurre en enero del 2010 y el inicio oficial de la operación es el 30 de julio con la partida oficial de la línea de producción de sulfuros.

En julio del año 2023 se concreta la compra del 51% de las acciones de caserones por parte de la empresa canadiense Lundin Mining , principal operador en Chile de

Minera Candelaria, quedando distribuida de la siguiente forma: 51% Lundin Mining y 43% JX Nippon Mining and Metals Corporation.



Figura 1-2: Minera Caserones.

Fuente: Distrito Candelaria versión web.

A niveles de producción el años 2022 la compañía tuvo los siguientes resultados que se ilustran en la figura.

F. PRODUCCIÓN 2022

- Concentrados de cobre (Cu Fino): 109.009 tons.
- Cátodos de cobre (Cu Fino): 15.120 tons.
- Concentrados de molibdeno (Mo Fino): 3.056 tons.

Figura 1-3: Producción Minera Caserones 2022.

Fuente: Memoria Anual Caserones 2022.

1.2. PROCESO PRODUCTIVO.

Caserones considera una explotación a rajo abierto, con una planta para producir concentrados de cobre y molibdeno a partir de sulfuros primarios y una planta de

extracción por solvente y electro obtención (SX-EX) para producir cátodos de cobre mediante el procesamiento de minerales oxidados, mixtos y sulfuros secundarios.

En la figura 1-4 se puede observar el diagrama de flujo completo con ambos procesos productivos.

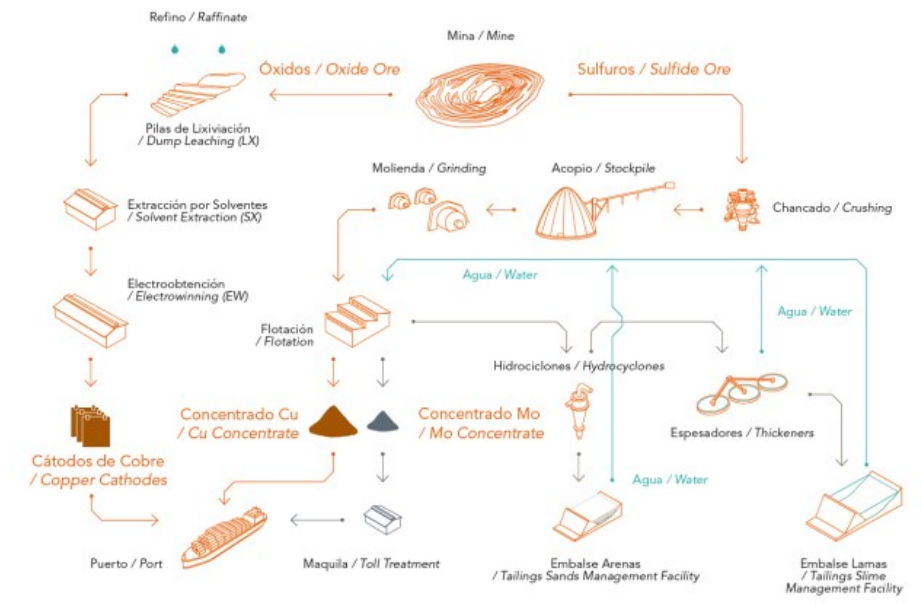


Figura 1-4: Diagrama de flujo Proceso Productivo.

Fuente: EMX Royalty Corp.

1.2.1. Minerales oxidados.

Los minerales oxidados de cobre se originan de la descomposición y oxidación de minerales sulfurados. Estos tipos de minerales fueron los primeros en ser explotados por el ser humano. En Chile los principales óxidos de cobre son Malaquita, Azurita, Crisocola, Cuprita y Brochantita.

Para el tratamiento de los minerales oxidados que resultan de las explotaciones en la mina, el proceso se lleva a cabo por medio de una planta de hidrometalurgia que considera las operaciones de Lixiviación, Extracción por solvente y Electro obtención (LX-SX-EW) con resultado de cátodos de cobre de alta pureza.

1.2.2. Minerales Sulfurados.

Para el caso de los equipos que se analizarán en este trabajo, para contextualizarlos dentro de la operación, se debe enfocar la información en la línea de los minerales sulfurados. Los sulfuros de cobre son cada vez más abundantes, mientras los óxidos de

cobre que son procesados por hidrometalurgia son cada vez más escasos. El tratamiento tradicional que se les da a los sulfuros es el de flotación y pirometalurgia.

Los minerales sulfurados de cobre son mezclas de diversos metales y elementos con el azufre. Suelen estar mayoritariamente combinados con hierro. Dentro de las minas en Chile los principales minerales sulfurados son calcopirita, bornita, enargita y tetraedrita.

Los minerales sulfurados extraídos de la mina son procesados mediante las etapas de chancado, molienda, flotación y filtrado, para obtener los concentrados de cobre y molibdeno. A continuación se explicarán los procesos de Chancado, Molienda, Flotación y Filtrado de Concentrados.

1.2.2.1. Chancado.

El mineral es descargado en una planta de chancado primario que posee un chancador giratorio de 60 x 113 pulgadas, el cual su objetivo es reducir en su primera etapa el tamaño del mineral proveniente de la mina para entregar un producto con un tamaño (granulometría) de 7,5 pulgadas que requiere el proceso de molienda. Una vez reducido el mineral este es vaciado a una cámara de compensación en donde es transportado mediante una correa transportadora a un stock pile el cual se encarga de suministrar mineral fresco a la planta concentradora.

1.2.2.2. Molienda.

La etapa de molienda continua la reducción del tamaño del mineral previamente chancado y que proviene del Stock Pile, el objetivo es obtener un producto con una granulometría de 160 micrones o 0,16 [mm].

La etapa de molienda se lleva a cabo utilizando grandes equipos giratorios de forma cilíndrica llamados Molinos. Esta se compone de un Molino Semiautogeno (SAG) de 40x26 pies y dos molinos de bolas de 27x46 pies. En esta etapa se agrega agua en cantidades suficientes para formar un fluido lechoso o pulpa y los reactivos necesarios para acondicionar el mineral para la etapa de flotación.

El mineral ingresa al Molino SAG por medio de un chute de alimentación donde se descarga el mineral a través de una correa que proviene del stock pile, una vez molido el mineral se obtiene un producto en forma de pulpa mineral. Esta pulpa pasa por una etapa de clasificación llevada a cabo por un harnero. Las partículas de la pulpa que se encuentran por sobre el tamaño requerido son llevadas a una etapa de chancado secundario

o chancado de pebbles, el cual se ocupa de reducir el tamaño entregando un mineral que será la alimentación para los molinos de bolas.

Las partículas de la pulpa mineral que están bajo el tamaño del harnero pasan por otro proceso de clasificación, esta vez mediante hidrociclones que componen una batería.

Estas baterías son 4, que se dividen en pares, las baterías 1 y 2 para el molino de bolas 1 y las baterías 3 y 4 para el molino de bolas 2.

Los hidrociclones se componen en base de una alimentación y dos descargas, el over por donde se descargan la pulpa que se encuentra dentro de los estándares de granulometría al que se le conoce como fino y el under, por donde se descarga el grueso de la pulpa. La muestra producto del over de cada par de batería es descargada hacia dos canaletas, una para cada par de baterías y estas a la vez descargan en un cajón denominado cajón DI que alimenta la planta de flotación. El grueso de las baterías se recircula por medio de bombas centrifugas como alimentación hacia los molinos de bolas. El producto de los molinos de bolas es descargado hacia un cajón en donde es recirculado hacia las baterías de hidrociclones para ser clasificada nuevamente en un circuito continuo.

1.2.2.3. Flotación Colectiva.

Desde Molienda se alimenta la etapa de flotación desde un cajón distribuidor con TAG interno que distribuye la pulpa a las etapas de flotación.

La flotación primaria o flotación Rougher (Ro) es la primera etapa y está distribuida en 2 bancos de 8 celdas con una capacidad de 300 [m³] cada una, el concentrado obtenido de esta etapa es depositado transitoriamente en un cajón donde por medio de bombas es transportado a baterías de hidrociclones. El producto que se obtiene del overflow es transportado por bombas centrifugas a dos celdas de primera limpieza y posteriormente 7 celdas Scavenger o Barrido de 300 m³. El concentrado es transportado nuevamente por bombas centrifugas a otro cajón de traspaso que alimenta las celdas de flotación columnares obteniendo el concentrado final para la alimentación de la etapa de filtrado.

El proceso de flotación es una etapa de la concentración de minerales que ocurre en tres fases líquida, sólida y gaseosa. Se separa el mineral valioso del material no valioso aprovechando sus características físico-químicas mediante la adición de reactivos esto propicia la generación de espumas y su posterior colección mediante canaletas para lo cual se utilizan equipos mecánicos y o neumáticos llamados celdas de flotación.

El proceso de flotación de una planta concentradora es una etapa fundamental del proceso de concentración de minerales, al coleccionar en ella el mineral valioso que se refleja

en el rendimiento metalúrgico del proceso, esto es en la recuperación del material y su calidad.

A continuación en la figura 1-5. se puede apreciar de manera gráfica los equipos y etapas del tratamiento de minerales sulfuros de Minera Caserones.

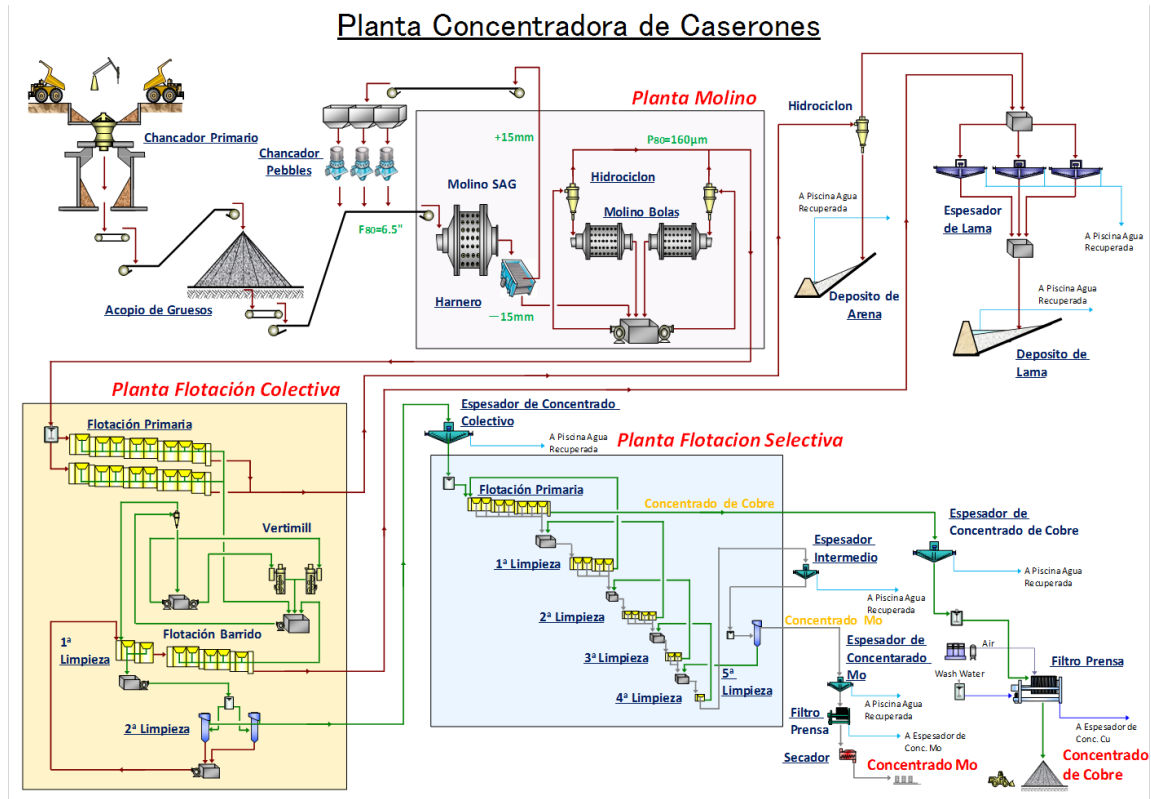


Figura 1-5: Diagrama de Flujo Sulfuros.

Fuente: Presentación ODI Concentradora Minera Caserones.

1.2.2.4. Flotación Selectiva.

Luego del proceso de flotación colectiva, el producto de la flotación, el concentrado es llevado hacia el espesador colectivo, el cual se encarga de realizar el espesamiento de la pulpa, recuperando agua de proceso y obteniendo un concentrado el cual es alimentación a la etapa de flotación selectiva.

En primer lugar se encuentra la flotación primaria, compuesta celdas rougher. A diferencia de la flotación colectiva, en esta se busca recuperar la mayor cantidad de molibdeno a través del concentrado rougher y en la cola, el cobre que luego será llevado a los filtros de cobre para obtener el concentrado final de cobre.

El concentrado rougher es llevado hacia las flotaciones de limpieza, compuesta por 4 etapas de limpieza, en donde se busca seguir aumentando la concentración del molibdeno, el concentrado de cada etapa se va trasvasiando en cajones receptores a medida que este rebosa de las celdas de flotación, en donde por medio de bombas se alimenta la siguiente

etapa. Luego de la cuarta flotación de limpieza el concentrado es llevado hacia los espesadores de molibdeno, espesador intermedio o espesador de moly, en donde se realiza la etapa de espesamiento de la pulpa para posteriormente alimentar la planta de filtrado de molibdeno.

1.2.2.5. Filtrado de Molibdeno y Cobre.

Luego de las etapas de espesamiento, en ambos casos, molibdeno y cobre, se alimentan las etapas de filtrado. En ambos casos los filtros corresponden a filtros de prensa, en donde la pulpa es alimentada mediante bombas hacia el filtro, en donde la pulpa va pasando por una tela prensada, la cual se encarga de eliminar la mayor cantidad de humedad posible del concentrado.

El producto de la etapa de filtrado se le conoce como torta, la cual se descarga desde el filtro con una humedad del 10-11% pasando posteriormente a una etapa de secado, en donde se obtiene un producto con una humedad final de un 5-6% el cual es el producto final de concentrado, tanto de molibdeno como de cobre.

1.3. **PRINCIPALES EQUIPOS DE PLANTA FILTRADO DE MOLIBDENO.**

Para poder contextualizar de manera más detallada el equipo a elegir para esta implementación y mejora de mantenimiento es necesario poder conocer un poco más en detalle la función de los equipos que están en línea en el proceso de filtrado de molibdeno, así se realiza una aproximación a las funciones generales que tiene cada uno y se puede deducir la importancia en el proceso productivo.

1.3.1. Filtro de Molibdeno.

El filtro de molibdeno es un filtro - prensa Larox, la pulpa que proviene de la etapa de flotación es alimentada al filtro mediante una bomba desde un estanque de almacenamiento a todas las cámaras de filtrado de forma simultánea. Los sólidos comienzan a formarse a medida que el filtrado es desplazado por más pulpa que ingresa a la cámara. A medida que se acumulan los sólidos la presión de bombeo aumenta y el filtrado es presionado a través de la tela hasta que se alcanza el espesor de sólidos requerido.

Se inyecta aire a alta presión que infla de manera automática del diafragma en la parte superior de las cámara, que reduce el volumen de la cámara y exprime los sólidos para eliminar más humedad. El proceso de filtración de sólidos y la tela filtrante producen

un filtrado de alta eficiencia. El prensado del diafragma produce solidos con un porcentaje de humedad bajo y homogéneo, con un espesor relativamente uniforme.

Los diafragmas del filtro se vuelven a inflar, forzando el líquido de lavado de manera uniforme a través de los sólidos. Posteriormente se introduce aire comprimido a través de los sólidos para el desaguado final, así el porcentaje de humedad se reduce aún más.

Una vez terminado el proceso de filtrado se abren las placas, los sólidos secos del filtro se llevan fuera de las cámaras a través de la tela filtrante en movimiento. A medida que la tela pasa fuera de las placas el agua de lavado se inyecta con alta presión lo que ayuda a minimizar las obstrucciones en la tela.

La pulpa filtrada contiene entre un 10-11% de humedad.



Figura 1-6: Tela filtrante filtro-prensa molibdeno.

Fuente: Elaboración propia fotografía 03-10-2023.

1.3.2. Secadora.

El secador es un modelo DR-15 de Etalmack, es una secadora de discos múltiples posee tres ejes paralelos en de ordenamiento, que se encuentran montados sobre un cuerpo inferior. Por el interior de cada eje circula un flujo de aceite térmico a muy alta temperatura, transmitiendo por conducción energía térmica hacia la torta o queque

proveniente de la descarga del filtro. El queque se encuentra en contacto por inmersión, con los discos y ejes del secador para recibir y transferir la energía térmica disponible. El incremento de temperatura provoca la evaporación de la fase líquida mediante el cambio de fase liquido-vapor, generando vahos y gases

1.3.3. Bomba alimentación.

La bomba de alimentación Krebs modelo es una bomba de que tiene la función de alimentar el filtro de molibdeno con el concentrado proveniente desde el espesador de molibdeno, que previamente es almacenado en un estanque cilíndrico conocido como TK005. La bomba es la única bomba operativa dentro de la planta para realizar esta función, en este caso no se cuenta con una bomba en redundancia por si esta falla.

La bomba como se menciona, alimenta el filtro-prensa con la descarga del TK hacia el filtro, con un caudal de.

1.3.4. Scrubber.

El scrubber es un sistema de lavado de gases y vahos provenientes de la etapa de secado del concentrado de molibdeno. La función que cumple el equipo es evitar que estos vapores tóxicos resulten expuestos hacia el ambiente o hacia la planta misma, pudiendo perjudicar la operación y la seguridad de los trabajadores presentes.

El equipo consiste en un depósito cilíndrico, este captura los gases que son llevados desde la secadora por medio de un ducto campana, mediante un líquido inyectado en forma de ducha neutraliza los componentes contaminantes de los gases.

El líquido roseado puede ser agua, un reactivo químico o una mezcla de ambos, todo este depende de los contaminantes a tratar.

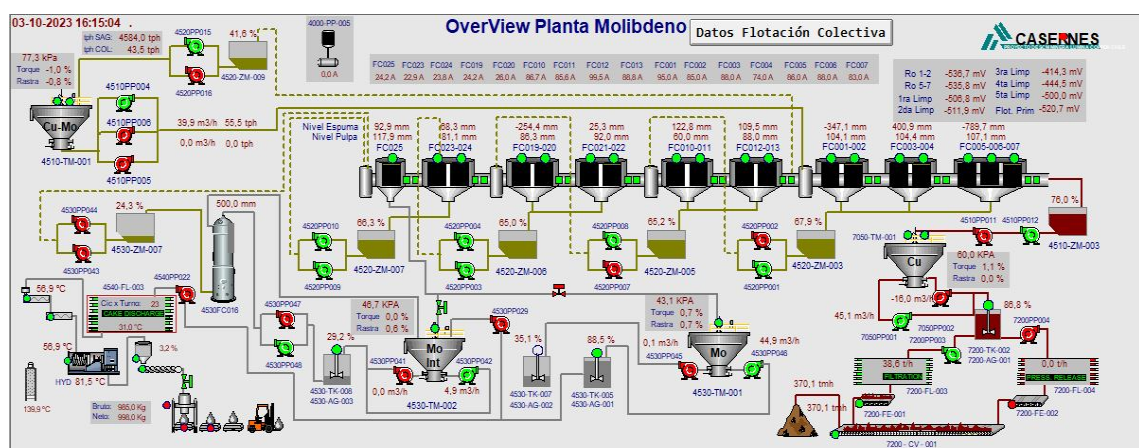


Figura 1-7: Overview Planta Molibdeno.

Fuente: Extraído PI programa de procesos planta.

Finalizando el proceso de filtrado y secado del concentrado de molibdeno, se obtiene un maxisaco de concentrado de molibdeno como producto final, este maxisaco tiene un peso aproximado de 1,6 [ton] con una humedad de un 5-6%. Este maxisaco tiene una valoración económica de \$23.000.000. La etapa de filtrado y secado produce 1 maxisaco por hora, en ciclos de 25 minutos cada uno.

Es por esto que se hace necesario contar con estos equipos con alta disponibilidad para que la producción de molibdeno no se vea afectada y no se produzca un impacto severo en esta.



Figura 1-8: Maxisaco concentrado de molibdeno.

Fuente: Elaboración propia fotografía 03-10-2023.

CAPÍTULO 2: TAREAS DE MANTENIMIENTO EN BASE A METODOLGIA
RCM.

2. ESTRATEGIA DE MEJORA PARA LOS PLANES DE MANTENIMIENTO.

2.1. ELECCIÓN METODOLOGÍA.

En el contexto de los equipos que se analizan en este trabajo, es necesario el ubicar los equipos dentro de la operación para poder definir tanto su importancia, la necesidad de tener la mayor cantidad de tiempo operativo y poder mejorar los planes de mantenimiento.

Para el efecto de este plan de mantenimiento es necesario identificar el equipo de filtrado de molibdeno como un equipo cuello de botella, esto significa que el filtro prensa es el único equipo disponible para realizar la tarea de filtrado de concentrado, por lo tanto tener una alta disponibilidad del equipo es de vital importancia al momento de no generar un impacto y pérdidas en la producción.

Si bien las tareas de mantenimiento están definidas en su planificación, esto quiere decir tareas diarias, semanales, mensuales se deben analizar los datos de fallas y detenciones del filtro, debido a que en su operación el filtro aún registra detenciones que podrían ser controladas al momento de poder definir otras tareas de mantenimiento.

Con la obtención de datos que se tiene por parte de los equipos, se debe seleccionar una estrategia de mantenimiento la cual pueda cubrir todas las necesidades en tareas de mantención según los requerimientos por parte de la empresa así como para poder optimizar todos los recursos, tanto de personal, repuestos y todo lo que indique un gasto adicional o que se pueda ahorrar. También que vaya de acuerdo a las políticas que ya se encuentran definidas y que por sobre todo no tenga un alto impacto en la producción, ya que es una parte fundamental que los departamentos y los actores involucrados no afecten en gran parte a los otros.

En el mundo del mantenimiento hoy en día existen una gran variedad de técnicas para ser aplicadas dentro de la planificación del mantenimiento, estas técnicas varía una de otras según el tipo de mantenimiento que se quiera llevar a cabo dentro de las organizaciones, de la evaluación de los equipos, de la criticidad de los componentes, de la importancia para los procesos y los recursos que se puedan asignar para mejorar las mantenciones. En muchos casos las tareas que se asignan y los recursos depende si a los activos se les puede realizar mantenimientos preventivos, predictivos o correctivos o más bien si cual de estos tipos de mantenimiento es el indicado, en algunos casos se puede trabajar un activo hasta que este falle, lo que para la organización puede indicar un menor impacto tanto en la producción, en ambiente, en seguridad y todo esto asociado a los recursos o bien si es necesario asegurar para la organización que el equipo esté en un buen

estado sin ser necesario trabajar hasta que este falle y deje de realizar la tarea para lo cual está designado.

En mantenimiento por ejemplo se habla de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) o mantenimiento productivo total (TPM) la elección del tipo de mantenimiento dependerá de los diversos factores que se mencionaron anteriormente, estas técnicas en el mayor de los casos se utilizan de forma separada una de otra, la organización suele elegir uno, pero también se pueden utilizar de forma combinada.

Para poder realizar este tipo de mantenimiento se deben utilizar otras herramientas tanto como para poder determinar decisiones sobre que activos intervenir, a que nivel de intervención se debe llegar, cómo también aquellas que orientan el proceso pudiendo entrar en detalle en cada componente a analizar de un equipo.

2.2. MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM).

2.2.1. METODOLOGÍA RCM.

El proceso de RCM propone realizar siete preguntas básicas acerca de los activos o sistemas que se analizarán.

- ¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional?
- ¿De qué manera falla en satisfacer dichas funciones?
- ¿Cuál es la causa de cada falla funcional?
- ¿Qué sucede cuando ocurre una falla?
- ¿En qué sentido es importante cada falla?
- ¿Qué puede hacerse para prevenir o predecir cada falla?
- ¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada?

A medida que se va desarrollando el RCM aparecen técnicas utilizadas para ir respondiendo las preguntas que se generan previamente. Para responder las primeras 5 preguntas se realiza un AMEF (análisis de modo de falla y efecto) el cual se desarrollará posteriormente sobre el equipo seleccionado. Pero para entender cómo realizar el AMEF se pueden definir los siguientes conceptos para poder realizarlo de manera correcta y eficiente.

2.2.1.1. Funciones.

Para poder definir un mantenimiento de acuerdo a los requerimientos de la organización para con sus activos, que es lo que busca que el activo realice y como poder preservar este objetivo, es necesario entender y definir la funciones de los activos físicos así como los parámetros entre los cuales estos operan.

Es por esto que se deben describir las funciones, parámetros de operación y contexto operacional. Si bien las definiciones de función siempre comienzan con un verbo, este sería su función nominal y para lo cual fue diseñado, pero en este contexto es necesario especificar dentro de cada industria, el contexto operacional el nivel de funcionamiento que se requiere.

El objetivo del mantenimiento es asegurar que los activos estén continuamente realizando lo que los usuarios necesitan que haga. Esto se puede definir a través de un estándar mínimo de funcionamiento y que se requiera que mantención lo pueda mantener.

Si este mínimo de funcionamiento no puede ser definido, el desempeño deseado no puede ser definido por los usuarios, los equipos de mantenimiento no pueden hacerse responsable de mantener ese desempeño.

2.2.1.2. Contexto operacional.

El contexto operacional define el lugar, localización, distancias, clima entre otros, en donde desempeñará sus funciones los activos o sistemas que serán analizados.

Este influye en los requerimientos también para las funciones secundarias de los activos.

No afecta solamente las funciones y expectativas de funcionamiento de los activos, sino que también afecta la naturaleza de los modos de falla que pueden desarrollarse.

Ante equipos importantes para una planta por ejemplo, la presencia de redundancias o equipos en redundancia son características a ser analizadas en el contexto operacional cuando se definen las funciones y la importancia de estas.

2.2.1.3. Tipos de funciones.

Los activos físicos poseen más de una función, para asegurar que este realice todas las funciones, se deben identificar cada una y los parámetros de funcionamiento de los activos. Este es uno de los procesos más importantes en las estrategias de mantenimiento.

Las funciones se pueden dividir en primarias y secundarias.

2.2.1.3.1. Funciones primarias.

Es la función o el requerimiento principal por la cual la organización adquiere un activo, es la razón por la cual ha sido diseñado el activo, esta debe estar claramente definida. En la industria, el nombre de los activos por lo general define su función principal.

2.2.1.3.2. Funciones secundarias.

Los activos por lo general cumplen una o más funciones además de su función principal, a estas funciones se les conoce como funciones secundarias. Estas funciones pueden ser además de para lo que está diseñado el equipo, funciones como contención, control, seguridad, integridad, entre otros.

2.2.1.4. Falla.

Las organizaciones adquieren activos físicos esperando que estos realicen una tarea. Esta tarea por lo general está dentro de los estándares que estos desean, si el equipo funciona por sobre los estándares definidos, la organización estará complacida. Si un activo es incapaz de realizar la función que el usuario o organización quieren que este realice, se considera que el activo ha fallado.

Por lo tanto una falla es la incapacidad de que el activo realice la función para lo cual ha sido diseñado.

2.2.1.5. Fallas funcionales.

El límite entre una falla y un funcionamiento aceptable está definido por el estándar de funcionamiento que las organizaciones o usuarios hayan establecido.

Es en este caso que una falla funcional se define como la incapacidad de cualquier activo de cumplir una función según un parámetro de funcionamiento aceptable para el usuario.

Las fallas de cualquier activo dependen de su contexto operacional, así como no se debe definir exactamente igual las funciones de activos idénticos, tampoco se deben generalizar las fallas funcionales de cada uno de los activos.

2.2.1.6. Análisis de modos de falla y sus efectos (AMEF).

Dentro de las preguntas que busca responder un RCM, se quiere identificar los modos de falla de un activo, que pueden ser los causantes de una falla funcional y identificar los efectos de las fallas que a la vez están asociados a cada modo de falla. Para poder determinarlos se ocupa una herramienta llamada Análisis de modos de falla y efectos (AMEF) y esto se realiza para cada falla funcional que se ha identificado previamente.

2.2.1.7. Modo de falla.

El modo de falla se define como cualquier evento que causa una falla funcional, para poder realizar un mejor análisis e identificación es necesario registrar en un listado todas las fallas funcionales y a su vez registrar todos los modos de falla que podrían causar cada falla funcional.

La importancia de determinar los modos de falla es poder realizar y desempeñar un mantenimiento proactivo, tratar las fallas cuando ya han ocurrido es lo que busca un mantenimiento reactivo. Es en esta definición en donde se diferencia el reactivo con el proactivo, en este ultimo los eventos se deben manejar antes de que ocurran, para ello se debe saber que eventos son aquellos que pueden ocurrir y es aquí donde los eventos se traducen en los modos de falla. La esencia debe ser identificarlos antes de que ocurran o antes de que vuelvan a ocurrir. Las tareas de mantenimiento y el manejo de estas son llevadas a cabo al nivel de los modos de falla.

Los modos de falla deben ser definidos con suficiente detalle para una correcta política del manejo de las fallas.

2.2.1.8. Efectos de falla.

El siguiente paso del RCM consiste en realizar una lista de lo que sucede en el activo al producirse un modo de falla, a esto se le denomina efecto de la falla y describe exactamente lo que ocurre. Cuando un efecto de falla es descrito este debe incluir toda la información que sea necesaria para luego determinar las consecuencias de que se hayan producido las fallas. La información puede ser la evidencia de que ha ocurrido una falla, la manera en que la falla puede ser una amenaza para la seguridad, medio ambiente, las personas o como afecta a las operaciones, los daños físicos de las fallas y las acciones que pueden tomarse para repararlas.

2.2.1.9. Evidencias de una falla.

Los efectos de una falla se deben describir de forma que las personas que realizan un RCM, puedan determinar si la falla que se analiza podría ser evidente para los operadores en circunstancias normales.

Se debe detallar si la falla se puede advertir por efectos físicos previos o posteriores cómo ruidos, humo, olores, derrames.

2.2.1.9.1. Consecuencias de una falla.

La naturaleza y la gravedad de los efectos de las fallas definen las consecuencias de una falla. La consecuencia de la falla es la manera en la que la organización define que falla es más importante. Es cómo y cuánto impacta la falla en la organización. Si es el mismo activo, para un usuario puede tener mayor consecuencia que para el otro.

Si las consecuencias son graves para la organización se deben destinar mayores recursos para evitar que estas ocurran.

2.3. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO.

El equipo es un filtro-prensa Larox Outotec, considerado dentro de la familia de filtros de presión, este equipo recibe como alimentación un concentrado de molibdeno proveniente de las etapas de flotación selectiva y posteriormente espesamiento. El filtrado se produce al ingresar la pulpa a la tela filtrante, la cual se puede ajustar mediante placas móviles que tiene el filtro y rodamientos de ajuste en cada extremo, según la cantidad de concentrado que ingresa, se define el grosor que debe tener la torta filtrada y se ajustan los parámetros de la tela filtrante para alcanzar la presión necesaria para eliminar la humedad requerida. La tela además funciona como mecanismo de transporte de la torta, llevándola fuera del filtro hacia la descarga.

En la figura 2-1 se puede observar el principio de filtrado del equipo.

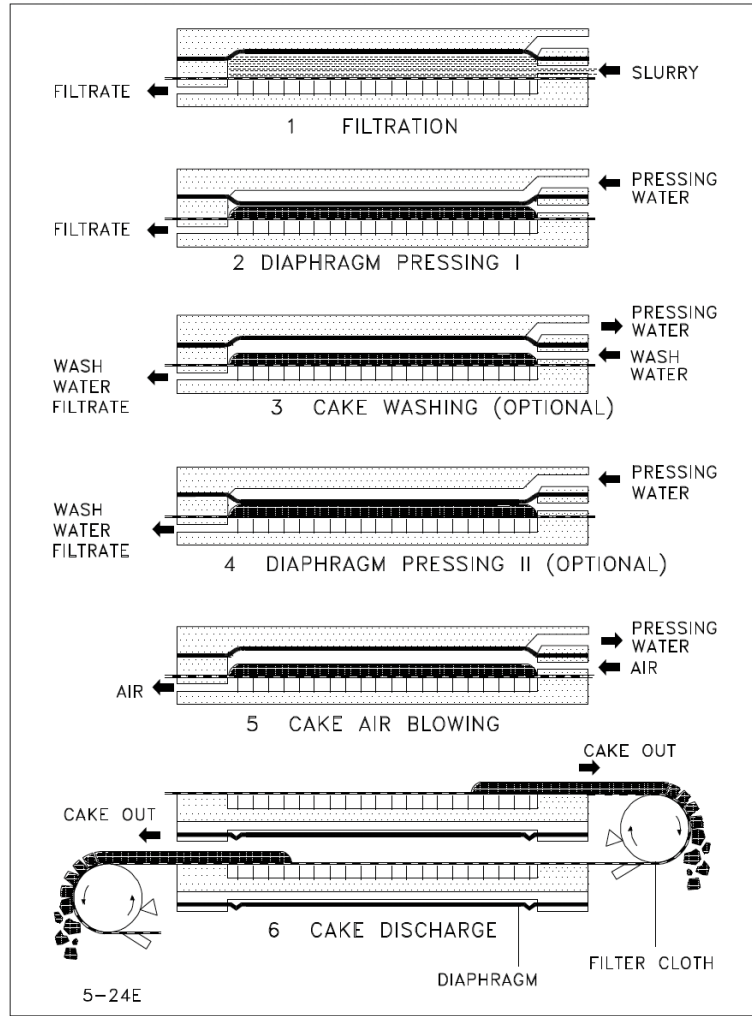


Figura 2-1: Principio de filtrado, filtro prensa.

Fuente: Instalación Funcionamiento y Mantenimiento PF 1053 Outotec.

Para efectos del RCM se deben identificar y dividir los equipos por componentes o subsistemas para poder identificar fallas funcionales o modos de fallas como se menciona anteriormente, por lo tanto se deben conocer los equipos al momento de realizar los análisis detallados.

2.3.1. Conjunto de placas.

Este sistema de placas de filtración consiste en placas horizontales, unidas entre sí con las placas de suspensión. Al presionar las placas unas con otras se crean las cámaras de filtración.

Cada placa de filtración consta de dos partes, una placa inferior (cámara de filtrado) y un marco (cámara de filtración). El propósito de la placa inferior es recoger y sacar el filtrado.

Se debe tener en cuenta que todas las entradas de alimentación al filtro deben estar abiertas y que ambos lados de la placa deben tener la misma presión durante todas las

fases de funcionamiento, ya que si esto no se realiza las placa se doblan y pueden causar pérdidas y orificios en la tela de filtrado.

2.3.2. Diafragma plano.

El diafragma de goma funciona como un elemento de prensado. Este se comprime mediante presión de agua y al mismo tiempo, como consecuencia del agua a presión, el líquido sale de la torta de filtrado.

2.3.3. Junta.

La junta se encuentra en el marco, encima de la tela, la función de la junta es evitar que se escape el concentrado que se está filtrando.

Las juntas no se encuentran debajo de la tela, esta y la superficie de acero se encuentran una frente a otra. Si una presión opuesta crea un espacio en la rejilla por la alimentación, comienzan a generarse escapes de filtrado por debajo de la tela. }

2.3.4. Marco

El marco funciona como elemento de fijación del diafragma. El marco y el diafragma juntos forman el espacio requerido por la torta.

2.3.5. Tubo de filtrado

Consiste en un tubo encargado de sacar el filtrado o el líquido de lavado (filtros con lavado de torta) que pasa a través de la torta.

2.3.6. Tubo de alimentación

Este tubo es encargado de transportar al interior de las cámaras de filtración el concentrado y aire de secado. El concentrado se bombea a través del extremo inferior del tubo de alimentación, el aire de secado a través del extremo superior del tubo.

2.3.7. Tela de filtrado

La tela de filtración actúa como elemento de filtración y como cinta transportadora para poder sacar la torta del filtro. Además de contar con una gran capacidad de filtración, esta tela debe soportar un arrastre pesado de la torta.

2.3.8. Mecanismo de tracción de la tela.

El mecanismo de tracción de la tela está compuesto por dos rodillos, un rodillo de tracción superior e inferior. La tela se enrolla en cada uno de los rodillos, por la parte superior e inferior y formando un zigzag por cada una de las placas dispuestas en el filtro.

2.3.9. Sistema de potencia hidráulica.

El dispositivo de cierre del filtro está compuesto por cuatro cilindros hidráulicos, encargados de mover el conjunto de placas. La dirección del movimiento está controlado por una válvula hidráulica y la acción simultánea está regulada por las válvulas divisoras de caudal.

La fuerza de los cilindros puede ajustarse regulando la presión del aceite que genera la bomba. La apertura y el cierre del conjunto de placas están controlados por un sensor alámbrico unido a la placa de prensado superior.

La bomba hidráulica utilizada en este sistema es una bomba de émbolos axiales de desplazamiento variable. La presión máxima configurada es de 250 bares. La presión continua máxima es de 280 bares.

En la siguiente figura se observan especificaciones técnicas del filtro prensa.

PF 1.6								
Modelo	1.6	3.2	4.7	6.3	7.9	9.5	11	12.6
Área de filtración (m²)	1.6	3.2	4.7	6.3	7.9	9.5	11	12.6
Placas de filtración (unidades)	1	2	3	4	5	6	7	8
Tamaño de la placa de filtración (mm.)	900 x 1 750							
Dimensiones principales, longitud (mm.)	3 650							
Dimensiones principales, anchura (mm.)	2 500							
Dimensiones principales, altura (cámaras de 45 mm.) (mm.)	2300	2300	2400	2400	2500	2600	2700	2800
Peso (toneladas métricas)	10.5	11.0	11.5	12	12.5	13	13.5	14
Superficie de suelo requerida (m²)	36							
Presión máx. (bares)	16							
Telas de filtración, anchura (mm)	1 050							
Telas de filtración, longitud (m)	17	22		28		33		
Motores eléctricos (400V, 50 Hz)								
Unidad hidráulica (kW-rpm)	18.5 - 1 500							
Bomba de agua de prensado (kW-rpm)	4 - 3 000				11 - 3 000			
Tanque de agua de prensado (l)	500				1 500			
Ventilador del enfriador de aceite (kw-r/min)	0,25 - 1500							
Calentador de aceite R04(4540-FL-003-HP1HT1) (kW)	1.0							

Figura 2-2: Descripción técnica filtro.

Fuente: Instalación Funcionamiento y Mantenimiento PF 1053 Outotec.

2.4. RCM EQUIPO DE FILTRADO.

El objetivo de la construcción del plan de mantenimiento centrado en confiabilidad para la etapa de filtrado de molibdeno es poder aumentar la disponibilidad de los equipos que serán tomados en este análisis.

La etapa de filtrado es identificada como un cuello de botella dentro del proceso esto debido a que existe como única etapa para esta función y no existe forma de reemplazo, por lo que poder aumentar la disponibilidad del equipo se traduce en poder aumentar la producción de la planta y mejorar las gestiones en mantenimiento del equipo.

Se debe tener en cuenta que para poder realizar este análisis se deben conocer una serie de indicadores de mantenimiento, como mantenibilidad, disponibilidad, confiabilidad de los activos y número de fallos al año.

2.4.1. Contexto operacional.

Cómo se ha explicado anteriormente la función principal de los equipos es entregar un producto final de concentrado con una humedad de un 5-6% que son los estándares exigidos para poder entregar un producto listo para ser comercializado.

Se debe tener en cuenta que la operación de esta planta y de todas las plantas en general se llevan cabo a una altura aproximada de 3900 msnm por lo que contar con una alta disponibilidad de los equipos se totalmente necesario al momento de pensar que si se necesita un repuesto crítico y que no se encuentran en bodega las gestiones para la adquisición pueden llevar semanas.

Además de la altura geográfica en que se encuentra la planta, se deben considerar las condiciones de viento, polvo, nieve y bajas temperaturas que afectan a un proceso que se realiza en alta montaña, por lo que realizar un buen mantenimiento a través de gestión de mantenimiento y herramientas es de suma importancia al momento de constituir una política de mantención de acuerdo a estos factores.

2.4.2. Análisis funcional SIPOC del subsistema.

El análisis SIPOC según sus siglas, Supplier Input Process Output Customer, tiene la función, para efecto, este debe ser base para determinar los modos de falla, enfocándose en los subsistemas del equipo, funciones primarias y secundarias.

A continuación se muestra tabla de análisis SIPOC a equipo filtro-prensa.

Proveedores	Entradas	Proceso	Salidas	Clientes
Estanque almacenador de concentrado molibdeno TK005	Concentrado de molibdeno con un 50-65% Sólido	Disminuir la humedad del concentrado de molibdeno a través de tela filtrante para obtener torta filtrada con un porcentaje de humedad de 10-11%	Torta filtrada de concentrado de molibdeno con 10-11% de humedad	Secadora concentrado Metalmack

Figura 2-3: Diagrama SIPOC Filtro Molibdeno.

Fuente: Elaboración propia.

2.4.3. Historial de fallas.

Tener a disposición y poder analizar el historial de fallas es importante para poder determinar que componentes en los equipos o sistemas son aquellos que provocan mayores detenciones por una falla o avería y las mermas en los indicadores de disponibilidad.

Las organizaciones actualmente poseen software y plataformas del manejo de datos de los equipos, historiales, fallas, adquisición de repuestos, entre otros SAP PM, es la plataforma en donde se realizan las gestiones del mantenimiento, ordenes de trabajo y avisos de avería, están serán las utilizadas para poder generar reportes de las fallas funcionales que han ocurrido en los equipos en la etapa de filtrado. Se debe tener cuidado con la calidad de la información, filtrar según los parámetros necesarios para una información representativa. Mediante la gestión de departamento de confiabilidad en el área de mantenimiento se buscará obtener registros con pulcritud.

2.4.4. Diagrama de Pareto.

Existen algunas herramientas que permiten visualizar de manera gráfica en donde se concentran algunos de los problemas más importantes dentro de un sistema o equipo. Estas herramientas sirven de apoyo también para poder ver en donde poder concentrar algunos de los recursos más importantes y que con otras herramientas se complementan para tomar las decisiones finales para aquellos modos de fallas que producen las detenciones dentro de los sistemas.

El principio de Pareto fue enunciado por el economista y sociólogo Vilfredo Pareto, quien dentro de sus estudio tuvo como conclusión que el 80% de la riqueza era ostentada por el 20% de la población. Esta relación posteriormente se relacionó con otros campos, ya sea sociales e industriales.

Para el ámbito industrial, específicamente del área del mantenimiento se puede decir que dentro de un sistema, subsistema o equipo el 80% de las fallas en una instalación industrial son producidas por el 20% de los equipos, y dentro de un equipo, el 80% de las fallas podría ser producido por el 20% de los componentes.

Para el equipo de filtrado de molibdeno, con los datos obtenidos del área de confiabilidad de la gerencia de mantenimiento, se obtuvo el siguiente diagrama de Pareto, con algunas de las principales detenciones del filtro de molibdeno.

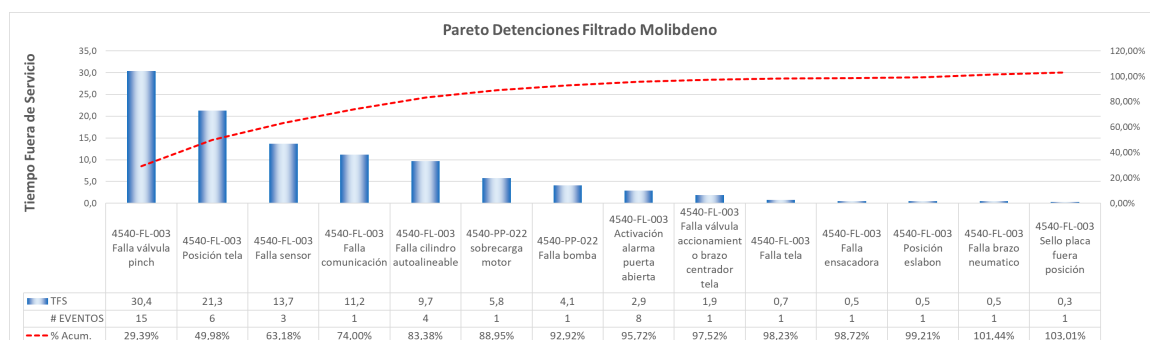


Gráfico 2-1: Diagrama de Pareto Principales detenciones Filtrado Molibdeno.

Fuente: Análisis detenciones Filtrado Molibdeno Gerencia de Mantenimiento.

Si bien este Pareto entrega las principales detenciones, del equipo, no solo son esos los modos de falla del filtro, debido a que se deben analizar con mayor profundidad los componentes del equipo, pero este diagrama ayudará junto con otras herramientas a la definición y canalización de los recursos.

2.4.5. Indicadores de Mantenibilidad Filtro Molibdeno.

Los indicadores de mantenimiento son herramientas que permiten medir la calidad y eficiencia de las estrategias de mantenimiento que llevan a cabo las organizaciones para alcanzar los objetivos establecidos.

Los indicadores son muy importantes para los encargados de realizar las gestiones de mantenimiento, porque permiten analizar las rutinas de trabajo, los equipos encargados del mantenimiento, los equipos y la operación.

Tener en cuenta y medir estos indicadores son de gran apoyo para definir las lineamientos hacia la mejora continua dentro de las gestiones en mantenimiento así como buscar cambiar el enfoque de estas con nuevas herramientas que permitan lograr llegar a los indicadores que se definan previamente para los equipos e instalaciones en general.

Para poder establecer estos indicadores, se debe tener en cuenta que es posible medir y analizar todas las actividades que generen valores en el mantenimiento y posteriormente definir que indicadores de desempeño son los más importantes para definir qué hacer con las tareas de mantenimiento.

Algunos de los indicadores más importantes que se requieren son:

- Tiempo medio entre fallas (MTBF)
- Tiempo medio de reparación (MTTR)
- Mantenibilidad (A_MAN)



Gráfico 2-2: Consolidado 2023 Indicadores de Mantenimiento Filtro Molibdeno.

Fuente: Departamento Confiabilidad Gerencia de Mantenimiento.

2.5. IMPLEMENTACIÓN AMEF

2.5.1. Criterios para determinar criticidad.

Una tabla de criticidad se construye y determina tomando los activos, sistemas o subsistemas (componentes) se analizan si las fallas que afectan a estas divisiones afectan la disponibilidad de la operación.

El análisis de criticidad genera una lista de los componentes más críticos al menos crítico donde se puede partir por un elemento individual a lo más general del sistema.

Los criterios más utilizados son seguridad, ambiente, producción, costos (operación y mantenimiento) y frecuencia de fallas.

Ejemplo de un modelo de criticidad es el de modelo de factores ponderados basados en la teoría del riesgo.

Donde tenemos que:

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

Donde frecuencia es el número de eventos en un tiempo determinado y la consecuencia puede determinarse por el impacto operacional sumado a los costos de mantenimiento y al impacto que se produce en cuanto a higiene, ambiente y seguridad (SAH)

2.5.2. Análisis modo de falla y efectos.

El AMEF (Análisis de Modos de Fallos y Efectos), será utilizado en este trabajo para identificar los modos y efectos de fallo del activo filtro-prensa larox de la etapa de filtrado de molibdeno, para luego generar una hoja de información RCM que permita seleccionar las tareas de mantenimiento en base a los efectos de las fallas.

Realizar este análisis permite identificar todos los modos de falla posible de los componentes del equipo y sus efectos con el objetivo de presentar un plan de mantenimiento con tareas específicas que busquen mejorar los indicadores que pueden afectar estas fallas dentro del proceso.

Para ilustrar el proceso se seleccionaron tres componentes con su respectivo análisis, función, falla funcional y efecto.

#	COMPTE.	FUNCIÓN	#	FALLA FUNCIONAL	#	MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA Evidente o No / Afecta SHA / Efecto Op. (síntomas)		
1	Diafragmas	Garantizar la presión ideal entre 8 a 10 bares para que se produzca el filtrado	1A	No suministra la presión ideal para el conjunto de placas y tela	1A.1	Rotura de diafragma por presión	SI	NO	Filtro no alcanza la presión necesaria (8 a 10 bar) para regular los milímetros de la torta y realizar el prensado de esta
					1A.2	Desgasta por abrasión	SI	NO	Filtro no alcanza la presión necesaria para regular los milímetros de la torta y realizar el prensado de esta
2	Raspador tela filtrante	Garantizar la limpieza y descarga total de la torta filtrada en la tela	2A	No garantiza descarga total de la torta filtrada en la tela	2A.1	Desplazamiento de raspador por vibración	NO	NO	La tela filtrante es limpiada de forma irregular, no se desprende el concentrado en su totalidad
					2B.2	Desgaste por uso	NO	NO	Descarga incompleta de la torta, la tela no es limpiada en su totalidad
3	Tela filtrante	Realizar filtrado a la pulpa de concentrado molibdeno mediante presión generada de 8 a 10 bares obteniendo concentrado de molibdeno con 5% de humedad	3A	Pulpa se filtra por la tela	3A.1	Rotura de tela por sobrecarga	SI	NO	Perdida parcial de la capacidad de filtrado, se debe detener equipo de forma inmediata

4	Rodillos tela filtrante	Garantizar la correcta posición y tensión de la tela filtrante	4A	Tela se desplaza y pierde tensión	4A.1	Desgaste por uso	NO	NO	Equipo se detiene inmediatamente por desalineamiento de tela
					4A.2	Desgastado por abrasión	NO	NO	Equipo se detiene inmediatamente por pérdida de tensión de tela para el filtrado
5	Placas de filtrado	Garantizar la estabilidad de las cargas, seguridad operacional y de las personas	5A	Perdida de seguridad en la operación	5A.1	Placa deformada por presión de pulpa	NO	SI	La placa pierde su alineación, por lo que la seguridad de los equipos se ve afectada, pérdida de la capacidad de presión y estabilidad
		Mantener la presión y grosor de la torta filtrada	5B	Perdida de presión	5B.1	Desgastado por uso	NO	SI	No se alcanza la presión requerida por el equipo, se debe evaluar la posibilidad de reemplazar placas
6	Canalización eléctrica e instrumental	Proteger los conductores de cualquier daño, ya sea mecánico o derivado de la acción de otros agentes del medio	6A	Perdida de protección de los elementos de conducción eléctrica e instrumental	6A.1	Rotura de canalización	SI	SI	Perdida de protección del cableado y fibra eléctrica e instrumentación, posible pérdida de control del equipo
					6A.2	Dañado por derrame	SI	SI	Contaminación del cableado y fibra del equipo, pérdida de control de este y detención de la operación, posible daño a los operadores por contacto
					6A.3	Suelto por vibración	SI	SI	Interrupción de la señal de control del equipo filtro prensa

7	Bomba hidráulica 1 y 2	Suministrar aceite hidráulico para lubricación y componentes hidráulicos filtro a una presión de 250 bares	7A	Perdida de suministro de aceite	7A.1	Fractura de eje	SI	NO	Filtro de molibdeno sin suministro de aceite para lubricación y accionamiento de sistemas hidráulicos
			7B	Suministro de aceite bajo los 250 bares	7B.1	Impulsor descalibrado por uso	SI	NO	Perdida parcial o total del suministro de aceite, se debe evaluar condición de la bomba
8	Estanque unidad hidráulica	Almacenar y contener aceite hidráulico para el filtro con capacidad de 250 litros	8A	Perdida de contención del fluido	8A.1	Fisurado por corrosión	NO	SI	Contaminación y/o pérdida del aceite por efectos de la corrosión en el estanque
					8A.2	Rotura por desgaste de estanque	SI	SI	Perdida parcial o total del aceite hidráulico, no existe el mínimo de aceite requerido por el sistema para iniciar la operación del equipo
9	Piping oleohidráulico	Distribuir el aceite hidráulico para lubricación y accionamiento de los componentes hidráulicos	9A	No hay flujo de aceite hacia filtro y componentes	9A.1	Obstruido por sobrecarga	NO	SI	Perdida parcial o total del flujo de aceite hidráulico dentro del equipo, no se cumplen con los estándares de operación, se detiene equipo
10	Intercambiador de calor	Garantizar el intercambio de temperatura con el agua refrigerante, para mantener el aceite a menos de 50°C	10A	No realiza enfriamiento al agua refrigerante que circula por el filtro	10A.1	Deformado por sobrecarga	NO	NO	La temperatura del aceite tiende a subir, se debe revisar equipo antes de generar alarma
					10A.2	Fracturado por impacto de carga	SI	NO	La temperatura del aceite sube, superando los 50°C, el equipo se detiene por alarma

11	Calefactor unidad hidráulica	Mantener el aceite de lubricación en los valores de Set Point A, aceite sobre los 10°C para operación	11A	Temperatura del aceite fuera de los valores de Set Point	11A.1	Dañado por aislación	SI	SI	El aceite hidráulico no alcanza la temperatura mínima para iniciar la operación del equipo
12	Motor unidad hidráulica	Transformar la energía mecánica a energía cinética	12A	No transformar la energía mecánica a energía cinética	12A.1	Desgaste de eje por uso	NO	NO	Motor no acciona, no existe presión suficiente para inyectar aceite hidráulico al equipo
					12A.2	Suelto por vibración	SI	SI	Perdida de motor por exceso de vibraciones, se debe detener motor y pausar operación
					12A.3	Brida suelta por vibración	NO	SI	Pérdida de la capacidad para entregar aceite hidráulico con presión estable al equipo
					12A.4	Rodamientos eje dañados por alineamiento	NO	SI	Motor unidad hidráulica con exceso de vibraciones, riesgo de corte de eje
13	Block de válvulas	Divide el flujo hidráulico a diferentes componentes del filtro	13A	No existe una correcta distribución del aceite hidráulico dentro del filtro y sus componentes	13A.1	Block obstruido por carga	SI	NO	Equipo presenta mala distribución del aceite hidráulico, existen componentes que no se accionan y/o no están lubricados
14	Piping neumático	Transporte de aire a presión para secado de la torta y accionamiento de componentes neumáticos	14A	Perdida parcial o total del suministro de aire hacia el filtro de molibdeno	14A.1	Piping suelto por vibración	SI	SI	Se detiene el suministro de aire comprimido, se ve afectada la seguridad de los operadores
					14A.2	Corrosión por efectos del ambiente	SI	SI	Suministro de aire de secado para la torta se ve interrumpido parcial o totalmente, no se realiza un secado eficiente del concentrado
					14A.3	Desgaste de piping por abrasión del aire	NO	SI	Perdida parcial o total del suministro de aire por fugas en el sistema, se debe detener suministro de aire hacia el equipo

15	Tablero alimentación instrumentación	Enviar señales de control y suministrar energía eléctrica al equipo	15A	Pérdida de la señal del tablero hacia el equipo	15A.1	Suelto por vibración	SI	SI	Componentes, botoneras del tablero sueltos, se pierda capacidad de operación
					15A.2	Humedo por hermeticidad	NO	SI	Se detiene el equipo por el riesgo de componentes húmedos por parte eléctrica
16	Valvula pinch	Alivia la presión del sistema cuando esta alcanza sobre 20-30 psi mayor 280 psi	16A	Válvula no abre para aliviar presión del sistema	16A.1	Válvula descalibrada	NO	SI	Afecta la seguridad operacional del equipo

Tabla 2-1: AMEF Filtro Molibdeno.

Fuente: Elaboración propia en base a análisis del equipo.

2.5.3. Número de prioridad de riesgo RPN.

El RPN por sus siglas Risk Priority Number, es una medida cuantitativa que se emplea al realizar un análisis de modos de fallas y efecto (AMEF). Este se utiliza para determinar cuáles son aquellos modos de falla que requieren mayor atención y la asignación prioritaria de recursos para que así prevenir o disminuir los problemas para la organización.

El RPN se calcula mediante el producto de tres factores:

$$RPN = S \times O \times D$$

El primer factor que se observa es la severidad (S), este factor representa el impacto o las consecuencias que provoca el modo de falla que se analiza, ya sea en un proceso, sistema o equipo.

La ocurrencia (O) es la probabilidad de que el modo de falla ocurra en un tiempo determinado

Por último la detección (D) es la capacidad de detectar el modo de falla antes de que este ocurra y tenga un impacto negativo para el proceso.

Cada uno de estos factores se evalúa de 1 a 10, en el caso de la severidad 1 es el menos grave y 10 el grave, en el caso de la ocurrencia, 1 es una probabilidad de ocurrencia baja y 10 una alta probabilidad y para el factor detección 1 significa una alta probabilidad de ser detectado y 10 una baja probabilidad de detección.

Cuando el RPN para cada modo de falla es calculado, este se utilizará para determinar cuál de estos modos de falla representan riesgos mayores dentro del proceso y para la organización para así entregarles mayor prioridad y así también una mayor cantidad de recursos.

Tabla 2-2: Número prioridad de riesgo componentes Filtro Molibdeno.

Componentes filtro presión	Severidad (S)	Probabilidad de Ocurrencia (O)	Probabilidad de Detección (D)	RPN	Riesgo
Diafragmas	6	5	5	150	Alto
Tela Filtrante	4	7	4	112	Alto
Raspador de tela	5	2	4	40	Medio
Rodillos	5	2	5	50	Medio

Placas de filtrado	7	4	3	84	Alto
Motor unidad hidráulica	9	2	4	72	Alto
Ventilador refrigerante	8	1	4	32	Medio
Estanque unidad hidráulica	5	2	2	20	Bajo
Cilindro hidráulico	5	1	3	15	Bajo
Válvula alivio de presión	8	1	3	24	Bajo
Sensor de presión	5	3	1	15	Bajo
Piping neumático	6	4	3	72	Alto
Columnas filtro de presión	6	2	2	24	Medio
Canalización eléctrica/instrumental	1	2	1	2	Bajo

Fuente: Elaboración propia en base a análisis de antecedentes Filtro Molibdeno.

2.5.4. Hoja de decisión RCM.

La hoja de decisión es una herramienta utilizada para poder observar de forma ordenada las fallas funcionales, así como modos y efectos de falla para así proponer tareas para dar solución a las problemas que se han detectado .

Para poder realizar la hoja de decisión se debe tomar la información entregada por el AMEF, esta se compara paso a paso con el árbol de decisión.

Es en esta instancia en donde los modos de falla se analizan uno por uno, identificando si este es evidente para ser detectado por la operación mediante la pérdida de función del activo, posteriormente se procede a evaluar según el diagrama de decisión el impacto que tiene el modo de falla, para la seguridad de las personas, del ambiente o para el efecto operacional que este genera.

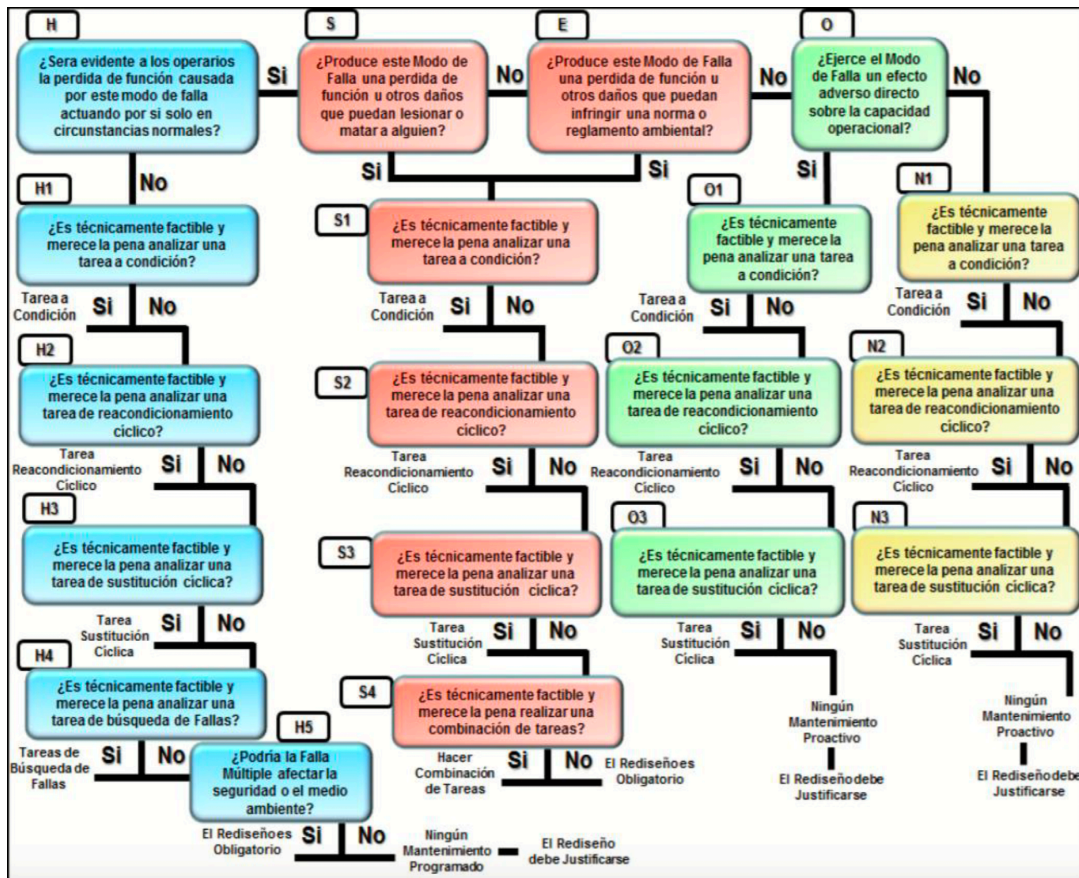


Figura 2-4: Arbol de decisión AMEF.

Fuente: Extraído presentación Gestion de activos USM.

Este diagrama es una orientación para evaluar los modos de fallo que afectan al activo. Las categorías del árbol de decisión son las siguientes:

- H: Para evaluar si la pérdida de función causada por ese modo de falla es evidente
- S: Para evaluar si el modo de falla produce pérdida de función u otros daños que pueden causar lesiones o un accidente fatal.
- E: Para evaluar si el modo de falla produce un impacto ambiental
- O: para evaluar si el modo de falla produce un impacto en la capacidad y continuidad operacional

En la hoja de decisión de RCM las primeras tres columnas corresponden a las letras F para función, FF falla funcional y MF para el modo de falla, todo esto de acuerdo a la asignación previa realizada en el AMEF. Las siguientes columnas corresponden a la letra H, S, E, O y N, estas como corresponden a la evaluación que tienen las consecuencias del modo de falla. En cada una de estas se deben ir anotando las respuestas al evaluar el modo de falla en el árbol de decisión.

Una vez evaluado cada modo de falla identificado se procede a la propuesta de las tareas y quien será el responsable de la ejecución.

Cuando se logran obtener todas las tareas de mantenimiento que serán propuestas en base a la metodología se proceden a evaluar para determinar si el plan de mantenimiento propuesto podrá mejorar los índices e indicadores que se quieren revisar y ver el beneficio que la implementación del plan puede producir en la organización. Sin embargo esta evaluación puede resultar en un resultado contrario a lo que el dueño del activo requiere, por lo tanto, la revisión debe ser exhaustiva y minuciosa para no cometer errores al momento de aprobar o rechazar un plan de mantenimiento.

A continuación en la tabla 2-X se presenta un extracto de la hoja de decisión para cada modo de falla que se ha identificado del equipo, la programación de cada tarea se ha decidido y establecido en base a las recomendaciones entregadas por el departamento de confiabilidad, también a la evidencia y tareas que ya se están realizando en el equipo, se programan de forma semanal de acuerdo al formato ya establecido por parte de los departamentos de mantenimiento.

Referencia de información			Consecuencia de evaluación				H1	H2	H3	H4	H5	Tarea propuesta	Frecuencia (Semanas)	Responsable
							S1	S2	S3	S4				
O1	O2	O3												
F	FF	MF	H	S	E	O	N1	N2	N3					
1	1A	1A.1	SI	NO	NO	SI	NO	NO	SI		Cambio de diafragmas por desgaste, manteniendo condición original del fabricante	24	MEC	
		1A.2	SI	NO	NO	SI	NO	NO	SI		Cambio de diafragmas por desgaste, manteniendo condición original del fabricante	24	MEC	
2	2A	2A.1	SI	NO	NO	SI	NO	NO	SI		Cambiar raspador de tela filtro de presión concentrado molibdeno manteniendo condición original del fabricante	24	MEC	
		2B.2	SI	NO	NO	SI	NO	NO	SI		Cambiar raspador de tela filtro de presión concentrado molibdeno manteniendo condición original del fabricante	1	MEC	
3	3A	3A.1	NO				SI				Inspeccionar superficie de tela filtrante por daños idenfificando rasgaduras, desgastes o desprendimientos	1	MEC	
4	4A	4A.1	NO				SI				Inspeccionar superficie de rodillos por desgaste	1	MEC	
		4A.2	NO				NO	SI			Lubricar sistema tensor tela filtro de presión concentrado, aplicar grasa EP2	12	LUB	
5	5A	5A.1	SI	SI			SI				Medir pandeo de placas de filtrado filtro de presión, no debe presnetar deformaciones mayores a 34 mm	24	MEC	
	5B	5B.1	SI	SI			SI				Inspeccionar alineaminto de placas de acuerdo a condiciones originales	24	MEC	

Tabla 2-3: Hoja de decisión RCM

Fuente: Elaboración propia en base a los modos de falla del equipo.

CAPÍTULO 3: TAREAS DE MANTENIMIENTO EN BASE A METODOLGIA
RCM.

3. PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD DE LA ETAPA DE FILTRADO DE MOLIBDENO.

Cada uno de los planes de mantenimiento que se generan deben ser integrales y deben estar dentro de los parámetros, objetivos y políticas de la compañía. Se busca la elaboración de un plan de mantenimiento que logre aumentar la disponibilidad de los equipos. Bajo esta premisa es que el plan de mantenimiento que será propuesto debe estar de acuerdo con estos lineamientos así como también adecuarse a los recursos disponibles dentro de la áreas de mantenimiento.

Luego de realizar los análisis correspondientes a las fallas funcionales que fueron detectadas, mediante la aplicación del FMECA, se realiza un plan de mantenimiento en donde se encuentran tareas preventivas, correctivas y predictivas.

3.1. PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN PARA PLAN DE MANTENIMIENTO EN RCM.

Tras definir la metodología mediante la cual se formulará el plan de mantenimiento, se debe determinar la forma en que se implementará y cuál es la mejor forma para poder realizarlo.

En este caso los encargados de planificar las tareas según los requerimientos es la Gerencia de Mantenimiento y Gestión de Activos, de Minera Caserones, mediante los departamentos de confiabilidad y planificación. Esto se debe realizar según la cantidad de tareas de mantenimiento y sus definición, si son tareas predictivas, correctivas, tareas a condición o tareas de rediseño. Cómo antes se mencionó se deben acotar las tareas y la forma de ejecutarlas, pensando en que se deben planificar y ejecutar las tareas de otros activos en conjunto con las del área de filtrado de molibdeno.

Cada una de las tareas son cargadas en la plataforma para su planificación, ejecución, para generar los planes, los plazos, ejecución y revisión, esto con cada tipo de tarea que se ha.

Si bien en este trabajo se dan los análisis para poder encontrar los modos de fallas, jerarquizar y por ende encontrar las tareas necesarias para realizar los cambios requeridos, se debe tener en cuenta que un RCM por lo general se compone de operarios supervisores y especialistas, cada uno con una función detallada. La idea de contar con cada una de estos actores es poder tener la mayor cantidad de información necesaria para poder llevar a cabo los análisis de los activos, sistemas y subsistemas.

3.1.1. Programa de mantenimiento.

Luego del análisis que se realizó en el segundo capítulo, en base al AMEF, la hoja de decisión y todos aquellos que se hicieron para el equipo, es necesario plasmar aquellas tareas que se van a realizar y se han resultado de los análisis detallados de los modos de falla y que tienen como objetivo realizar cambios en las estrategias de mantenimiento actuales que se realizan al equipo.

Las tareas que se derivan de este análisis son un total de 49 tareas, desde inspecciones, ensayos no destructivos, mantenimientos y cambios directamente desde los componentes que se analizaron.

3.1.1.1. Planificación de las tareas.

La planificación de tareas de las tareas se realizará de acuerdo a los estándares y formato que se utiliza dentro de la gerencia de mantenimiento, en las áreas de planificación y confiabilidad y es por la cual se realizan las tareas que existen hoy en día en las diferentes áreas de plantas y mina.

Por lo general, fuera de las tareas que son mantenimientos generales de los equipos, mantenciones menores o mantenciones mayores, las tareas se planifican de forma semanal, se han programado tareas las cuales son semanales, cada 3 semanas, 24, 48 y hasta las 96 semanas. Por lo general las tareas que son semanales son aquellas tareas que representan tareas de carácter preventivo, estas corresponden principalmente a tareas de vigilancia e inspección de componentes, estas pueden considerarse como de alta frecuencia y aquellas tareas que se realizan en un periodo mayor corresponden a aquellas que tienen que ver con sustitución de componentes o subsistemas, reparación o cambio de estos, estas tareas son consideradas tareas de baja frecuencia.

Cada una de las tareas propuestas se ha hecho en base a la experiencia entregada, por operadores, mantenedores e ingenieros del área de confiabilidad.

El formato de las tareas propuestas para el equipo y sus componentes se puede observar en la tabla 3-1.

#	MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA Evidente o No / Afecta SHA / Efecto Op. (síntomas)		TAREA PROPUESTA	Frecuencia semanal	Especialidad Pto de Trabajo	Estado del equipo	N° de personas propuesta	Duración horas propuesta	HH ejecución	HH anual	Costo Técnico de MTTO (USD/hora)
		SI	NO									
1A.1	Rotura de diafragma por presión	SI	NO	Filtro no alcanza la presión necesaria (8 a 10 bar) para regular los milímetros de la torta y realizar el prensado de esta	24	MEC	Detenido	4	5	20	43,33	99,67
1A.2	Desgasta por abrasión	SI	NO	Filtro no alcanza la presión necesaria para regular los milímetros de la torta y realizar el prensado de esta	24	MEC	Detenido	4	5	20	43,33	99,67
2A.1	Desplazamiento de raspador por vibración	NO	NO	La tela filtrante es limpiada de forma irregular, no se desprende el concentrado en su totalidad	24	MEC	Detenido	2	5	10	21,67	49,83
2B.2	Desgaste por uso	NO	NO	Descarga incompleta de la torta, la tela no es limpiada en su totalidad	24	MEC	Detenido	2	5	10	21,67	49,83

3A.1	Rotura de tela por sobrecarga	SI	NO	Perdida parcial de la capacidad de filtrado, se debe detener equipo de forma inmediata	Inspeccionar superficie de tela filtrante por daños identificando rasgaduras, desgastes o desprendimientos	1	MEC	Detenido	2	0,2	0,4	20,80	47,84
4A.1	Desgaste por uso	NO	NO	Equipo se detiene inmediatamente por desalineamiento de tela	Inspeccionar superficie de rodillos por desgaste	1	MEC	Detenido	1	2	2	104,00	239,20
4A.2	Desgastado por abrasión	NO	NO	Equipo se detiene inmediatamente por perdida de tensión de tela para el filtrado	Lubricar sistema tensor tela filtro de presión concentrado, aplicar grasa EP2	12	LUB	Detenido	2	3	6	26,00	59,80
5A.1	Placa deformada por presión de pulpa	NO	SI	Placa pierde su alineación, la seguridad de los equipos se ve afectada, perdida de la capacidad de presión y estabilidad	Medir pando de placas de filtrado filtro de presión, no debe presentar deformaciones mayores a 34 mm	24	MEC	Detenido	3	41	123	266,50	612,95
5B.1	Desgastado por uso	NO	SI	No se alcanza la presión requerida por el equipo, se debe evaluar la posibilidad de reemplazar placas	Inspeccionar alineamiento de placas de acuerdo a condiciones originales	24	MEC	Detenido	3	2	6	13,00	29,90
6A.1	Rotura de canalización	SI	SI	Perdida de protección del cableado y fibra eléctrica e instrumentación,	Cambio de canalización		ELE C	Detenido	2	0,5	1		

				posible pérdida de control del equipo									
6A.2	Dañado por derrame	SI	SI	Contaminación del cableado y fibra del equipo, pérdida de control de este y detención de la operación, posible daño a los operadores por contacto	Revisar sellado de canalización por contaminación, canalización sin defectos, fisuras o falta de sello	12	ELE C	Detenido	2	0,25	0,5	2,17	4,98
6A.3	Suelto por vibración	SI	SI	Interrupción de la señal de control del equipo filtro prensa	Inspeccionar superficie de canalización por daños, canalización sin deformación, daños y que se encuentre afianzada	1	ELE C	Operando	2	0,5	1	52,00	119,60
7A.1	Fractura de eje	SI	NO	Filtro de molibdeno sin suministro de aceite para lubricación y accionamiento de sistemas hidráulicos	Cambiar inserto acoplamiento eje, dentro de los límites de capacidad de desalineamiento	48	MEC	Detenido	2	5	10	10,83	24,92
7B.1	Impulsor descalibrado por uso	SI	NO	Perdida parcial o total del suministro de aceite, se debe evaluar condición de la bomba	Cambiar bomba unidad hidráulica por uso, se debe obtener presión, caudal y rpm de acuerdo a diseño	96	MEC	Detenido	2	5	10	5,42	12,46

8A.1	Fisurado por corrosión	NO	SI	Contaminación y/o pérdida del aceite por efectos de la corrosión en el estanque	Limpia interior de estanque por corrosión y suciedad, eliminar la presencia de la corrosión y borras	48	MEC	Detenido	3	5	15	16,25	37,38
8A.2	Rotura por desgaste de estanque	SI	SI	Perdida parcial o total del aceite hidráulico, no existe el mínimo de aceite requerido por el sistema para iniciar la operación del equipo	Inspeccionar nivel de aceite hidráulico estanque, este se debe encontrar en la cantidad mínima de operación del equipo	1	LUB	Operando	2	0,1	0,2	10,40	23,92
9A.1	Obstruido por sobrecarga	NO	SI	Perdida parcial o total del flujo de aceite hidráulico dentro del equipo, no se cumplen con los estándares de operación, se detiene equipo	Inspeccionar piping alimentación y retorno, flexibles, adaptadores y conexiones por fugas o soldaduras	1	MEC	Operando	2	0,2	0,4	20,80	47,84
10A.1	Deformado por sobrecarga	NO	NO	La temperatura del aceite tiende a subir, se debe revisar equipo antes de generar alarma	Limpia núcleo de intercambiador por acumulación de carga, dejar intercambiador sin obstrucciones	24	MEC	Detenido	2	1	2	4,33	9,97
10A.2	Fracturado por impacto de carga	SI	NO	La temperatura del aceite sube, superando los 50°C, el equipo se detiene por alarma	Realizar termografía aceite intercambiador, medir y registrar temperatura aceite, temperatura de entrada entre 38°C a 54°C	3	LUB	Operando	2	0,5	1	17,33	39,87

11A.1	Dañado por aislación	SI	SI	El aceite hidráulico no alcanza la temperatura mínima para iniciar la operación del equipo	Medir y registrar resistencia del elemento, resistencia según $R=V*V/P$ [OHMS], P=3KW	24	ELE C	Detenido	2	0,5	1	2,17	4,98
12A.1	Desgaste de eje por uso	NO	NO	Motor no acciona, no existe presión suficiente para inyectar aceite hidráulico al equipo	Cambiar inserto acoplamiento eje, dentro de los límites de capacidad de desalineamiento	48	MEC	Detenido	2	5	10	10,83	24,92
12A.2	Suelto por vibración	SI	SI	Perdida de motor por exceso de vibraciones, se debe detener motor y pausar operación	Medir termografía y vibraciones motor unidad hidráulica límites de alarmas según norma ISO 10.816 A1: 4,5 mm/s (RMS) A2:7,10 mm/s (RMS)	3	MCN	Operando	2	2,5	5	86,67	199,33
12A.3	Brida suelta por vibración	NO	SI	Pérdida de la capacidad para entregar aceite hidráulico con presión estable al equipo	Inspeccionar superficie de bridas, flexibles y conexiones. Condición optima sin filtraciones, ni presencia de humedad	1	MEC	Operando	2	0,2	0,4	20,80	47,84
12A.4	Rodamientos eje dañados por alineamiento	NO	SI	Motor unidad hidráulica con exceso de vibraciones, riesgo de corte de eje	Medir y registrar temperatura con cámara termográfica a rodamiento lado eje, esta debe ser menor a 80°C	3	MCN	Operando	2	0,5	1	17,33	39,87

13A.1	Block obstruido por carga	SI	NO	Equipo presenta mala distribución del aceite hidráulico, existen componentes que no se accionan y/o no están lubricados	Inspeccionar visualmente estanqueidad de conexiones para encontrar posibles fugas	1	MEC	Operando	2	0,2	0,4	20,80	47,84
14A.1	Piping suelto por vibración	SI	SI	Se detiene el suministro de aire comprimido, se ve afectada la seguridad de los operadores	Inspeccionar tubería, flexibles, adaptadores y conexiones sueltos por vibración	1	MEC	Operando	2	0,2	0,4	20,80	47,84
14A.2	Corrosión por efectos del ambiente	SI	SI	Suministro de aire de secado para la torta se ve interrumpido parcial o totalmente, no se realiza un secado eficiente del concentrado	Inspeccionar tubería, flexibles, adaptadores y conexiones para encontrar corrosión	1	MEC	Operando	2	0,2	0,4	20,80	47,84
14A.3	Desgaste de piping por abrasión del aire	NO	SI	Perdida parcial o total del suministro de aire por fugas en el sistema, se debe detener suministro de aire hacia el equipo	Inspeccionar tubería, fittings y conexiones para encontrar daños o fisuras	5	MEC	Operando	2	0,2	0,4	4,16	9,57
15A.1	Suelto por vibración	SI	SI	Componentes, botoneras del tablero sueltos, se pierda capacidad de operación	Inspeccionar tablero alimentación instrumentación filtro de presión verificando que se encuentre sin golpes, afianzado y anclado	1	ELE C	Operando	1	2	2	104,00	239,20

15A.2	Húmedo por hermeticidad	NO	SI	Se detiene el equipo por el riesgo de componentes húmedos por parte eléctrica	Inspeccionar sellado equipo asegurando que no ingresen partículas contaminantes al interior	12	ELE C	Detenido	2	0,2	0,4	1,73	3,99
16A.1	Válvula descalibrada	NO	SI	Afecta la seguridad operacional del equipo	Cambiar manga válvula pinch, realizar ajuste de acuerdo de acuerdo a condiciones de origen	24	MEC	Detenido	2	1	2	4,33	9,97

Tabla 3-1: Inventario de tareas propuestas por modos de falla.

Fuente: Elaboración propia en base a los modos de falla del equipo

Todas las tareas de mantenimiento derivadas de este caso, se deben ordenar como pautas con el siguiente formato, hecho en base a las pautas de mantenimiento de la Gerencia de Mantenimiento y gestión de activos.

N° Pauta propuesta VF	TITULO PAUTA	Estado del Equipo
PM_PMO_0001	IS LUB INSPECCIONAR NIVELES DE ACEITE FILTRO DE PRESION CONCENTRADO MOLIBDENO	OPERANDO
PM_PMO_0002	IS MEC INSPECCIONAR GENERAL FILTRO DE PRESION CONCENTRADO MOLIBDENO	OPERANDO
PM_PMO_0003	IS ELE INSPECCIONAR TABLERO ALIMENTACION INSTRUMENTACION FILTRO DE PRESION CONCENTRADO MOLIBDENO	OPERANDO

Figura 3-1: Tareas de mantenimiento semanales Filtro Molibdeno.

Fuente: Elaboración propia en base a formato departamento de confiabilidad.

A continuación se observa el resto de la planilla con datos como el especialista que se va a encargar de las tareas y un dato sumamente importante que es las HH calculadas para cada tarea.

Frecuencia propuesta	Ubicación Técnica del Equipo	ID TAREA	Especialidad Pto. Tb. Ejec. propuesta	Máx. de N° de Personas propuesta	Suma de HH propuesta	Suma de HH Anual propuesta
1	8-4000-4540-FL003	INSP	LUB	2	0,4	20,8
1	8-4000-4540-FL003	INSP	MEC	2	3,6	187,2
1	8-4000-4540-FL003	INSP	ELE	2	4	208,0

Figura 3-2: Continuación tareas de mantenimiento.

Fuente: Elaboración propia en base a formato departamento de confiabilidad.

3.1.2. Distribución de horas para la ejecución.

Para la ejecución de las tareas de mantenimiento que se proponen en el RCM se considerará una suma total de 1027 HH totales al año. Las cuales estarán distribuidas de acuerdo al tipo de intervención que se realizará, como lubricación, eléctrico, monitoreo de condiciones y mecánico

Entonces las horas quedan distribuidas de la siguiente manera como se presentan en la tabla 3-2.

Tabla 3-2: HH estimadas para la ejecución de las tareas

Equipo	L-LUBHUM	L-TEMONC	E-TECMMF	L-TELEMR
8-4000-4540-FL003	57,5	104	827,46	39

Fuente: Elaboración propia.

Las categorías corresponden a:

- LUBHUM – Lubricación
- TEMONC – Monitoreo de condiciones
- TECMMF – Mecánico
- TELEMR – Eléctrico Instrumentista

3.1.3. Instancia de ejecución planes de mantenimiento.

La ejecución de los planes de mantenimiento es la última fase del proceso de mantenimiento. Así como todo el desarrollo del proceso, este debe estar bien estructurado y de manera clara, para que al momento de ejecutar las ordenes de trabajo se realice de forma ordenada y eficiente.

Las instancias de ejecución pueden ser semanal, mensual, semestral entre otros, las cuales dependen de la cantidad de semanas en que se ejecutaran las tareas.

3.1.4. Estructuras de pautas para SAP PM.

Las pautas de mantenimiento deben ser detalladas y deben tener una cantidad de información necesaria para poder entender cada uno de los aspectos de las tareas que se llevarán a cabo. La pauta debe contar con aspectos como los recursos humanos que se utilizarán, descripciones de los equipos y componentes, ubicaciones técnicas, número de pautas, tarea propuesta entre otros detalles para orientar la ejecución del plan de mantenimiento.

De acuerdo a la estructura utilizada en minera Caserones, se desarrolla una planilla para las pautas de mantenimiento. Esta planilla contiene la siguiente información: puesto de trabajo, descripción puesto de trabajo, número de pauta, ubicación técnica del equipo, equipo, estado del equipo, sistema, descripción de componente, objeto, tarea propuesta, número de operación, id tarea, título de pauta y plan de mantenimiento asociado a cada una de las tareas que se han desarrollado.

Todas las pautas y tareas que se proponen, están desarrolladas en base a los modos de falla que se han analizado anteriormente.

En las tablas que se muestran a continuación se observan la estructura ordenada para las pautas de trabajo de RCM aplicado al filtro de presión.

Puesto de trabajo	Descripción puesto de trabajo ejecutor propuesta	Especialidad Pto Trabajo ejec propuesta	N° pauta propuesta	Ubicación técnica del equipo	Equipo	Estado del equipo	Sistema	Descripción componente
E-TECMMF	TECNICO MECANICO MOLY Y CU	MEC	PM_PMO_0066	8-4000-4540-FLD03	Filtro de presión concentrado Moly	Detenido	Sistema estructural	DIAFRAGMAS
E-TECMMF	TECNICO MECANICO MOLY Y CU	MEC	PM_PMO_0067	8-4000-4540-FLD03	Filtro de presión concentrado Moly	Detenido	Sistema estructural	RASPADOR DE RODILLOS
E-TECMMF	TECNICO MECANICO MOLY Y CU	MEC	PM_PMO_0068	8-4000-4540-FLD03	Filtro de presión concentrado Moly	Detenido	Sistema estructural	RASPADOR TELA FILTRANTE
E-TECMMF	TECNICO MECANICO MOLY Y CU	MEC	PM_PMO_0069	8-4000-4540-FLD03	Filtro de presión concentrado Moly	Detenido	Sistema estructural	TELA FILTRANTE
E-TECMMF	TECNICO MECANICO MOLY Y CU	MEC	PM_PMO_0070	8-4000-4540-FLD03	Filtro de presión concentrado Moly	Detenido	Sistema Hidraulico	BOMBA 1 UNIDAD HIDRAULICA
E-TECMMF	TECNICO MECANICO MOLY Y CU	MEC	PM_PMO_0071	8-4000-4540-FLD03	Filtro de presión concentrado Moly	Detenido	Sistema Hidraulico	BOMBA 1 UNIDAD HIDRAULICA
E-TECMMF	TECNICO MECANICO MOLY Y CU	MEC	PM_PMO_0072	8-4000-4540-FLD03	Filtro de presión concentrado Moly	Detenido	Sistema Hidraulico	BOMBA 2 UNIDAD HIDRAULICA
E-TECMMF	TECNICO MECANICO MOLY Y CU	MEC	PM_PMO_0073	8-4000-4540-FLD03	Filtro de presión concentrado Moly	Detenido	Sistema Hidraulico	BOMBA 2 UNIDAD HIDRAULICA

Figura 3-3: Estructura pautas de mantenimiento para SAP PM.

Fuente: Elaboración propia en base a formato departamento de confiabilidad.

Tarea propuesta	N° pauta propuesta VF	N° operación	ID tarea	Nombre pauta	Componente pauta	TITULO PAUTA
CAMBIAR DIAFRAGMAS POR DESGASTE	PM_PMO_0066	1	CAMB	PAUTA DE CAMBIO	DIAFRAGMAS	245 MEC CAMBIAR DIAFRAGMAS FILTRO DE PRESION CONCENTRADO MOLIBDENO
CAMBIAR RASPADOR DE RODILLOS POR DESGASTE	PM_PMO_0067	1	CAMB	PAUTA DE CAMBIO	RASPADOR DE RODILLOS	245 MEC CAMBIAR RASPADOR DE RODILLOS FILTRO DE PRESION CONCENTRADO MOLIBDENO
CAMBIAR RASPADOR DE TELA POR DESGASTE	PM_PMO_0068	1	CAMB	PAUTA DE CAMBIO	RASPADOR DE TELA	245 MEC CAMBIAR RASPADOR DE TELA FILTRO DE PRESION CONCENTRADO MOLIBDENO
CAMBIAR TELA FILTRANTE POR DESGASTE	PM_PMO_0069	1	CAMB	PAUTA DE CAMBIO	TELA FILTRANTE	245 MEC CAMBIAR TELA FILTRANTE FILTRO DE PRESION CONCENTRADO MOLIBDENO
CAMBIAR INSERTO ACOPLAMIENTO EJE POR DESGASTE	PM_PMO_0070	1	CAMB	PAUTA DE CAMBIO	INSERTO ACOPLAMIENTO EJE BOMBA 1 UNIDAD HIDRAULICA	485 MEC CAMBIAR INSERTO ACOPLAMIENTO EJE BOMBA 1 UNIDAD HIDRAULICA FILTRO DE PRESION CONCENTRADO MOLIBDENO
CAMBIAR BOMBA UNIDAD HIDRAULICA POR USO	PM_PMO_0071	1	CAMB	PAUTA DE CAMBIO	BOMBA UNIDAD HIDRAULICA BOMBA 1 UNIDAD HIDRAULICA	965 MEC CAMBIAR BOMBA UNIDAD HIDRAULICA BOMBA 1 UNIDAD HIDRAULICA FILTRO DE PRESION CONCENTRADO MOLIBDENO
CAMBIAR INSERTO ACOPLAMIENTO EJE POR DESGASTE	PM_PMO_0072	1	CAMB	PAUTA DE CAMBIO	INSERTO ACOPLAMIENTO EJE BOMBA 2 UNIDAD HIDRAULICA	485 MEC CAMBIAR INSERTO ACOPLAMIENTO EJE BOMBA 2 UNIDAD HIDRAULICA FILTRO DE PRESION CONCENTRADO MOLIBDENO
CAMBIAR BOMBA UNIDAD HIDRAULICA POR USO	PM_PMO_0073	1	CAMB	PAUTA DE CAMBIO	BOMBA UNIDAD HIDRAULICA BOMBA 2 UNIDAD HIDRAULICA	965 MEC CAMBIAR BOMBA UNIDAD HIDRAULICA BOMBA 2 UNIDAD HIDRAULICA FILTRO DE PRESION CONCENTRADO MOLIBDENO

Figura 3-4: Continuación estructura pautas SAP PM.

Fuente: Elaboración propia en base a formato departamento de confiabilidad.

El número de pauta propuesta no es correlativo y dependerá de en que orden se ingrese por parte el personal de planificación al sistema SAP PM.

3.1.5. Documentación.

Una vez creadas las órdenes y cargadas al sistema, se presentarán los planes de mantenimiento para quienes serán los ejecutores, esta será mediante una carta gantt que ha sido previamente revisada por los encargados de realizar el mantenimiento, para ejemplificar esto se puede observar en la siguiente figura la carga gantt correspondiente al mantenimiento bisemanal del filtro de molibdeno en el mes de septiembre.

Esta servirá para ejemplificar en cómo se plasman las tareas de mantenimiento que se pueden implementar y cuál será la estructura de esta, de tal manera que sea lo suficientemente clara y contenga toda la información necesaria para la ejecución.

MANTENIMIENTO BISEMANAL FILTRO MOLY									
Id	N° OT	Controles/Área críticos	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Pred	Responsable	
1			MANTENCIÓN BISEMANAL 4540FL003	12 hrs	01-09-23 8:00	01-09-23 20:00			
2			Actividades previas	0,5 hrs	01-09-23 8:00	01-09-23 8:30			
3	ECPS:1/2		Inspección y evaluación , parte superior (QAC) e inferior	0,5 hrs	01-09-23 8:00	01-09-23 8:30		FRANCISCO CASTILLO	
4			Detención de filtro de molibdeno	3 hrs	01-09-23 8:30	01-09-23 11:30			
5	ECPS:2		Bloqueo de filtro completo (Mecanico/Eléctrico)	0,5 hrs	01-09-23 8:30	01-09-23 9:00	3	ULISES VEJAR	
6	ECPS:2		Retiro de mangueras	0,5 hrs	01-09-23 9:00	01-09-23 9:30	5	ULISES VEJAR	
7	ECPS:2		Desbloqueo de filtro (Mecanico/Eléctrico)	0,5 hrs	01-09-23 9:30	01-09-23 10:00	6	ULISES VEJAR	
8	ECPS:2		Prueba de hermeticidad y verificar estado diafragma	0,5 hrs	01-09-23 10:00	01-09-23 10:30	7	ULISES VEJAR	
9	ECPS:2		Bloqueo de filtro (Mecanico/Eléctrico)	0,5 hrs	01-09-23 10:30	01-09-23 11:00	8	ULISES VEJAR	
10			Verificación de estado de energía cero	0,5 hrs	01-09-23 11:00	01-09-23 11:30	9	ULISES VEJAR	
11		4540FL003	Mantenimiento de filtro molibdeno	12 hrs	01-09-23 8:00	01-09-23 20:00			
12			Mantenimiento filtro mecánica	11 hrs	01-09-23 8:00	01-09-23 19:00			
13	ECPS:1/2		Revisión de valvulas	1 hr	01-09-23 11:30	01-09-23 12:30	10	ULISES VEJAR	
14	ECPS:1/2		Inspección de mangueras de alimentación de	0,5 hrs	01-09-23 12:30	01-09-23 13:00	13	ULISES VEJAR	
15	ECPS:1		Mantenimiento de sistema lavado de tela	0,3 hrs	01-09-23 13:00	01-09-23 13:18	14	ULISES VEJAR	
16	ECPS:1		Limpieza y lubricación de meza de polines ensacadora de molibdeno	0,5 hrs	01-09-23 13:18	01-09-23 13:48	15	HUGO MORALES	
17	ECPS:1		Inspección de paquete de placas	4 hrs	01-09-23 13:48	01-09-23 17:48	16	ULISES VEJAR	
18	ECPS:1		Limpieza de manifold	0,5 hrs	01-09-23 17:48	01-09-23 18:18	17	ULISES VEJAR	
19	ECPS:1		Limpieza de toberas	0,5 hrs	01-09-23 18:18	01-09-23 18:48	18	ULISES VEJAR	
20	ECPS:1		Inspección de tamices y toberas	0,5 hrs	01-09-23 18:48	01-09-23 19:18	19	ULISES VEJAR	
21	ECPS:1		Ajuste de raspadores	0,5 hrs	01-09-23 19:18	01-09-23 19:48	20	ULISES VEJAR	
22	ECPS:2		Revisión estado secadora	0,5 hrs	01-09-23 19:48	01-09-23 20:18	21	ULISES VEJAR	
23	ECPS:2		Se realizará ajuste o cambio de piezas deslizantes (teflones excéntricas) del filtro.	0,5 hrs	01-09-23 20:18	01-09-23 20:48	22	ULISES VEJAR	
24	ECPS:1/2		Revisar estado rodillos conducidos,motrices, revisar en forma visual estado revestimiento rodillos y nivelación de éstos	0,5 hrs	01-09-23 20:48	01-09-23 21:18	23	ULISES VEJAR	
25			inspección y evaluación de sellos equipo	3 hrs	01-09-23 11:00	01-09-23 14:00	9	ULISES VEJAR	
26			Inspección Evaluación diafragma 2-3-4	2 hrs	01-09-23 19:18	01-09-23 21:18	21C	ULISES VEJAR	
27		4540FN001	Mantenimiento de scrubber	2,5 hrs	01-09-23 11:30	01-09-23 14:00			
28	ECPS:1/2		Apertura escotilla silo y scrubber	0,5 hrs	01-09-23 11:30	01-09-23 12:00	10	ULISES VEJAR	
29	ECPS:1/2		Realizar limpieza de equipo	0,5 hrs	01-09-23 12:00	01-09-23 12:30	28	ARTURO CHIARELLA	
30	ECPS:1/2		Revisar estado del agitador	0,5 hrs	01-09-23 12:30	01-09-23 13:00	29	ULISES VEJAR	
31	ECPS:1/2		Revisar líneas del ventilador	0,5 hrs	01-09-23 13:00	01-09-23 13:30	30	ULISES VEJAR	
32	ECPS:1/2		Cierre de escotilla silo y scrubber	0,5 hrs	01-09-23 13:30	01-09-23 14:00	31	ULISES VEJAR	
33			Mantenimiento filtro eléctrico	2,5 hrs	01-09-23 11:30	01-09-23 14:00			
34	ECPS:2		Mantenimiento y limpieza tablero neumático X22	0,5 hrs	01-09-23 11:30	01-09-23 12:00	10	LUIS SAAVEDRA	



Figura 3-5: Carta gantt mantenimiento bisemanal Filtro Molibdeno.

Fuente: Programa de Mantenimiento Caserones.

3.2. COSTOS DE MANTENIMIENTO FILTRO MOLIBDENO.

La mayoría de las tareas de mantenimiento asociadas al filtro prensa de molibdeno son ejecutadas por personal propio de la compañía entre ellos personal de operaciones, mecánicos, eléctricos instrumentistas y lubricación. Cada uno de estos actores se involucra para que las tareas sean realizadas de forma eficiente.

Así como en todas las instalaciones de las diferentes plantas, en la planta de filtrado se recurre al apoyo de una empresa colaboradora de mantenimiento mecánico y eléctrico, el cual se ocupa de las tareas auxiliares y apoyo al personal mecánico propio.

Se debe considerar también los gastos por concepto de adquisición de repuestos, materiales y herramientas, teniendo en cuenta que la mayoría de estos deben estar en stock, ya sea asociados a las tareas de mantenimiento planificadas o considerando la calidad que se le da al equipo como cuello de botella y en donde los repuestos deben estar de forma inmediata para realizar los cambios en caso de que esto se requiera.

En cuanto a la implementación de un plan de mantenimiento basado en RCM así como se busca tratar de reducir los costos de mantenimiento, también se busca mejorar los indicadores de mantenibilidad que afectan al equipo, en este caso, se requiere buscar

un aumento de la disponibilidad total del filtro, por lo cual uno de los resultados esperados es obtener una mayor cantidad de concentrado de molibdeno, lo cual se espera que en comparación a los costos de las tareas sea compensado por las ganancias en la producción.

En lo que refiere a personal de trabajo para poder implementar las tareas de mantenimiento basado en el RCM, las HH que se han calculado pueden ser cubiertas por los 4 turnos, contando con el personal propio y personal externo, por lo que en cuanto a personal no se requeriría realizar un gasto mayor y aumentar los costos.

Esto es importante al momento de decidir el cambio de estrategia de mantenimiento, ya que los costos por personal, mecánico, eléctrico, lubricador o moncon ya se asumen por parte de la Gerencia de mantenimiento.

La gerencia de Mantenimiento y Gestión de Activos, en el área de mantenimiento plantas informó en el año 2023 por conceptos de mantenimiento del Filtro Molibdeno, un costo total de \$USD 222.591 que corresponden en pesos chilenos a \$202.506.614 y esto solo por conceptos de mantenimiento a este equipo. Algunos de los ítems que se detallan dentro de estos costos son:

- Preparativos mtto filtro 4540FL003
- Cambio de VV y diafragmas filtro Moly
- Mtto E&I Filtro presión Moly 4540
- Reserva de lubricantes
- Compra tela 28 mts por cambio

Cada uno de estos ítems están asociados a una OT, la cual es obligatoria al momento de solicitar los repuestos, materiales y los trabajos a realizar.

La siguiente tabla muestra el orden de la identificación de los costos, la cual corresponde a la tabla generada por la Gerencia de mantenimiento.

Volver		Actualizar Valores desde SAP				Total:	465.579	DobleClick Sobre el Número de la OT para ver Detalle.	
Per	Ce.coste	Denom.objeto	Cl.coste	Denom.cl.coste	Nº doc. Mov. Mer.	Descripción Doc. Mov. Mer.	Monto \$USD	Nº OT	Texto de OT
1	301001301	Mant. Esp Fl Sec Mo	7301210230	Materiales Menores d	1001444069	CEC MLCC/301001301	184,50	6557992	14D PREPARATIVO MTT0 FILTRO 4540FL003
1	301001301	Mant. Esp Fl Sec Mo	7301210240	Ferret y Herramient	1001448416	CEC MLCC/301001301	10,18	6557991	14 MTT0 MEC FILTRO PRESION MOLY 4540
1	301001301	Mant. Esp Fl Sec Mo	7301510060	Filtros	1001444068	CEC MLCC/301001301	1.132,00	6557990	14 MTT0 MEC FILTRO PRESION MOLY 4540
1	301001301	Mant. Esp Fl Sec Mo	7301210240	Ferret y Herramient	1001448416	CEC MLCC/301001301	29,42	6557991	14 MTT0 MEC FILTRO PRESION MOLY 4540
1	301001301	Mant. Esp Fl Sec Mo	7301210240	Ferret y Herramient	1001448416	CEC MLCC/301001301	114,31	6557991	14 MTT0 MEC FILTRO PRESION MOLY 4540
1	301001301	Mant. Esp Fl Sec Mo	7301510060	Filtros	1001448416	CEC MLCC/301001301	1.132,00	6557991	14 MTT0 MEC FILTRO PRESION MOLY 4540
1	301001301	Mant. Esp Fl Sec Mo	7301510160	Repuestos Mecánicos	1001444069	CEC MLCC/301001301	1.787,57	6557992	14D PREPARATIVO MTT0 FILTRO 4540FL003
1	301001301	Mant. Esp Fl Sec Mo	7301510060	Filtros	1001444077	CEC MLCC/301001301	6.000,88	6561764	CAMBIO DE VV Y DIAFRAGMAS FILTRO DE MOLY
1	301001301	Mant. Esp Fl Sec Mo	7301510160	Repuestos Mecánicos	1001444077	CEC MLCC/301001301	5.316,01	6561764	CAMBIO DE VV Y DIAFRAGMAS FILTRO DE MOLY

Figura 3-6: Extracto costos de mantenimiento Filtro Molibdeno.

Fuente: Elaboración propia en base a formato departamento de confiabilidad.

Si bien la cantidad de tareas propuestas, no busca solamente tratar de reducir los costos de mantenimiento globales en el filtro de molibdeno, sino más bien poder aumentar

la disponibilidad de este activo, junto con mejorar las confiabilidad y tener un MTBF y un MTTR menor, esto para que se tenga un aumento en la productividad del filtro.

Dentro de las oportunidades de mejora más importantes que se pueden rescatar de las tareas propuestas en este análisis están por ejemplo el cambio de tela de filtrado, antes de que está presente un mayor desgaste y así no impactar significativamente en la producción. Cada una de las telas de filtrado tiene un costo de \$US 7.127 y la vida útil de cada tela son de 5000 ciclos de filtrado, esto quiere decir aproximadamente 2.083 horas de filtrado considerando en promedio 25 minutos por cada ciclo. Actualmente una tela de filtrado llega a los 2800 ciclos de filtrado aproximadamente, es decir 1.166 horas aproximadamente, esto recogiendo los registros de operadores de mantenimiento se debe principalmente al uso de agentes o químicos externos en la operación, como lo son el uso de floculante en los espesadores o los reactivos en la etapa de flotación, los que desgastan de manera excesiva la tela disminuyendo su vida útil. Si bien la tela no alcanza a cumplir el ciclo completo para la cual está diseñada, los principales problemas están en no cambiar anticipadamente la tela, debido a que al empezar el desgaste se producen problemas como el deshilachado de la tela lo que en muchos caso tiene como consecuencia que esta se enrede en los rodillos tensores y esta tenga un desalineamiento, que provoca detenciones excesivas en el filtro. Cuando existe la carga necesaria de molibdeno, el filtro es capaz de producir un saco completo de concentrado de molibdeno cada 4 ciclos, siendo un saco de molibdeno comercializado en \$27.000.000 por lo que las reiteradas detenciones tienen un alto impacto en la producción de concentrado de molibdeno que se debe evitar con una tarea anticipada para el cambio de la tela.

Si el filtro tiene un operación completa en 24 horas, es capaz de producir 20 sacos por día por un total de \$540.000.000 aproximadamente, lo que equivale a \$22.500.000 por hora de producción.

Ahora bien si es importante analizar cada uno de los ítems de costos por el mantenimiento del filtro, estos análisis se hacen bajo la estricta observación de personal de operaciones, personal de mantenimiento en terreno y personal de mantenimiento de las áreas de confiabilidad de la empresa.

Los costos asociados a los cambios de componentes que son aquellos más importantes dentro del plan realizado a continuación no consideran gastos mayores a los que ya están establecidos dentro de los costos de mantenimiento que se han desglosado del años 2023 completo.

Cada uno de los gastos a realizar se ven compensados por un mayor Budget de productividad del concentrado de molibdeno, que en términos simples, compensaría cada

uno de los gastos que se requieren realizar al momento de cambiar los lineamientos del plan de mantenimiento.

Hasta la fecha los budget de los ítems de producción de molibdeno y costos por mantenimiento se mantienen dentro de los márgenes, sobre todo pensando en la producción que está en números verdes por sobre el budget proyectado mensual y anual.

Para determinar diferencia de costos en la implementación de este plan de mantenimiento, al igual que en los costos actuales de mantención del filtro del año 2023, se tomarán en cuenta aquellos costos que implican la ejecución de los trabajos de mantenimiento, no aquellos que corresponden a los gastos por concepto de horas hombre, contratos, liquidaciones, entre otros, esto a modo de poder comparar ambos mantenimientos, el actual y el propuesto con la información que se tiene disponible para realizar los análisis de una manera en que se pueda evidenciar si la implementación de un plan de mantenimiento basado en confiabilidad trae consigo un ahorro o beneficio en lo que a costos directos corresponde.

Para poder visualizarlo de una manera más clara, los costos se dividen en las tareas que se han propuesto anteriormente, de la siguiente forma:

Tabla 3-3: Costos de mantenimiento por tipo de tarea.

Tipo de tarea	Costo (\$USD)
Tareas de inspección	70.688
Tareas preventivas	54.586,74
Tareas correctivas	85.562,87

Fuente: Elaboración propia en base a análisis de los costos

Así con los costos de mantenimiento que se tienen del año 2023 se puede obtener la diferencia al implementar uno de estos mantenimientos.

Tabla 3-4: Diferencia de costos actuales y proyectados

Costos mantenimiento actual año 2023	232.591
Costos mantenimiento propuesta plan de mantenimiento	210.838
Ahorro potencial	21.753

Fuente: Elaboración propia en base a los datos de la gerencia de mantenimiento

Si bien el implementar este tipo de mantenimiento basado en confiabilidad significa un ahorro en costos en base a aquellos que son directos de la ejecución del mantenimiento, es importante también saber cuántas horas más de disponibilidad tendrá el filtro en operación, ya que solo 1 hora más de operación corresponde a \$22.500.000 lo que compensaría cualquier costo adicional que se pueda sumar a este plan de mantenimiento.

En cuanto a la disponibilidad del filtro se observa en el gráfico dispuesto según los datos de la gerencia de mantenimiento que el filtro cumple con los budget de disponibilidad proyectados para cada mes, pero en 3 meses se puede determinar que la disponibilidad estuvo bajo el 90%, en abril y octubre se presentó una disponibilidad del 73,8% y 77,1% lo que son valores bajos en comparación a las disponibilidades del resto del año.

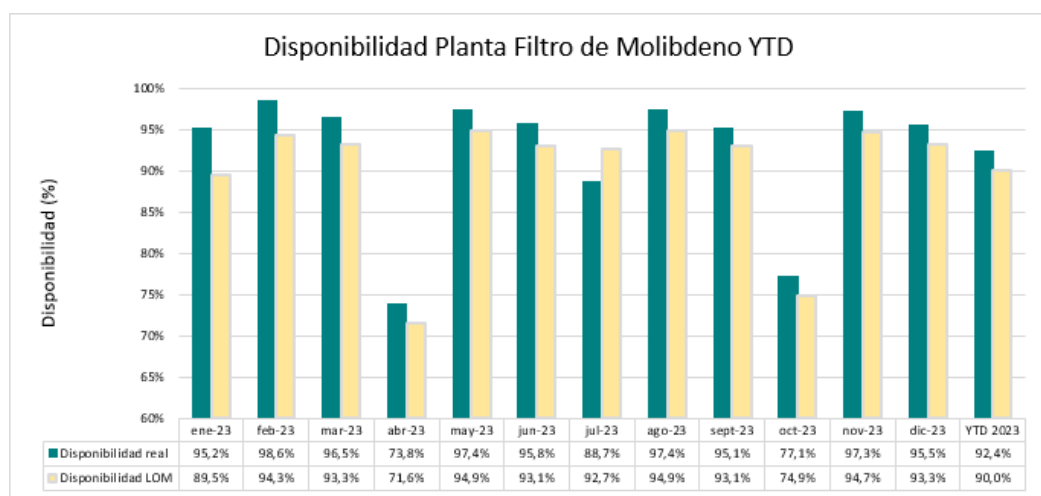


Gráfico 3-1: Disponibilidad Filtro Molibdeno 2023.

Fuente: Departamento Confiabilidad Gerencia de Mantenimiento.

Si bien en base a la información los valores de disponibilidad son alcanzados, se espera que un cambio en las políticas de mantenimiento pueda aumentar en primer lugar aquellos meses en que la disponibilidad del equipo es baja.

CONCLUSIÓN

Realizado el análisis al equipo, el filtro de presión de molibdeno, el contexto operacional donde se encuentra, se puede entender la importancia de tener una alta disponibilidad del filtro, debido a la importancia como equipo final de producción, en donde hoy en día la producción de concentrado de molibdeno es de gran importancia para las empresas mineras en Chile.

Existe toda la información necesaria para poder implementar un mantenimiento centrado en confiabilidad, y no solo eso, si no que poder desarrollar todos los pasos que este requiere, por lo que

Unos de los propósitos principales de poder hacer este análisis al equipo es que la gerencia de mantenimiento y la empresa consideren entregarle una mayor importancia a este equipo y por consecuencia posteriormente a los demás equipos presentes en la planta de flotación selectiva y filtrado, esto debido a que en mantenciones mayores y mantenciones menores en las plantas se le entrega una mayor cantidad de recursos tanto de personal, como de recursos monetarios a la planta concentradora, incluido el chancado primario, lo que se ha observado en muchas ocasiones tiene consecuencias en los resultados del mantenimiento a estos equipos, teniendo que dejar fuera de servicio estos poco tiempo después de realizar estas mantenciones, lo que genera un impacto en la producción que no estaba previsto.

En cuanto a la parte técnica de la implementación del mantenimiento, esta no tendría ningún impacto mayor en lo que considera mano de obra, tanto de personal propio o de colaboradores en el área de mantenimiento, considerando, mecánicos, eléctricos, lubricación y monitoreo de condiciones, por lo que se debería por tanto dar giro al enfoque en cómo se realizan las tareas de mantenimiento.

Por otro lado se deben entregar las herramientas necesarias para que el personal puede llevar a cabo estas tareas de manera eficiente y que no afecte la producción.

En cuanto al análisis acotado de los costos del mantenimiento, realizar esta implementación de tareas traería consigo un ahorro a los costos del mantenimiento realizado esto solo el año 2023, en cuanto a los costos directos por las tareas y las frecuencias en que se reemplazarían algunas.

Es por esto que el aplicar este tipo de mantenimiento basado en confiabilidad, estaría por delante de otras opciones de mantenimiento, donde la asignación de recursos, no tendría un gran impacto, si no que sería de ayuda para que la estrategia de mantenimiento sea eficiente y no tener los problemas que existen al realizar mantenciones más extensas, que no se presentan en otros equipos.

Por último que se pueda realizar un cambio en las políticas de mantenimiento y que esta tenga el resultado esperado, debe dar un punto inicial para que se pueda replicar este tipo de mantenimiento a toda la planta y al resto de equipo, ya que hasta ahora no se aplica dentro de la compañía. Si bien existen tareas que se repetirían estas son en base a la planificación realizada bajo la experiencia de los años en que ha operado la gerencia.

Si bien la compañía lleva 10 años de operación, el departamento de confiabilidad no ha operado en cada uno de estos, no posee todos los recursos y el personal necesario para poder gestionar de inmediato un cambio total dentro de las políticas y gestiones, por lo que se espera que se pueda avanzar de forma parcial.

BIBLIOGRAFÍA

MONSALVE PABLO. Diseño e implementación de plan de mantenimiento centrado en confiabilidad para etapa crítica del proceso de secado de hoja de celulosa. Tesis de pregrado, 2020.

CARLOS PARRA. Curso de facilitadores de la metodología: Mantenimiento centrado en confiabilidad (MCC) Reliability Centered Maintenance (RCM), 2023.

MOUBRAY JOHN. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (Reliability-centred Maintenance) Edición en Español, 2004.

BALDI CARLOS. Ingeniería de Confiabilidad 1, Ingeniería en Mantenimiento Industrial con licenciatura, Modalidad Residencial, 2023.

BALDI CARLOS. Gestión de Activos, Ingeniería en Mantenimiento Industrial con licenciatura, Modalidad Residencial, 2023.

METALMACK. Manual de operación planta de secado de molibdeno tipo oleo electrico, 2012.

OUTOTEC. Instalación Funcionamiento y Mantenimiento Filtro Larox PF1053, 2012.

CASERONES MLCC. Memoria Anual, 2022.