

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

**PROPUESTA DE MEJORA A LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO DE UN
ACTIVO FÍSICO DE LÍNEA CRÍTICA PLANTA MOP-H II, EMPRESA SQM.**

Trabajo de Titulación para optar al Título de
INGENIERIA MANTENIMIENTO
INDUSTRIAL
LICENCIADO EN INGENIERÍA.

Alumno:

Rodrigo Alejandro Ávila Vergara.

Profesor Guía:

Mg. Ing. Andrés Eduardo Aránguiz Garrido.

2021

DEDICATORIA.

Actualmente existe 2 personas que son lo más importante en mi vida y que sin ellos no podría dar mi máximo esfuerzo.

Gracias Alessa Mariela, hija mía por llegar al mundo y darnos todas tus alegrías, serás una grandiosa mujer y excelente hija.

Gracias, Belén Estefanía por todos estos años juntos y darme el apoyo de lo más preciado que es el tiempo y paciencia. De verdad eres una gran mujer, pareja y excelente madre, te amo cielo mío.

Por último, jamás olviden juntos por siempre y para toda la vida, los amo familia hermosa.

RESUMEN.

KEYWORDS: MOP-H II, Diagrama de dispersión logarítmica, CAGE MILL CP-75, Análisis modo de falla, efecto y criticidad, Motores, Jaula, Caja porta rodamiento, Plan de mantenimiento, Costos.

En la empresa SQM, y en especial la planta MOP-H II, recabe en el grupo de las más importantes en el proceso de salmuera, pero en base a una falta de actualización de herramientas de la gestión del mantenimiento no se puede optimizar recursos importantes, estimar costos ni tomar de decisiones relevantes, en base a lo descrito estos puntos son claves en el desarrollo de cada ingeniero y trabajar que compete a la planta.

En base al caso que conlleva actualmente la planta MOP-H II, es necesario realizar una implementación de un mejoramiento de la gestión del mantenimiento, no solo con el fin de minorizar fallas y costos, sino que también implementar una cultura en los trabajadores. Por ende, se propondrá un mejoramiento en la gestión del mantenimiento, enfatizado en el activo físico más importante la planta MOP-H II y a su vez evaluar los costos asociados para observar los beneficios que se pueden llegar a lograr.

Este mejoramiento se logrará en base a una estructura, la cual parte con seleccionar el activo físico más relevante de la planta MOP-H II con la metodología de diagrama de dispersión logarítmica, en donde se tomará el equipo del cuadrante agudo crónico y sobre la curva ISO DT 300, luego se realiza una descripción y jerarquización de los modos de falla que lo competen con la metodología de análisis modo de falla, efecto y criticidad con el fin de realizar una propuesta de mejoramiento al plan de mantenimiento logrando mitigar las fallas propuestas y jerarquizadas, y en base a estas mejoras realizar una evaluación de viabilidad en la implementación de estas mejoras mediante un estudio de prefactibilidad técnico económico enfatizado en los costos asociados.

Dentro del universo de activos físicos que contemplan la planta MOP-H II. se prioriza en base al historial de fallas que cuenta la planta. indicando así que dentro de los 46 equipos del grupo de criticidad 1 que detienen planta, solo 7 se encuentran en los cuadrantes agudo crónico, pero solo uno de estos equipos sobresale indicando que sobrepasa la curva de indisponibilidad ISO DT 300, este equipo es el CAGE MILL CP-75 con el tag 5248-MOL-385. Al momento de realizar el análisis de modos de falla, efecto y criticidad esta nos arroja 20 modos de fallas, que, en base a la jerarquización de riesgo cuantitativo

de costos asociados a sus fallas, nos arroja 6 modos de falla no críticos, 8 modos de falla semi críticos y 6 modos de falla críticos induciendo que los componentes más importantes del CAGE MILL CP-75 son los motores eléctricos, jaula CP-75 y la caja porta rodamiento (CPR), generando así los mejoramientos de planes de mantenimiento centrados a los modos de falla de estos componente, estimando a mitigar un 55% de los modos de falla totales previstos, y a su vez indicando que al implementar estas mejoras de mantenimiento se estima un beneficio neto anual de \$ 5.143.688 dólares, corroborando la viabilidad de implementación en base a las ganancias que se pueden llegar a generar.

Las herramientas de la gestión del mantenimiento son tan importantes en las grandes industrias que si se logra llevar a implementar de manera efectiva, no solo se puede llegar a lograr minorizar los costos asociados al mantenimiento en general, sino que además logra implementar una cultura de estudio y análisis de cómo estamos realizando los trabajos y cómo podemos llegar a mejorarlo.

ÍNDICE.

INTRODUCCIÓN. 1

OBJETIVOS. 3

CAPÍTULO 1: ACTIVO FÍSICO PRIORITARIO PLANTA MOP-H II. 4

1. ANTECEDENTES GENERALES. 5

1.1 PROCESO PLANTA MOP-H II..... 6

1.2 PROBLEMÁTICA. 8

1.3 CRITICIDAD DE ACTIVOS FÍSICOS PLANTA MOP-H II. 10

1.4 METODOLOGÍA DIAGRAMA DE DISPERSIÓN LOGARÍTMICA. 12

1.5 SELECCIÓN DE EQUIPO PRIORITARIO DE LA LÍNEA CRÍTICA. 16

1.6 EQUIPO SELECCIONADO..... 17

CAPÍTULO 2: JERARQUIZACIÓN DE MODOS DE FALLAS Y MEJORAMIENTO DE MODELO DE PLAN DE MANTENIMIENTO. 19

2. HERRAMIENTAS DE GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO. 20

2.1 ANÁLISIS SIPOC. 21

2.2 ANÁLISIS DE MODO DE FALLA, EFECTO Y CRITICIDAD (FMECA).
..... 22

2.2.1 Sistemas / subsistema..... 23

2.2.2 Función..... 23

2.2.3 Falla funcional..... 23

2.2.4 Modo de falla. 24

2.2.5 Efecto de fallas. 24

2.2.6 Acción correctiva. 24

2.2.7 Frecuencia de falla. 24

2.2.8 Tiempo de reparación..... 25

2.2.9 Costo de no producción..... 25

2.2.10 Costo directo de modo de falla..... 25

2.2.11 Riesgo cuantitativo costo 22 meses..... 25

2.3 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE MODO DE FALLA, EFECTO Y CRITICIDAD (FMECA). 31

2.4 MODELO PLAN DE MANTENIMIENTO. 32

2.4.1 Política de mantenimiento..... 32

2.4.2 Acción preventiva o predictiva. 33

2.4.3 Frecuencia de aplicación. 33

2.4.4 Personal de ejecución a cargo. 33

2.4.5 Disponibilidad real versus la esperada. 34

2.4.6 Costo del plan mantenimiento preventivo o predictivo. 34

2.5 RESULTADOS DEL MODELO PLAN DE MANTENIMIENTO. 38

CAPÍTULO 3: GENERAR MEJORAS EN PLAN DE MANTENIMIENTO PARA
EVALUAR SU VIABILIDAD EN LA IMPLEMENTACIÓN POR MEDIO DE
COSTOS ASOCIADOS. 39

3.1 PLANIFICACIÓN DE MEJORAS MANTENIMIENTO DE MODOS DE
FALLA CRITICOS.....40

3.1.1 Mantenimiento preventivo motores eléctricos 400 HP y 600 HP.....40

3.1.2 Mantenimiento preventivo jaulas CAGE MILL CP-75. 45

3.1.3 Mantenimiento preventivo y predictivo caja porta rodamiento (CPR)
CAGE MILL CP-75.....47

3.2 COSTOS ASOCIADOS AL PLAN DE MANTENIMIENTO ANTIGUO Y
MEJORADO. 53

3.2.1 Frecuencia anual.....53

3.2.2 Costo de repuesto. 54

3.2.3 Tiempo de reparación.....54

3.2.4 Costo de no producción.....54

3.2.5 Horas hombre (HH) reparación.....54

3.2.6 Costo de mano de obra. 54

3.2.7 Costo total anual.....54

3.3 ANÁLISIS DE COSTOS ASOCIADOS A LOS PLANES DE
MANTENIMIENTO ANTIGUO Y MEJORADOS.....58

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....60

BIBLIOGRAFÍA Y FUENTE DE LA INFORMACIÓN. 61

ANEXOS. 62

ANEXO A, activos Físicos planta MOP-H II criticidad 1.....62

ANEXO B, Planificación de mantenimiento motores eléctricos. 63

ANEXO C, Planificación de mantenimiento jaula CP-75. 66

ANEXO D, Planificación de mantenimiento caja porta rodamiento (CPR). 68

ÍNDICE FIGURAS.

Figura 1-1. Flowsheet planta MOP-H II. 7

Figura 1-2. Diagrama de dispersión logarítmica con curvas ISO DT. 15

Figura 1-3. CAGE MILL 5248-MOL-385. 18

Figura 3-1. Medición de aislación motores eléctrico. 41

Figura 3-2. Lubricación de motores eléctricos CAGE MILL CP-75. 43

Figura 3-3. Inspección jaulas menor y mayor CP-75. 46

Figura 3-4. Medición análisis de vibraciones. 49

Figura 3-5. Medición de temperatura caja porta rodamiento. 50

Figura 3-6. Sistema de lubricación centralizada. 51

ÍNDICE TABLAS.

Tabla 1-1. Activos físicos planta MOP-H II con criticidad 1. 11

Tabla 1-2. Activos físicos cuadrante agudo crónico. 16

Tabla 2-1. Análisis SIPOC. 21

Tabla 2-2. Límites de riesgos cuantitativo. 26

Tabla 2-3. Análisis modo de falla, efecto y criticidad. 27

Tabla 2-4. Modelo plan de mantenimiento. 36

Tabla 2-5. Análisis de costos plan de mantenimiento. 38

Tabla 3-1. Programación de limpieza motores CAGE MILL CP-75. 42

Tabla 3-2. Planificación mantenimiento motores eléctricos CAGE MILL CP-75. 44

Tabla 3-3. Herramientas a utilizar cambio de motor eléctrico. 44

Tabla 3-4. Insumos para realizar mantenimiento cambio de motor. 44

Tabla 3-5. plan de mantenimiento jaulas CP-75. 46

Tabla 3-6. Herramientas a utilizar plan de mantenimiento jaula CP-75. 46

Tabla 3-7. Insumos para realizar plan de mantenimiento jaula CP-75. 47

Tabla 3-8. Planificación mantenimiento caja porta rodamiento (CPR) CAGE MILL CP-75. 51

Tabla 3-9. Herramientas a utilizar cambio de caja porta rodamiento. 52

Tabla 3-10. Insumos para realizar cambio de caja porta rodamiento. 52

Tabla 3-11. Costos de planes de mantenimiento antiguos y mejorados. 56

ÍNDICE DIAGRAMA.

Diagrama 2-1. Modelo plan de mantenimiento. 22

SIGLA Y SIMBOLOGÍA.

- SIGLAS :

TAG : Numero asignado de activos físicos.

KCL : Cloruro de potasio.

TK-1 : Receptaculo cilíndrico metálico numero 1

FLOWSHEET: Diagrama de flujo de un proceso.

SIMBOLOGÍA:

- % : Porcentaje.

° : Grados (en Celsius).

< : Menor que.

> : Mayor que.

• : Multiplicación.

+ : Adición (suma).

- : Sustracción (resta).

= : Igual que.

" o pulg : Pulgadas.

mm : Milímetros.

mts : Metros.

Kw : Kilo watts.

cm : Centimetro.

mts : Metros.

INTRODUCCIÓN.

Frente a las adversidades de las empresas, el mantenimiento industrial cumple un rol fundamental en la producción y crecimiento de las grandes industrias, por ende, para asegurar una máxima disponibilidad y conservación de sus activos físicos, existen muchas herramientas, metodologías y técnicas para llevar a cabo esta labor tan importante que es la gestión de mantenimiento.

En la zona norte del país Chile, ubicado en el corazón del desierto de atacama existe un conjunto de minerales llamado salmuera, que gracias a este material se puede extraer varios recursos como son fertilizantes y su principal factor que es el litio.

La Sociedad Química y Minera de Chile es una empresa de minería privada en donde contempla 7 plantas a lo largo del norte del país, donde una de esas plantas es MOP-H II, que, gracias a su gran cantidad de activos y recursos primarios provenientes del salar de atacama, procesa el material desde las piscinas decantadoras de salmueras hasta sus productos finales que son sulfato de potasio (K_2SO_4), cloruro de potasio (KCL) y nitrato de potasio (KNO_3). Estos productos son muy utilizados en la línea de negocio de fertilizantes potásicos, ya que, a nivel mundial SQM se destaca por poseer y producir las tres fuentes de potasio más relevante en el mercado de alimentación.

Dentro de los activos físicos contemplados en la planta MOP-H II, existe una variada gama de equipos en su producción como ejemplos motores eléctricos, filtros de banda, bombas impulsoras, molinos de jaula, correas transportadoras, etc. Que en base a su disponibilidad, mantenibilidad y confiabilidad puede llevarse a cabo la producción ininterrumpida de la planta. Pero, aproximadamente hace 2 años atrás, la planta MOP-H II empezó a decaer constantemente su producción por las detenciones inesperadas de sus activos físicos más relevantes en cuanto a tiempos de reparación y costos asociados.

La producción de cloruro de potasio (KCL) de la planta MOP-H II, esta evaluada en el mercado global con un valor de \$720 dólares americanos por una tonelada de venta de producto final, pero a su vez los costos globales aproximado por producción recaben en \$250 dólares americanos por cada tonelada extraída desde el salar de atacama, por ende, el margen de ganancia aproximado por cada tonelada de vendida recabe en \$470 dólares americanos.

La planta MOP-H II a nivel diario produce una cantidad desde 1800 a 1900 toneladas de producto final listo para vender, por ende, la gestión de mantenimiento de sus activos

físicos se considera un rol fundamental en la producción ininterrumpida de la planta MOP-H II.

Algunas de la variada gama de herramientas para la gestión de mantenimiento son el diagrama de dispersión logarítmica (Jack Knife) y el análisis de modos de fallas, efecto y criticidad (FMECA), que nos permiten darnos cuenta cual es el activo físico más peligroso en una línea productiva y de gran importancia para seleccionarlo. a su vez por medio esto nos implica a analizar cuáles son las posibles fallas más recurrentes y críticas que afectan tanto a la producción, como a las personas y el medio ambiente.

Por consecuencia en la planta MOP-H II se aplicará estos dos brillantes conceptos y metodologías en base a un estudio de factibilidad técnico-económica para observar los pro y contras de las nuevas mejoras que se propondrán a la gestión del mantenimiento en la planta MOP-H II de la empresa SQM Salar S.A.

OBJETIVOS.

Objetivo general.

Proponer un mejoramiento en la gestión y políticas de mantenimiento de un activo físico prioritario, estableciendo mejoras de políticas, tareas y plan de mantenimiento junto a sus costos asociados, mediante herramientas del mantenimiento centrado en la confiabilidad.

Objetivos específicos.

- 1) Analizar los activos físicos en planta MOP- H II, estableciendo la línea crítica de producción y selección de su activo físico prioritario, mediante el diagrama de dispersión logarítmica (Jack Knife).
- 2) Jerarquizar modos de fallos en equipo prioritario, para la generación de mejoras en planes de acción y tareas de mantenimiento, mediante la metodología de análisis de modos de fallos, efectos y su criticidad (FMECA).
- 3) Generar planes de mejoras de mantenimiento, para la evaluación de su viabilidad en su implementación mediante un estudio de prefactibilidad técnico económico.

CAPÍTULO 1: ACTIVO FÍSICO PRIORITARIO PLANTA MOP-H II.

1. ANTECEDENTES GENERALES.

SQM, es una compañía minera global que desde el norte de Chile está presente y constituida en las industrias de desarrollo sostenible de la humanidad. Contemplando así sus 5 líneas de negocio que recaben en la nutrición vegetal de especialidad, litios y derivados, yodo y derivados, potasio y químicos industriales.

Constituida en el año 1982 dentro del corazón del salar de atacama, la planta MOP-H II cumple con el perfil de plantas mineras no metálicas, ya que su principal producto extraído es el sulfato de potasio (K_2SO_4), cloruro de potasio (KCL) y nitrato de potasio (KNO_3). Estos productos son exportados a países dentro de los 5 continentes, contemplando un estimado de 110 clientes y distribuidoras a nivel mundial. En esta planta trabajan alrededor de 63 personas por parte de ejecución y por parte de la línea supervisión 26 personas. Constituyendo así una faena de 89 personas claves para la producción de la planta.

A su vez la planta MOP-H II contempla unos 737 activos físicos de diferentes indoles como motores, chancadores, celdas agitadoras, filtros de banda, etc. Que, gracias a sus funciones peculiares, se puede llevar a cabo el proceso de producción y solución de producto final. Junto con el producto final que es Cloruro de potasio (KCL), la planta MOP-H II también crea productos de solución paralela, en donde la solución final es un paso para la elaboración de otro proceso como ejemplo la planta de carbonato litio.

Ciertos tiempos del año, la planta MOP-H II se utiliza para reutilizar el material y filtrarlo aún más para que el litio de la planta El Carmen pueda dar solución a un litio más purificado. En consecuencia la planta MOP-H II es una de las más principales en el salar de atacama ya que gracias a esta se puede dar seguimiento a los distintos tipos de productos extraídos desde salar de atacama y su producto principal que es el cloruro de potasio (KCL).

El alcance de la propuesta generada de la gestión de mantenimiento se basará netamente en la recopilación de datos e información adecuada bajo las normas internas de SQM S.A. Salar De Atacama.

1.1 **PROCESO PLANTA MOP-H II.**

En la planta MOP-H II esta constituida en una gran reserva de salmuera que es la materia prima y primordial para sus procesos. Esta salmuera extraída de las napas subterráneas del salar de atacama, se extraen mediante bombas que están conectadas a más de 30 metros de profundidad, contando así unas 370 bombas extractiva de materia prima. Luego la solución resultante de salmuera líquida, es trasladada a las pozas de evaporación solar en donde recabe en 44 km cuadrados de pozas en el salar de atacama. Como dice su nombre, estas pozas ocupan la energía solar como recurso natural para evaporar la salmuera y concentrar los minerales, que va pasando de poza en poza con una duración de 1 año aproximadamente. quedando así un producto concentrado rico en potasio, sulfato y magnesio. Una vez obtenido el mineral decantado y deseado de las pozas, es trasladado mediante camiones de alto tonelaje hacia la planta MOP-H II en donde comienza la alimentación de la planta.

Primero ingresa el material por el stock pile para ser depositado mediante cupulas de material. Luego por medio de correas transportadora ingresa el material al área de chancado donde reside el equipo molino de jaula (CAGE MILL). Que su función principal es granular aún más la partícula del material (salmuera) y dejarla más fina. Luego son transportado a los depósitos de TK1 que su función principal es recopilar el material con aditivos como ejemplo el ARMEEN que produce en el material un tipo de espuma jabonosa que por medio de burbujas se separa en la partícula en las celdas de flotación, este proceso se logra gracias al agitador que se encuentra en el depósito cilíndrico TK-1, una vez listo el material y con partículas de ARMEEN pasa al proceso flotación convencional. La función principal de la flotación convencional es que gracias al arnero fino y grueso separa la partícula gruesa de la fina, en este proceso solo ocupa la partícula fina para luego pasar a las celdas de agitación ROUGHERT y SCAVENGER con el fin de separar la partícula aún más en cuanto a sus minerales que son cloruro de potasio, sulfato de potasio y minerales no convencionales para el proceso, el material que nos sirve en cuanto a la celda de agitación es la espuma que se genera gracias al agente aditivo llamado ARMEEN que se coloca en el TK-1 en el área de molienda, una vez seleccionado esta partícula de la espuma se lleva hacia al área flotación CLEANER y producto KCL.

La partícula seleccionada más gruesa por el harnero grueso, pasa TK SCAVENGER en donde por medios de bombas pasa al área de remolienda, en donde este material vuelve a pasar un proceso de molienda gracias a los arneros DERRIK y los dos molinos CAGE

MILL CP-50, estos molinos son más pequeños en cuanto al molino CP-75, estos molinos muelen el material seleccionado del grueso por medio de los arneros DERRIK para luego pasar al TK fino que traspasa el producto al área de recuperación de salmuera, que su función principal es preparar el material de descartes con el fin de acopiar el material que no sirve al proceso. Pero este acopio se le puede sacar aún más un porcentaje de cloruro de potasio, por ende, por medios de maquinarias toman este material y lo vuelven a pasar al proceso es decir lo llevan al área de chancado y molienda. La partícula seleccionada de cloruro de potasio que llega al área de flotación calender y KCL. Pasa un proceso de limpieza del material, en por medios de celdas de flotación llamada CLEANER, limpian el material de cloruro de potación con otros agentes minerales que no sirve, netamente hace crecer el porcentaje de pureza del material que el cliente pide al momento de comprar, esta celda llega a lograr un 98,6 % de pureza en cuanto a su material final. Luego de pasar por las celdas CLEANER, el material es llevado a los filtros de producto que su función principal por medio de una bomba de vacío es sacar la humedad y agua que lleva el material con el fin de transportar el material seleccionado y seco a las correas transportadora final o llamada STAKER. Estas correas llevan el material listo para su venta hacia las canchas de producto de cloruro de potasio. Ver en Figura 1-1. Flowsheet planta MOP-H II.

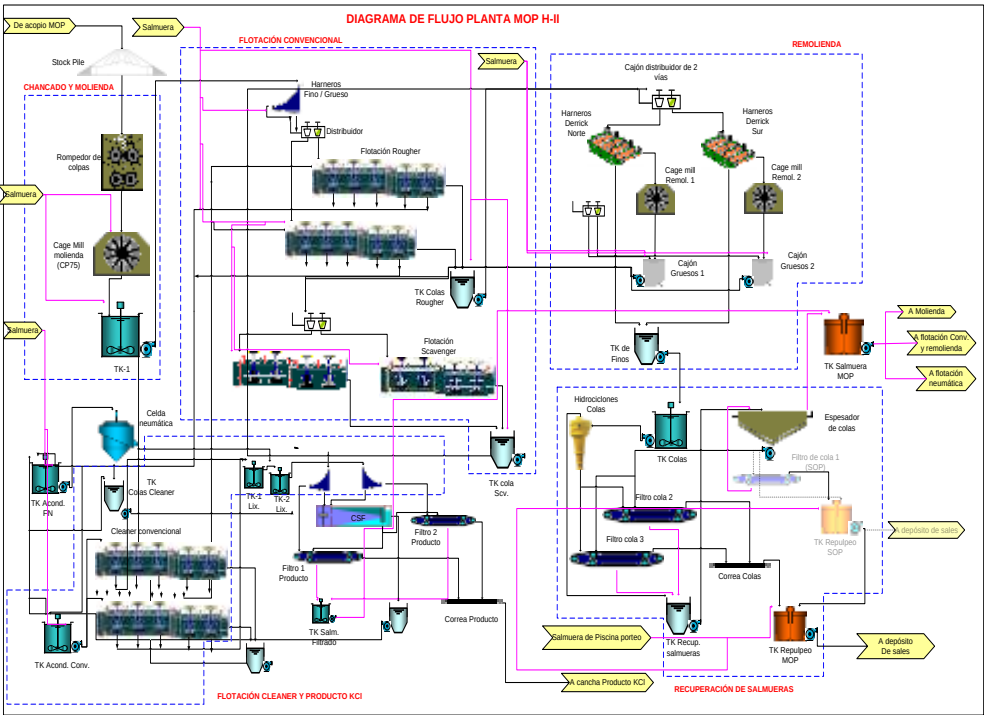


Figura 1-1. Flowsheet planta MOP-H II.

Fuente. Manual de operaciones planta MOP-H II, SQM año actualizado 2020.

1.2 **PROBLEMÁTICA.**

La planta MOP-H II realiza una producción de cloruro de potasio (KCL) de 380 toneladas por hora de alimentación, pero de material seco y listo para la venta (KCL de alta ley) bordea desde las 1800 hasta las 1900 toneladas al día. Pero ese número se ha visto afectado desde hace 2 años atrás, ya que los activos físicos de la planta MOP-H II comienzan a presentar fallas considerables e inesperadamente afectado gravemente la producción de la planta. Los equipos que se han visto afectados son correas transportadoras, chancadores primarios, bombas impulsoras, etc. Es decir, Activos físicos prioritarios que detienen planta inmediatamente, aunque este en modalidad alimentación planta completa o alimentación planta baja tasa, a su vez estas detenciones no solo contemplan horas de detención planta, sino que en algunos casos son días en los que la planta MOP-H II está detenida completamente. El impacto negativo que se puede destacar es que un día de planta detenida es decir sin producción equivaldría a una pérdida aproximada de \$846.000 dólares americanos de margen de utilidad. En base a los activos físicos de la planta MOP-H II, el departamento de mantención salar de atacama, solo contempla y manipula herramientas no actualizadas en cuanto a la gestión de mantenimiento. Ejemplo para ver criticidades se basan en el diagrama de Pareto que sirve básicamente para definir elementos básicos y objetivos ordenados en una grafica de valores para analizar las fallas recurrentes de activos físicos. Esto lo realiza el departamento de ingeniería, sin recibir información externa de parte del área planificación ni ejecución, a su vez los planes de mantenimiento se basan en dos cualidades que la primera es analizando el manual del activo físico y comentarios realizados por personas que venden el equipo es decir personas no profesionales en las distintas áreas de ejecución como mecánicos, eléctricos, instrumentista etc. Por otro lado, los planes de mantenimiento los realizan netamente con el estudio y análisis de vibraciones, dejando de lado piezas claves y componentes críticos fuera de estudio por no darle importancia, ya que para ellos las piezas claves son las que están en movimiento y no las piezas estáticas. El área de especialidades ejecución contempla 5 áreas que son eléctrica, instrumentista, mecánicos, lubricación y analistas predictivos. Estas áreas no disponen de herramientas actualizadas ni la tecnología necesaria para analizar los equipos adecuadamente, como el medidor de ultrasonido que sirve para medir las fisuras en los equipos y a su vez la continuidad y espesor del material. Junto con esto, no existe una retro alimentación al personal de las fallas ocurrida anteriormente, ya que el mismo personal de supervisión del área ejecución, no crea métodos informativos efectivos para cada trabajador de cómo realizar un buen trabajo, seguro y confiable. En base a lo

anterior mencionado existen personal de mantenimiento que no dispone de las competencias necesarias para ejecutar el trabajo por no saber las directrices ni información con respecto a los equipos a reparar, y por ende se genera pérdida de tiempo en volver a ejecutar los trabajos nuevamente por quedar mal reparados. Netamente el personal de ejecución del mantenimiento se basa en la reparación de los activos físicos por procedimientos de trabajos y métodos informativos no legibles ni estandarizados, contemplando así carencia de estudios y no saber el trabajo que se ejecutara en cada mantenimiento.

En el área de planificación todo lo que refiere a compras de repuestos se emplea por medio de segmentos de compras, en donde dependiendo de la criticidad y fallas periódicas del activo físico se realiza una programación de compra de ciertos repuestos. Bodega maneja directamente los repuestos segmento 1 en donde debe manejar un stock considerable cada mes, pero como la planta MOP-H II es tan inestable en cuanto a las fallas de los equipos, se crean situaciones en donde para reparar un equipo crítico se tiene que desarmar otro equipo de menor categoría de criticidad, o se emplea a buscar repuestos con otras áreas de mantenimiento, como el departamento de mantenimiento área mina o el departamento mantenimiento de otras plantas. Llevando a un descontrol de los activos físicos reparables y descontrol de los repuestos de cada planta en el salar de atacama. En base a este efecto o círculo vicioso de reparaciones de equipo, se pierde mucho tiempo en cuanto a búsqueda de material o repuestos y por ende la detención del equipo se prologa en el tiempo.

En el área de maquinaria, actualmente el departamento de mantenimiento contempla solamente un camión pluma para realizar maniobras pesadas de levante y movilización de equipos cuando se realiza un mantenimiento. Pero su principal problema es que en salar de atacama existen 7 plantas en SQM con diferentes tipos de activos físicos, que si al momento de fallar 2 equipos críticos al mismo tiempo, se dará prioridad al equipo que contempla más horas de reparación y el otro equipo se tendrá que esperar hasta que reparen el equipo mencionando anteriormente, prolongando así el tiempo de detención de una planta y evidenciando la carencia de maquinaria en cuanto a camiones de transporte y maniobras que contempla la planta MOP-H II, Por ende, es necesario realizar una propuesta de mejora de la gestión de mantenimiento, para mejorar las políticas de mantención y planes de trabajo, enfatizado en disminuir los tiempos de detención inesperados y las reparaciones de estos, pero dentro del marco de un equipo en particular, que sería el equipo que más impacta la producción tanto físicamente como económicamente en los costos de reparación. Utilizando herramientas actualizadas en la gestión del mantenimiento y costos asociados para llegar a los resultados esperados.

1.3 CRITICIDAD DE ACTIVOS FÍSICOS PLANTA MOP-H II.

En la planta MOP-H II existen 2 modalidades de operación. La primera es la alimentación completa de la planta alimentando entre 380 a 350 toneladas de salmuera por hora, en donde para llevar a cabo esta labor se necesita la activación de todos los equipos o activos físicos contemplados en la planta MOP-H II, pero solamente los equipos que tienen standby están en funcionamiento solo un equipo.

La segunda modalidad de operación es la alimentación de salmuera baja tasa, lo que conlleva a operar con solo el 60 % de los activos físicos presente en la planta MOP-H II, en este sistema solo se alimentan 250 toneladas de salmuera por hora y junto con lo mencionado los equipos detenidos pueden ser: celdas agitación, bombas de vacío, bombas de impulsión, etc. A su vez en la planta MOP-H II los activos físicos son categorizados en tres criterios de criticidad que se basan en el impacto que genera un equipo detenido en el proceso productivo de la planta, indicando así:

- 1) Criticidad 1: Son equipos que detienen la producción de la planta completamente, ya sea en modalidad baja tasa o modalidad alimentación tasa completa. Comúnmente se les denominan a los activos físicos que están contemplado y ubicados en la línea crítica de producción. Un ejemplo son las correas transportadoras alimentadoras, molino CAGE MILL 385, bombas de vacío, filtros de banda, correas de transporte de producto final como el staker 015, etc.
- 2) Criticidad 2: Son equipos que, al momento de detenerse programada o inesperadamente, inducen a realizar una producción a baja tasa, es decir bajan la carga alimentaria para seguir produciendo, y no necesariamente detiene completamente la planta MOP-H II, alguno de estos equipos son los 3 tipos de celdas y bandas de filtración, ya que, si un equipo de las celdas se detiene, los otros 3 equipos pueden realizar la labor, pero a una baja producción.
- 3) Criticidad 3: Son equipos que no detienen la planta ni la producción, por ende, son equipos que generalmente tienen un activo físico en standby, cualquier falla o eventualidad no deseada o no programada, se pueden activar su equipo standby

sin problema. Generalmente estos equipos son bombas impulsoras y bombas agua industriales.

En el anexo A se describe detalladamente todos los activos físicos de la planta MOP-H II, en donde se encuentras separados por 3 columnas indicando su criticidad que aporta al proceso productivo. Junto con este archivo Excel se realiza un filtro de línea crítica caracterizada por todos los equipos que detienen planta o que su mantención amerita en detención de planta programada. Por ende, la línea crítica difiere a lo equipo o activos físicos con criticidad 1, junto a lo anterior mencionado, nos enfatizaremos netamente en los activos físicos que contemplan histograma de fallas en un tiempo determinado dando así a los siguientes equipos, ver en Tabla 1-1. Activos fisicos planta MOP-H II con criticidad

Cabe destacar que los equipos de transporte y maquinarias no son parte de la producción planta MOP-H II. Ya que estos equipos los determina y mantienen el departamento de maquinarias y transporte.

Tabla 1-1. Activos fisicos planta MOP-H II con criticidad 1.

Fuente. Líneas criticas estudio confiabilidad planta MOP-H II, SQM año 2021.

Planta	Área	Activo	TAG	Descripción	Criticidad Operacion
MOP-H II	AREA PLANTA DUAL SOP-H	19AGT50013	5539-AGT-028	AGITADOR N° 4, CELDA ROUGHER KCL, WESTPRO,250RPM (5539-AGT-028)	1
MOP-H II	AREA PLANTA DUAL SOP-H	19MOL50003	5525-MOL-017	CAGE MILL CP-50 ANTIGUO (MOL-017)	1
MOP-H II	AREA PLANTA DUAL SOP-H	19MTR80441	5525-MTR-018	MOTOR ELECTRICO JAULA MAYOR (TAG 5525-MTR-018)	1
MOP-H II	AREA PLANTA DUAL SOP-H	19COR50031	5582-COR-012	CORREA STACKER ACOPIO KCL	1
MOP-H II	CLASIFICACION	19BBA60731	5248-BBA-409	BOMBA ALIMENTACION HARNEROS ESTATICOS (STAND BY)5248-BBA-409	1
MOP-H II	ALIMENTACION SALMUERA	19MTR80760	5262-MTR-741	MOTOR ELECTRICO BOMBA 5262-BBA-740 (STAND-BY)	1
MOP-H II	FILTRADO Y PRODUCTO	19BBA60745	5238-BBA-1149	BOMBA N°3 TRASPASO FILTRADO	1
MOP-H II	ACOPIO Y ALIMENTACION SALES	19ALM50012	5211-ALM-203	ALIMENTADOR CORREA 203, 5211-ALM-203	1
MOP-H II	FILTRADO Y PRODUCTO	19MTR80721	5238-MTR-535	MOTOR ELECTRICO FILTRO DE BANDA 5238-MTR-535	1
MOP-H II	CLASIFICACION	19EST50074	5248-EST-1171	ESTANQUE PREPARACION DE PULPA TK-1, 5248-EST-1171	1
MOP-H II	CLASIFICACION	19AGT50041	5248-AGT-1172	AGITADOR DE ESTANQUE TK-1	1
MOP-H II	ACOPIO Y ALIMENTACION SALES	19RED50446	5211-ALM-234	ALIMENTADOR CORREA N°2	1
MOP-H II	CLASIFICACION	10MOL50005	5248-MOL-385	CAGE MILL CP-75 (MOL-385)	1
MOP-H II	ACOPIO Y ALIMENTACION SALES	19COR50041	5211-COR-240	CORREA ALIMENTACIÃ“N CHANCADOR DE COLPAS 5211-COR-240	1
MOP-H II	FILTRADO Y PRODUCTO	19BBS30008	5238-BBA-565	BOMBA ABEA FILTRADO	1
MOP-H II	FILTRADO Y PRODUCTO	19BBA60743	5238-BBA-576	BOMBA DE FILTRADO DESCARGA ESTANQUE TRASPASO	1

1.4 METODOLOGÍA DIAGRAMA DE DISPERSIÓN LOGARÍTMICA.

La metodología de diagrama de dispersión logarítmica o mejor conocido como Jack Knife es un método de priorización de equipos, activos, elementos o componentes que en base a una tabla de datos utiliza la frecuencia de fallas V/S el tiempo de reparación para dispersar los activos físicos en 4 principales cuadrantes que son:

- 1) Zona de control: es la zona donde un componente o activo se mantiene de buena forma su mantenibilidad en el tiempo determinado, por ende, sería como la zona de mejor ubicación.
- 2) Zona de agudo: es la zona de ubicación donde los activos físicos no fallan repetitivamente en un tiempo determinado de estudio y análisis, pero el tiempo de reparación es muy elevado en cuanto a otros activos físicos.
- 3) Zona de crónico: es la zona de ubicación en donde los activos físicos fallan muy repetitivamente en un tiempo determinado de estudio y análisis, pero su tiempo de reparación es muy corto con respecto a otros activos físicos.
- 4) Zona de agudo crónico: es la zona de ubicación peor en el diagrama de dispersión logarítmica, Ya que en este cuadrante demuestra los activos físicos que fallan repetitivamente en un tiempo determinado de estudio y a su vez el tiempo de reparación más elevado en margen de otros equipos.

En nuestro caso el diagrama de dispersión logarítmica se implementará con la finalidad de analizar los activos físicos de la planta MOP-H II y seleccionar el equipo más relevante en el cuadrante de agudo crítico que impacta en la indisponibilidad del proceso productivo, cabe destacar que solo se realizara a los equipos con la categorización de criticidad 1, ya que corresponde a la línea crítica de producción y se obtiene un fácil acceso del historial de fallas en un tiempo determinado.

El primer paso para realizar la metodología de dispersión logarítmica es la recopilación de datos históricos de fallas de los equipos, contemplando los nombres de los equipos o TAG y el tiempo que duro cada falla es decir tiempo fuera de servicio.

Esta información contempla una variada gama de detención tanto del departamento de operación como el departamento de mantenimiento. Por ende, se realizará una limpieza y filtración de datos históricos que solo contemple fallas de equipos principales y prioritarios de línea crítica de producción, el dato de tiempo fuera de servicio será en horas por ende todos los cálculos se basaran a horas.

Luego de agrupar la cantidad de fallas y tiempos fuera de servicio de cada activo físico de línea crítica, se realiza el cálculo de MTTR que significa el tiempo medio de reparaciones, este cálculo se basa en la división entre las horas fuera de servicio acumuladas y la cantidad de detenciones del equipo en el histórico.

Un indicador que necesitamos en el límite de cantidad de fallas, que se basa en el promedio de todas las fallas de la planta MOP-H II en un tiempo determinado en este caso desde el 01-01-2020 hasta el 10-10-2021. En consecuencia, el límite de cantidad de fallas o promedio de fallas es de 12.63 veces.

Otro indicador necesario es el límite de tiempo medio de reparaciones (MTTR) que se basa en el promedio de todos los MTTR de los activos físicos de la planta a analizar, en este caso arroja un valor de 2.17 horas.

Las curvas ISO DT segmentara de forma logarítmica la dispersión de los activos físicos críticos para analizar la indisponibilidad que recabe en cada uno y así observar en base a un tiempo determinado y los 4 cuadrante la priorización del equipo a seleccionar. Para este caso las curvas ISO DT se realizará en base al dato más elevado de cantidad de fallas, que seria 112 fallas y a su vez se destaca que en el periodo del tiempo establecido desde el 01-01-2020 hasta el 10-10-2021 se realizaron 8 detenciones generales de planta para realizar mantenciones programada a los activos físicos, en donde el tiempo en horas reales de detención planta es de 1560 horas, en consecuencia, la planta MOP-H II en el tiempo establecido de estudio debió haber trabajado 13920 horas en el año. Con el dato real de horas trabajadas en el año se calcula la indisponibilidad que establecerá cada curva ISO DT con el fin de establecer los limites o márgenes en el diagrama de dispersión y así analizar cada activo físico.

- a) ISO DT 50: a 13920 horas al año genera una indisponibilidad del 0,359 %.
- b) ISO DT 100: a 13920 horas al año genera una indisponibilidad del 0,718 %.
- c) ISO DT 200: a 13920 horas al año genera una indisponibilidad del 1,437 %.
- d) ISO DT 300: a 13920 horas al año genera una indisponibilidad del 2,155 %.

Con estos valores y tabla de datos seleccionados del equipo de la planta MOP-H II, se crea el grafico de dispersión que distribuye los equipo por todo el grafico para posteriormente insertar las divisiones de limite cantidad de fallas y el límite de tiempo medio de reparación (MTTR). Al momento de realizar este paso, se determinan los 4 cuadrantes principales para el análisis.

Luego de obtener el grafico de dispersión y sus respectivos cuadrantes, se insertan las curvas ISO DT 50, 100, 200 y 300, con el fin de obtener los márgenes de indisponibilidad de los equipos al momento del análisis final. Una vez insertadas las curvas ISO DT el grafico de dispersión se tiene que dar formato o convertir a formato logarítmico, con el fin de analizar de forma completa todos los activos junto a los 4 cuadrantes y los márgenes de indisponibilidad de las curvas ISO DT, quedando el formato final del diagrama de dispersión logarítmica de los activos físicos de la planta MOP-H II, ver en Figura 1-2. Diagrama de dispersión logarítmica con curvas ISO DT.

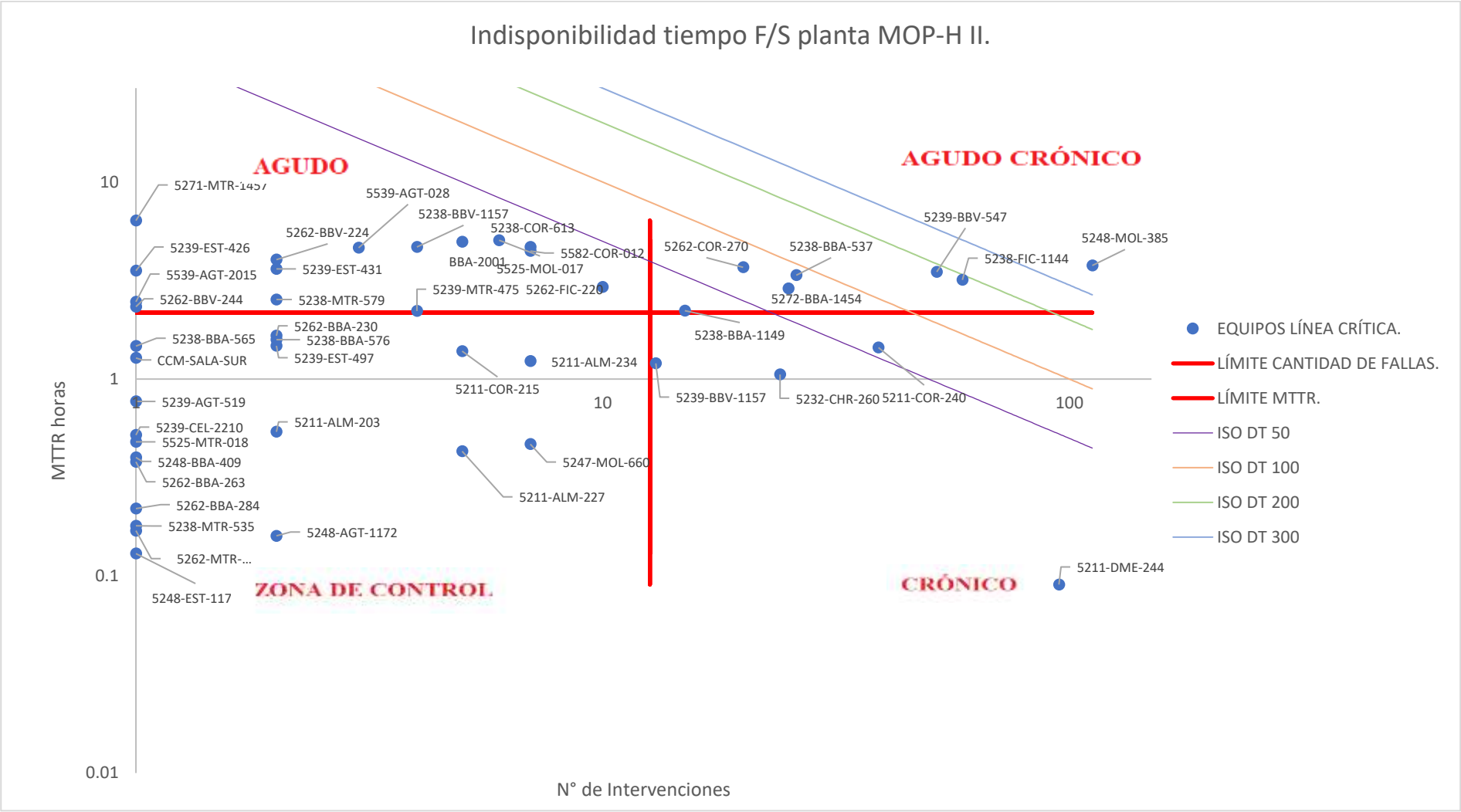


Figura 1-2. Diagrama de dispersión logarítmica con curvas ISO DT.

Fuente. Elaboración propia a partir del diagrama de dispersión logarítmica de data histórica planta MOP-H II.

1.5 **SELECCIÓN DE EQUIPO PRIORITARIO DE LA LÍNEA CRÍTICA.**

Gracias al diagrama de dispersión logarítmica se puede analizar en base a los cuadrantes respectivos y las curvas ISO de indisponibilidad, todos los activos físicos de la planta MOP-H II referente a la línea crítica de producción. Por ende, para la selección del equipo prioritario de la línea crítica se realizará en base a 2 criterios.

- a) Zona Agudo Crónico: En esta zona recaben los activos físicos que poseen 2 características principales, la primera es que el tiempo de reparación de este activo físico es muy alta con respecto a otros equipos. Y la segunda característica es que los activos físicos que caben en este cuadrante consideran una falla repetitiva y constante en un tiempo determinado, junto con esto los equipos que recaben en esta zona son. Ver tabla Tabla 1-2. Activos físicos cuadrante agudo crónico.

Tabla 1-2. Activos físicos cuadrante agudo crónico.

Fuente. Elaboración propia a partir del diagrama de dispersión logarítmica planta MOP-H II.

Activo físico	Descripción
5271-BBA-1454	Bomba alimentación Agua Industrial.
5238-BBA-1149	Bomba N°3 traspaso filtrado.
5262-COR-270	Correa transportadora descarte alimentación.
5238-BBA-537	Bomba N°1 traspaso filtrado.
5239-BBV-547	Bomba de Vacío filtro banda °1 producto.
5238-FIC-1144	Filtro banda N°2 producto
5248-MOL-385	Molino Cage Mill CP-75

- b) Curva ISO DT 300: Esta curva refleja la indisponibilidad que genera el activo físico en un tiempo determinado, es decir, un año de trabajo normal del activo físico es de 8064 horas al año y esto genera una indisponibilidad del 3,720% a la planta MOP-H II. Por ende, los activos físicos que arroja un porcentaje de indisponibilidad en un tiempo determinado mayor al 3.720 % es el molino Cage Mill CP-75.

En consecuencia, del análisis realizado el equipo seleccionado como prioritario de la línea crítica de producción planta MOP-H II es el Molino de Jaula CAGE MILL CP-75, con su nombre de referencia 5248-MOL-385.

1.6 EQUIPO SELECCIONADO.

El equipo CAGE MILL CP-75 corresponde a un molino de jaulas ardilla que por medio del movimiento transmitido por 2 motores eléctricos mueve una jaula interna sentido horario y la jaula externa antihorario. Este activo físico es uno de los más costosos en cuanto a mantenimiento, ya que cada uno de sus componentes son altamente exclusivo y producido por un solo vendedor.

Gundlach es una empresa de Estados Unidos que provee todos los repuestos mecánicamente, y junto con esto capacita a los trabajadores SQM para realizar un adecuado mantenimiento y manipulación de sus componentes. Este equipo contempla una variada gama de componentes, ver en Figura 1-3. CAGE MILL 5248-MOL-385. En donde los principales son:

- 1) Caja porta Rodamiento (CPR): este componente posee los rodamientos que, al momento de girar, mueve las jaulas interna y externa en los dos sentidos opuestos (horario y antihorario) por ende es el componente principal que lleva la carga excesiva de la fuerza ejercida al momento de entrar el material y molerlo.
- 2) Jaulas ardillas CP-75: existen 2 tipos de CAGE MILL en la planta MOP-H II, la diferencia entre los dos es el diseño y capacidad de carga de trabajo. El CP-50 contempla una jaula de ardilla de menor diámetro que el CP-75.
- 3) Motores eléctricos de 900 y 600 HP: ambos motores eléctricos disponen de una alimentación de 4160 volt con una velocidad de revoluciones por minuto (RPM) de 990 rpm. Estos motores se encargan de ejercer la fuerza sincrónica de movimiento de ambas jaulas para realizar el proceso de moler.
- 4) Sistema de transmisión: el sistema de transmisión lo contempla 2 componentes esenciales que son las poleas de transmisión y las correas de transmisión, las poleas del CPR poseen un diámetro de 53 pulgadas y lado del motor de 21,2 pulgadas con 16 y 12 canales cada una, junto con esto las correas de transmisión son del tipo 8v 3350, gracias a este componente es posible transmitir la fuerza ejercida por los motores hacia la caja porta rodamiento (CPR) para realizar el movimiento de las jaulas.
- 5) Instrumentación y control: el vibraswich es un sensor de vibración que por medio de un software monitorea en tiempo real la vibración ejercida completa del CAGE MILL y sobre todo las jaulas de molienda, ya que como entra en contacto directo con el material de entrada, es más propenso a recibir un cuerpo extraño que pueda dañar las jaulas al momento de alimentar. A su vez, este sensor de

vibración tiene un rango límite de vibración que por cualquier desalineamiento o componente defectuoso que emana movimiento excesivo del CAGE MILL corta inmediatamente su alimentación eléctrica directa de los motores eléctricos.

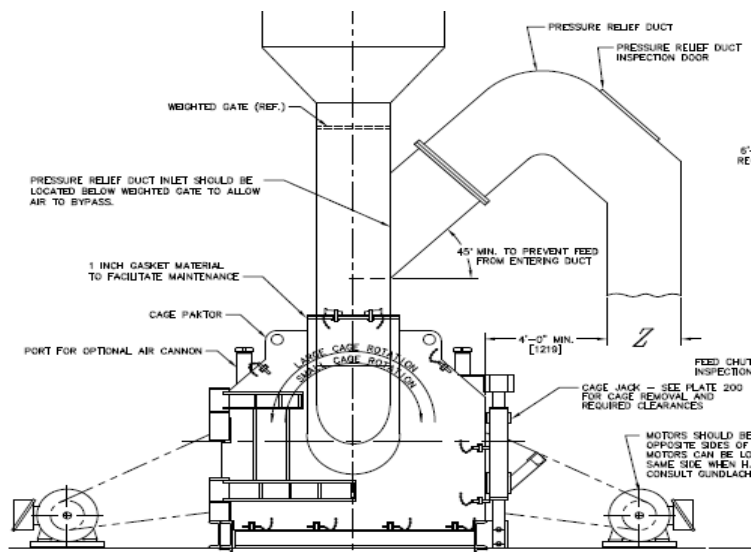


Figura 1-3. CAGE MILL 5248-MOL-385.

Fuente. Planos de manual Gundlach, año 2011.

Este activo físico se caracteriza por ser uno de los más crítico en cuanto al tiempo de reparación, ya que para realizar maniobras de levante y manipulación de sus componentes al efectuar una mantención es necesario contemplar grúas de alto tonelaje no solo por el peso de sus componentes, sino que también está ubicado en el tercer piso de la torre principal de molienda, además el espacio de ubicación no es lo suficientemente grande para realizar maniobras seguras y no contempla equipos como monorraíl o techos eléctricos, todos sus movimiento son mecánicos y contempla una variada gama de peligros al efectuar un mantenimiento. El departamento de planificación y programación contempla un desafío grande para el departamento de mantenimiento, ya que, con el solo hecho de fallar cualquier componente en un tiempo determinado inesperadamente, se tiene que manejar un stock de repuestos listo para ser cambiados en el menor tiempo posible y con todas las normas de seguridad.

En síntesis, este activo físico contempla una alta importancia a la línea de producción y sobre todo en los activos físicos de criticidad 1. Por ende, se someterá a un análisis de jerarquización de modos de fallas más recurrentes, con el fin de generar mejoras en planes de acciones y tareas de mantenimiento, mediante la metodología Análisis modos de fallos, efecto y criticidad (FMECA).

**CAPÍTULO 2: JERARQUIZACIÓN DE MODOS DE FALLAS Y
MEJORAMIENTO DE MODELO DE PLAN DE MANTENIMIENTO.**

2. HERRAMIENTAS DE GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO.

Dentro de la historia se han descrito varias generaciones del mantenimiento que desde la revolución industrial hasta el final de la segunda guerra mundial (año 1945) solamente se trabajaba en un mantenimiento correctivo, a raíz de esta arcaica practica la gestión de mantenimiento se ha visto obligada a evolucionar, dando así desde los años 1960 a crear nuevas metodologías y herramientas para la disponibilidad y máxima conservación de los activos físicos.

Gracias a esta evolución de herramientas de gestión de mantenimiento, se puede analizar los riesgos que conllevan las fallas de equipos, observando las causas y efectos que impacta a la producción directamente, y junto con lo anterior en combinación de técnicas y equipos de análisis podemos anticiparnos a las futuras fallas que pueden estar expuestos estos activos físicos, algunas de estas herramientas son:

- Análisis de causa raíz (ACR).
- Mantenimiento productivo total (TPM).
- Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM).
- Análisis de modo de falla, efectos y criticidad (FMECA).
- Diagrama de dispersión lógica (JACK KNIFE).
- Matriz cualitativa del mantenimiento (MCM).
- Auditorias de mantenimiento (ACPOM, MES, MQS).

Para la propuesta de mejora de la gestión de mantenimiento se ejecutará la metodología de análisis de modo de falla, efecto y criticidad llamado FMECA. En donde consiste en una técnica de identificar, priorizar y eliminar o controlar posibles fallas de los sistemas que integran al equipo seleccionado (CAGE MILL CP-75), evidenciando la gravedad de sus efectos que entrega la falla hacia la producción de la planta MOP-H II. generando así planes de acción y tareas de mantenimiento óptimas para la conservación del activo físico dentro del marco de programación y planificación del departamento de mantenimiento de la planta MOP-H II.

2.1 ANÁLISIS SIPOC.

El análisis SIPOC es una herramienta de metodología SIX SIGMA, pero puede ser aplicado a un proceso, es un acrónimo que significa suppliers, inputs, process, outputs y customer, que traducido al español significa proveedores, entradas, proceso, salidas, y cliente, creando así un mapa conceptual de un proceso que ofrece la visión que le entrega el activo físico hacia el proceso productivo de la planta MOP-H II. Uno del resultado que podemos obtener del análisis SIPOC es describir la función principal que realiza el activo físico a analizar dentro del proceso productivo de la planta MOP-H II y a su vez delimita en cierta forma el límite de batería al análisis de modo de falla, efecto y criticidad, por ende, se aplicara este análisis al equipo critico CAGE MILL CP-75.

- Proveedores: corresponde al activo físico anterior al equipo a analizar, para realizar la cadena de productividad del proceso. En este caso sería el chancador de colpas salmuera con el TAG (5232-CHR-260).
- Entrada: correspondería a la materia prima de entrada al CAGE MILL CP-75 que es salmuera con una granulometría de 2 milímetros.
- Proceso: correspondería a la molienda del material salmuera a una alimentación entre 380 a 350 toneladas por hora.
- Salida: correspondería a la materia prima de salida del CAGE MILL CP-75 que es salmuera con una granulometría de 0,075 milímetros.
- Cliente: corresponde al activo físico posterior al equipo a analizar, para realizar la cadena de productividad del proceso de la planta MOP-H II. En este caso sería el receptáculo cilíndrico de salmuera TK-1.

Junto con estos datos se realiza la tabla de análisis SIPOC, ver en Tabla 2-1. Análisis SIPOC.

Tabla 2-1. Análisis SIPOC.

Fuente. Elaboración propia a partir del flowsheet planta MOP-H II, año 2019.

PROVEEDORES	ENTRADA	PROCESO	SALIDA	CLIENTE
Chancador de colpas salmuera 5232-CHR-260	Salmuera con una granulometría de 2 milimetros	Moler material salmuera a una alimentación entre 350 y 380 toneladas por hora	Salmuera con una granulometría de 0,075 milimetros	Receptáculo cilíndrico de salmuera TK-1

2.2 ANÁLISIS DE MODO DE FALLA, EFECTO Y CRITICIDAD (FMECA).

Para la implementación del análisis de modo de falla, efecto y criticidad se basará mediante el modelo constructivo del profesor Mg Ing. Andrés Eduardo Aránguiz Garrido que indica un modelo de plan de mantenimiento partiendo por el análisis del proceso productivo para la selección de criticidad por medio de la metodología del diagrama de dispersión logarítmica (Jack Knife). Una vez elegido el equipo critico que es el caso de nuestro CAGE MILL 385, se deberá realizar un análisis SIPOC mencionado anteriormente, ya que gracias a este análisis podemos ver la ubicación y funcionalidad que entrega el equipo hacia la planta MOP-H II. Posterior a esto se realiza el análisis de modos de falla, efecto y criticidad. Ver en Diagrama 2-1. Modelo plan de mantenimiento.

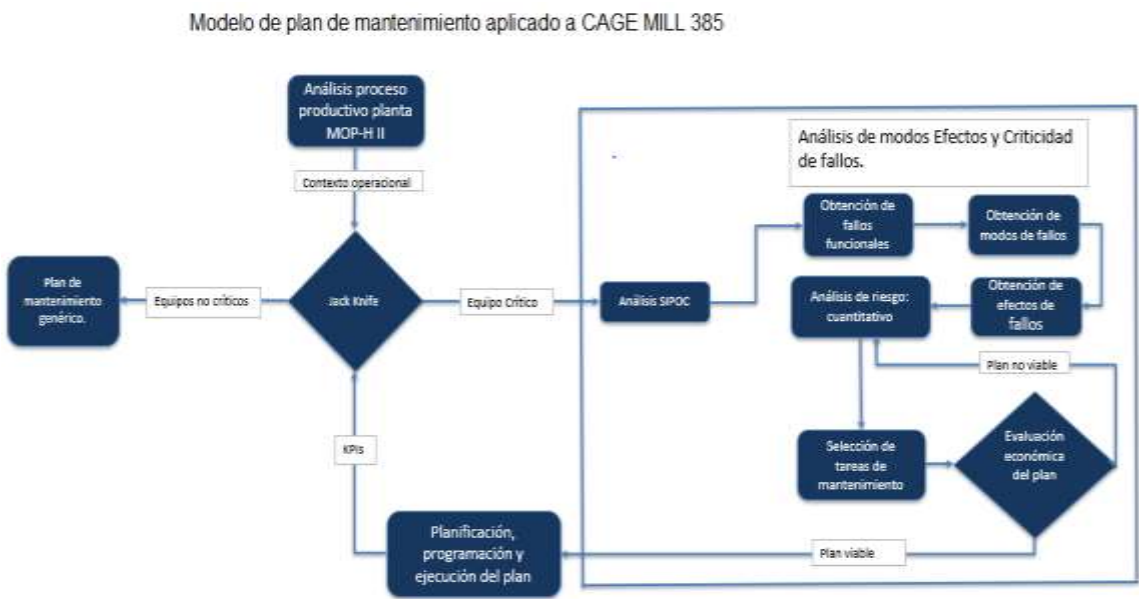


Diagrama 2-1. Modelo plan de mantenimiento.

Fuente: Propuesta de mejora al proceso de gestión de mantenimiento del Área de Preparación Madera – Celulosa Arauco Planta Nueva Aldea - Andrés Aránguiz Garrido 2020.

Una vez creado el análisis de modo de falla, efecto y criticidad se realizará un modelo plan de mantenimiento correspondiente a mantenimientos preventivos o predictivos. Indicando así una evaluación económica entre los modos de fallas y sus acciones correctivas y el modelo de plan de mantenimiento para cada modo de falla, evidenciando netamente los costos asociados a cada una de ella y tomando la mejor decisión.

En el análisis final del modo de falla efecto y criticidad la criticidad de los modos de falla se usará el indicador del riesgo cuantitativo de costos de 22 meses (tiempo

determinado de estudio a base de datos recopilados). Y en base a este indicador se realizará unos planes de mantenimiento de acuerdo con el modelo plan de mantenimiento predictivo o correctivo. Netamente indicando técnicas de mantenimientos de cómo realizar las respectivas mediciones y trabajos. La metodología de modo de falla, efecto y criticidad es predilecta netamente por la basta información que se necesita recopilar, por ende, se necesitara 11 aspectos técnicos de información cruciales que dan forma al análisis de modo de falla efecto y criticidad, estos aspectos básicos son.

2.2.1 Sistemas / subsistema.

El CAGE MILL CP-75. Es un equipo de molienda que su función principal es granular las partículas de alimentación salmuera que entran al proceso de planta MOP-H II. Por ende, este activo físico se compone de alrededor de componentes.

En consecuente el subsistema que pertenece al CAGE MILL CP-75 es molienda de producto alimentación salmuera.

2.2.2 Función.

La función se basa netamente en la actividad que realizar y aporta cada sistema al trabajo general del CAGE MILL CP-75, por ende, por cada sistema se describirá que rol cumple cada una. Ejemplo, el sistema eléctrico la función principal es dotar de energía eléctrica a los componentes que realizan la rotación de los motores, y junto con esto define las funciones de cada componente eléctrico que contiene el CAGE MILL CP-75.

2.2.3 Falla funcional.

En este análisis de modo de falla se categorizará 2 tipos de falla funcional. La primera recabe en la falla funcional total, que describe los modos de fallas que detienen el CAGE MILL CP-75 inmediatamente. Ejemplo, corte de correas de transmisión. Y la segunda falla funcional recabe en la falla funcional parcial, que describe los modos de falla que no detienen inmediatamente el CAGE MILL CP-75, pero si no son tratadas o solucionadas en un tiempo determinado pueden llevar a una detención inesperada del Activo Físico.

2.2.4 Modo de falla.

Los modos de fallas son las posibles fallas de los componentes del CAGE MILL CP-75 que pueden ocurrir mientras el activo físico está en funcionamiento o detenido. Generalmente se enfatizan en casos reales de fallas ya ocurridas en un tiempo determinado, pero a su vez se enfatizará en las fallas que no han ocurrido y que en casos hipotéticos pueden llegar a ocurrir.

2.2.5 Efecto de fallas.

Los efectos de fallas son las consecuencias que generan un modo de falla, ya sea una detención planta o una modalidad baja tasa. Estas consecuencias no solo afectan al Activo físico CAGE MILL CP-75, sino que también afecta directamente a la productividad ya que como es un activo físico de la línea crítica MOP-H II no existe un equipo en paralelo o standby que solvante las pérdidas de tiempo. En este punto se identificará 4 aspectos importantes para el análisis que son:

- a) Efecto evidente o no evidente. Esto implica si la falla es visible u oculta físicamente.
- b) Afecta SHA. Significa que, si el modo de falla afecta directamente la seguridad de las personas, la higiene y el medio ambiente en base a la contaminación.
- c) Efecto operacional. Significa que si el modo de falla afecta en la operación de la planta MOP-H II en detención de planta o baja tasa de alimentación.
- d) Descripción. se realiza una pequeña reseña de como ocurre o se produce el modo de falla.

2.2.6 Acción correctiva.

Corresponde al mantenimiento correctivo cuando se produce un modo de falla, en donde se toman acciones como cambio de componentes o repuestos y a su vez análisis de mediciones. Solamente con el fin de minorizar el MTBF o tiempo entremedio de fallas, que compete en reactivar lo más pronto la operatividad de la planta MOP-H II.

2.2.7 Frecuencia de falla.

Significa la cantidad del modo de falla que se ha presentado en un tiempo determinado de estudio al activo físico realizado. En este caso el tiempo de estudio es de 2 años de recopilación de datos.

2.2.8 Tiempo de reparación.

Corresponde al tiempo de reparación que tiene cada modo de falla en base a un mantenimiento correctivo. Basándose en los trabajos realizados por las especialidades y sus trabajadores, mecánicos, eléctricos, instrumentista y lubricación. En estas celdas se destaca la duración de la tarea a ejecutar, cuanta dotación se requiere para realizar la actividad y su producto que es HH (horas hombre).

2.2.9 Costo de no producción.

Corresponde al costo de inoperatividad de la planta MOP-H II, considerando que en el día se generan 1800 toneladas de producto terminado, y que el margen de ganancia de cada tonelada es de 470 dólares americanos. Por ende, al considerar solamente 1 hora de pérdida de producción recabe en un monto de o costo de no producción de 35.250 dólares americanos.

2.2.10 Costo directo de modo de falla.

Corresponde a los costos que competen los modos de fallas, considerando netamente los insumos y repuestos que conllevan la falla. Estos valores se indicarán en dólares. A su vez se suman la utilización de maquinaria en ciertos trabajos, ejemplo si se cambia un juego de jaula CP-75, esta requiere de maniobras de levante por grúa y traslado con camión pluma.

2.2.11 Riesgo cuantitativo costo 22 meses.

El riesgo cuantitativo de costo es una evaluación global de los modos de falla en base a los costos que han generado en el estudio de fallas contabilizadas desde el 01-01-2020 hasta el 10-10-2021 en un total de 22 meses, y a su vez este indicador de valor es medible en dólares americanos. Este indicador de valor se calcula como:

$$\text{Riesgo cuanti. costo 22 mes (\$)} = (\text{Frecuencia de falla} \bullet \text{HH} \bullet \text{Costo personal})$$
$$+ \text{Costo no producción} +$$
$$(\text{Costo directo modo de falla} \bullet \text{Frecuencia de falla}).$$

A su vez para visualizar y jerarquizar el impacto que genera este costo global a la empresa SQM y a la planta MOP-H II, se delimitara en 3 secciones de riesgo, en donde mediante el resultado se destacara en la siguiente tabla, ver en Tabla 2-2. Límites de riesgos cuantitativo.

Tabla 2-2. Límites de riesgos cuantitativo.

Fuente. Elaboración propia a partir de análisis modo de falla, efecto y criticidad, año 2021.

RIESGO CUANTITATIVO		
VALOR \$ DOLARES	JERARQUIZACIÓN DE RIESGO	COLOR DE RIESGO
\$ 500.001 a \$ 2,000.000	RIESGO DE FALLA ALTO IMPACTO	ROJO
\$ 250.001 a \$ 500.000	RIESGO DE FALLA MEDIO IMPACTO	AMARILLO
\$ 1 a \$ 250.000	RIESGO DE FALLA BAJO IMPACO	VERDE

En base a estos 11 aspectos y cálculos técnicos económicos, se procede a elaborar el análisis de modo de falla, efecto y criticidad. Con el fin de realizar un modelo de plan de mantenimiento basado en los aspectos más críticos que afectan directamente los costos de cada detención inesperada y modo de falla, a su vez se clasificando los modos de falla en con el indicador de riesgo cuantitativo costo 22 meses, se realizara planes de mantenimiento centrado en inspecciones y mediciones a 3 equipos más críticos según este indicador. En este aspecto se realizará nuevos planes de mantenimiento conllevando una mejora en, la jaula CP-75, a la caja porta rodamiento (CPR) y a los motores eléctricos de 600 y 900 HP. Ver en Tabla 2-3. Análisis modo de falla, efecto y criticidad.

Tabla 2-3. Análisis modo de falla, efecto y criticidad.

Fuente. Elaboración propia a partir del manual del CAGE MILL CP-75, Gundlach año 2011.

Sistema/Subsistema	#	Descripción de la Función	#	Falla Funcional	#	Modo de Falla	Efecto Falla	Acción correctiva	Frecuencia de fallas	Duración	Dotación	HH	Costo personal (HH)	Costo de no producción (Dolares/hrs)	Costo directo de modo de falla (repuestos)	Riesgo cuantitativo (\$/año)
Sistema de molienda planta MOP-H II	1	Recibir salmuera proveniente del chancador de colpas salmuera 5232-CHR-260 hasta el receptáculo cilíndrico de salmuera TK-1, moler material se salmuera desde 2 milímetro a 0,75 milímetro con una alimentación que varía desde los 300 hasta los 380 toneladas por hora. (Ton / hora)	1.1	Falla funcional Total: Incapacidad de moler material, equipo completamente detenido.	1	Motores eléctricos con baja aislación.	Evidente / No evidente: si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): detención de proceso Descripción: Un motor eléctrico con baja aislación es cuando su bobinado pierde su aislante resistivo en cada alambre de cobre con respecto al estator.	Cambio de motor eléctrico. Motores de 400 y 600 HP, 900 rpm. 1460 volt.	3	6	4	24	\$ 32.50	\$ 35,250	\$ 135,546	\$ 620,478
					2	Lectura errónea del sensor de vibración (vibraswitch).	Evidente / No evidente: si Afecta SHA: no Efecto operacional (síntomas): detiene proceso Descripción: Una lectura errónea se produce cuando no se realiza limpieza en el sensor y detecta como detenido el tornillo.	Calibración de sensor de vibración o cambio de sensor de vibración.	3	2	2	4	\$ 32.50	\$ 35,250	\$ 1,916	\$ 76,638
					3	Corte del eje Rotor de los motores.	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Detención de proceso Descripción: el corte de rotor del motor se detecta cuando por excesiva fuerza se corta el eje del rotor de motor.	Cambio de motor eléctrico. Motores de 400 y 600 HP, 900 rpm. 1460 volt.	2	8	4	32	\$ 39.50	\$ 35,250	\$ 135,546	\$ 555,620
					4	Corto circuito motores eléctrico.	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: no Efecto operacional (síntomas): Detención de proceso Descripción: se produce cuando una de las líneas trifásica (R, S, T) realiza contacto con tierra o a masa. realizando un corte circuito.	Medición de aislación de motor eléctrico, en caso de dar valores sobre 5 gilas ohm, utilizar el mismo, caso contrario cambiar motor eléctrico	2	8	4	32	\$ 30.50	\$ 35,250	\$ 135,546	\$ 555,044
					5	Sobre corriente motores eléctricos.	Evidente / No evidente: si Afecta SHA: no Efecto operacional (síntomas): Detención de proceso Descripción: Se produce cuando se sobre esfuerza mecánicamente en un tiempo determinado el motor eléctrico, incrementando la corriente eléctrica y actuando sus protecciones termomagnéticas.	Analizar mecánicamente el debido modo de fallo para posterior restablecer suministro eléctrico del equipo.	2	4	2	8	\$ 30.50	\$ 35,250	\$ 35,250	\$ 211,988
					6	Rotura de pistas de rodamientos rotor de motor.	Evidente / No evidente: si Afecta SHA: no Efecto operacional (síntomas): Detención de proceso Descripción: Se produce a raíz de falta de lubricación y empieza el roce de metal con metal. Llegando en un tiempo determinado la rotura de las pistas de los rodamientos.	Cambio de rodamiento motores eléctricos.	2	6	5	30	\$ 45.00	\$ 35,250	\$ 80,000	\$ 374,200

Tabla 2-3. Análisis modo de falla, efecto y criticidad.

Fuente. Elaboración propia a partir del manual del CAGE MILL CP-75, Gundlach año 2011.

Sistema de molienda planta MOP-H II	Recibir salmuera proveniente del chancador de colpas salmuera 5232-CHR-260 hasta el receptáculo cilíndrico de salmuera TK-1, moler material se salmuera desde 2 milímetro a 0,75 milímetro con una alimentación que varía desde los 300 hasta los 380 toneladas por hora. (Ton / hora)	Falla funcional Total: Incapacidad de moler material, equipo completamente detenido.	7	Rotura de polea motriz motores eléctrico.	Evidente / No evidente: si Afecta SHA: no Efecto operacional (síntomas): Detención de proceso Descripción: Se produce a raíz de la fuerza ejercida por el motor eléctrico y sumado al mal montaje de la polea motriz.	Cambio de Polea Motriz de ambos motores eléctricos.	5	8	5	40	\$ 39.50	\$ 35,250	\$ 2,649	\$ 303,145
			8	Corte de base sensor de velocidad cero.	Evidente / No evidente: si Afecta SHA: no Efecto operacional (síntomas): Detención de proceso Descripción: Se produce a raíz de las vibraciones excesiva que se encuentran en el lugar provocadas por el CAGE MILL CP-75.	Fabricación y soldaje de soporte sensor de velocidad cero.	5	3	2	6	\$ 39.50	\$ 35,250	\$ 35,250	\$ 283,185
			9	Corto circuito sensor de velocidad cero.	Evidente / No evidente: si Afecta SHA: no Efecto operacional (síntomas): Detención de proceso Descripción: Se produce a raíz de las vibraciones y carga excesivas del equipo.	Cambio de sensor de velocidad cero	6	2	2	4	\$ 32.50	\$ 35,250	\$ 522	\$ 74,412
			10	Corte eje central caja porta rodamiento (CPR).	Evidente / No evidente: si Afecta SHA: no Efecto operacional (síntomas): Detención de proceso Descripción: Se produce a raíz de las vibraciones excesiva y carga excesiva del equipo.	Cambio de Caja porta rodamiento completa (CPR)	4	10	5	50	\$ 39.50	\$ 35,250	\$ 165,574	\$1,022,696
			11	Corte de chaveta eje central caja porta rodamiento (CPR).	Evidente / No evidente: si Afecta SHA: no Efecto operacional (síntomas): Detención de proceso Descripción: Se produce a raíz de sobre carga mecánica ejercida en la jaula por sobre carga de material.	Fabricación y montaje de chaveta por parte tornería.	1	6	4	24	\$ 39.50	\$ 35,250	\$ 35,250	\$ 247,698
			12	Rotura de pistas de rodamiento eje central caja porta rodamiento (CPR).	Evidente / No evidente: si Afecta SHA: no Efecto operacional (síntomas): Detención de proceso Descripción: Se produce a raíz de falta de lubricación y empieza el roce de metal con metal. Llegando en un tiempo determinado la rotura de las pistas de los rodamientos.	Cambio de rodamientos eje central CPR	2	10	5	50	\$ 39.50	\$ 35,250	\$ 257,400	\$ 871,250

Tabla 2-3. Análisis modo de falla, efecto y criticidad.

Fuente. Elaboración propia a partir del manual del CAGE MILL CP-75, Gundlach año 2011.

Sistema de molienda planta MOP-H II	Recibir salmuera proveniente del chancador de colpas salmuera 5232-CHR-260 hasta el receptáculo cilíndrico de salmuera TK-1, moler material se salmuera desde 2 milímetro a 0,75 milímetro con una alimentación que varia desde los 300 hasta los 380 toneladas por hora. (Ton / hora)	Falla funcional Total: Incapacidad de moler material, equipo completamente detenido.	13	Rotura de sello impropio caja porta rodamiento (CPR).	Evidente / No evidente: si Afecta SHA: no Efecto operacional (síntomas): Detención de proceso Descripción: Se produce a raíz de falta de lubricación y empieza el roce de metal con metal. Llegando en un tiempo determinado la rotura de las pistas de los rodamientos.	Cambio de sello impropio y a su vez cambio completo de lubricación CPR	2	8	4	32	\$ 39.50	\$ 35,250	\$ 5,705	\$ 295,938
			14	Rotura de poleas conducida eje central caja porta rodamiento (CPR).	Evidente / No evidente: si Afecta SHA: no Efecto operacional (síntomas): Detención de proceso Descripción: Se produce a raíz de mal montaje de poleas. Quebrándose al momento de ingresar material.	Cambio de ambas poleas conducidas de CPR	2	6	4	24	\$ 39.50	\$ 35,250	\$ 28,585	\$ 270,566
			15	Corte de correas de transmisión Cage mill CP-75.	Evidente / No evidente: si Afecta SHA: no Efecto operacional (síntomas): Detención de proceso Descripción: Se produce a raíz de mal montaje y tensado de correas de transmisión y a su vez por mal montaje de poleas transmisoras.	Cambio de correas de transmisión	12	6	4	24	\$ 39.50	\$ 35,250	\$ 2,645	\$ 254,616
			16	Corte de sello Laberinto eje de caja porta rodamiento (CPR).	Evidente / No evidente: si Afecta SHA: no Efecto operacional (síntomas): Detención de proceso Descripción: Se produce a raíz de mal montaje de sello impropio del CPR.	Cambio de sello impropio y a su vez cambio completo de lubricación CPR	2	8	5	40	\$ 39.50	\$ 35,250	\$ 3,540	\$ 292,240
			17	Rotura de jaulas CP-75.	Evidente / No evidente: si Afecta SHA: no Efecto operacional (síntomas): Detención de proceso Descripción: Se produce a raíz de mal montaje de jaula CP-75 o también se debe a la entrada de un material duro como un fierro que pueda dañar los trapezoides de la jaula.	Cambio de jaulas CP-75 ambos juegos.	11	6	4	24	\$ 39.50	\$ 35,250	\$ 26,749	\$ 516,167

Tabla 2-3. Análisis modo de falla, efecto y criticidad.

Fuente. Elaboración propia a partir del manual del CAGE MILL CP-75, Gundlach año 2011.

Sistema de molienda planta MOP-H II	1	Recibir salmuera proveniente del chancador de colpas salmuera 5232-CHR-260 hasta el receptáculo cilíndrico de salmuera TK-1, moler material se salmuera desde 2 milímetro a 0,75 milímetro con una alimentación que varia desde los 300 hasta los 380 toneladas por hora. (Ton / hora)	1	Falla funcional Total: Incapacidad de moler material, equipo completamente detenido.	18	Rotura de machones de (CPR).	Evidente / No evidente: si Afecta SHA: no Efecto operacional (síntomas): Detención de proceso Descripción: Se produce a raíz de mal montaje de machones en el CPR. Generando quiebre por fuerza mecánica externa.	Fabricación de machones y montaje en CPR	4	4	4	16	\$ 39.50	\$ 35,250	\$ 15,750	\$ 206,528
					19	Desbalance de jaula Cage mill cp-75.	Evidente / No evidente: si Afecta SHA: no Efecto operacional (síntomas): Detención de proceso Descripción: Se produce a raíz de mal montaje de jaula CP-75, quebrándose los pernos de fijación y trapecios.	Cambio de jaulas CP-75 ambos juegos.	3	6	5	30	\$ 39.50	\$ 35,250	\$ 26,749	\$ 295,302
Sistema de molienda planta MOP-H II	1	Recibir salmuera proveniente del chancador de colpas salmuera 5232-CHR-260 hasta el receptáculo cilíndrico de salmuera TK-1, moler material se salmuera desde 2 milímetro a 0,75 milímetro con una alimentación que varia desde los 300 hasta los 380 toneladas por hora. (Ton / hora)	2	Falla funcional Parcial: Capacidad de moler material pero con una intensidad mas baja. Planta baja tasa a 250 toneladas por hora.	1	Rotura de caja HOUSING.	Evidente / No evidente: no Afecta SHA: no Efecto operacional (síntomas): No detiene proceso Descripción: Por deterioro de material por oxido y agentes externos, caja HOUSING se generan grietas y orificios que salen material desprendido. generalmente equipo no se detiene, pero si baja tasa a 250 toneladas por hora para reparación parche de la caja.	Fabricación y soldaje de parches metálicos para reparación de fugas	3	4	3	12	\$ 39.50	\$ 35,250	\$ 12,060	\$ 178,602

2.3 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE MODO DE FALLA, EFECTO Y CRITICIDAD (FMECA).

Uno de los puntos clave en las grandes industrias y sobre todo en SQM son el flujo de dinero y costos asociados a la producción que abarca la planta MOP-H II. Por ende, en el análisis de modo de falla, efecto y criticidad no solo hay que jerarquizar los modos de falla por el número de prioridad de riesgo, sino que hay que jerarquizarlos por el riesgo cuantitativo de costos asociados a cada modo de falla. Con el fin de analizar cuando sale o cuando vale el costo de cada falla incluyendo las horas detenidas, costo de reparación, etc.

Por ende, como se puede visualizar en el análisis de modo de falla, efecto y criticidad. Los modos de falla más impactantes para la planta MOP-H II son fallas producidas en ambos motores eléctricos, las jaulas CP-75 y la caja porta rodamiento (CPR) del CAGE MILL 385. Estos datos se obtuvieron en el estudio de las fallas de la planta MOP-H II desde el 01-01-2020 hasta el 01-10-2021. Considerando los costos asociados a los modos de falla cabe destacar que cuando un repuesto tiene un precio mayor a 70.000 dólares americanos se solicita aprobación de compra directa por parte del superintendente de mantenimiento y para luego solicitar aprobación del vicepresidente de operaciones, todo este proceso asociado a un informe técnico de porque fallo el equipo y cuáles son las medidas preventivas para que no vuelva a ocurrir. A su vez estos equipos críticos en base a costo de mantenimiento, se le agrega toda la logística de traslado de equipos al momento de comprarlos, ejemplo los motores eléctricos y jaulas CP-75 se compran directamente de EE. UU. a no ser que sean reparados en la zona norte del país (Antofagasta).

Junto a estos valores de criticidad de los modos de falla, se realizará un modelo de plan de mantenimiento en donde por cada modo de falla se realizará un mantenimiento preventivo y predictivo, evidenciando así que los costos de estos mantenimientos son menores que los costos de fallas producidas en los modos de falla escritas y que requieren de acciones inmediatas de cambio para dar continuidad a la producción. A su vez se enfatizará los planes de mantenimiento en los equipos o componentes que son más riesgosos en los costos de mantenimiento. Con el fin de minorizar los costos y los modos de fallas. Estos planes de mantenimiento se enfocarán a los motores eléctricos, jaula CP-75 y caja porta rodamiento (CPR) perteneciente al CAGE MILL 385.

2.4 MODELO PLAN DE MANTENIMIENTO.

El modelo de plan de mantenimiento enfatizará en minorizar los costos asociados a los modos de falla descritos en el análisis de modo de falla, efecto y criticidad, por ende, se describirán las acciones correctivas y preventivas de cada modo de falla, junto a una frecuencia preestablecida en el manual del equipo y por estudio de análisis de las diferentes áreas de ejecución que implica el equipo que son; mecánicas, eléctricas, instrumentista, lubricación y predictivos. Para realizar el modelo de plan de manteniendo se realizará 6 aspectos técnicos que nos llevara al valor indicador final que es el costo del plan de mantenimiento, con el fin de analizar si es fiable realizar un plan de mantenimiento preventivo o predictivo, o si es mejor realizar un mantenimiento correctivo. Estos aspectos técnicos son:

2.4.1 Política de mantenimiento.

En el plan de mantenimiento de los modos de falla se enfatizará en 2 modelos de política de mantenimientos que son:

a) Mantenimiento basado en uso, (Use-Based-Maintenance).

Esta política de mantenimiento se basa en tareas elementales de mantenimiento de un equipo como ejemplo toma de parámetros, mediciones, lubricación, reapriete de pernos etc. Que no conllevan a necesariamente tener una gran formación técnica o ingenieril, sino que con solamente un entrenamiento breve y experiencia en equipos de la planta MOP-H II se pueden realizar los tipos de trabajos o tareas que implican en mantenimiento preventivo o correctivo de los modos de falla.

b) Mantenimiento basado en condición, (Condition-Based-Maintenance).

Esta política de mantenimiento se basa en tareas cruciales y complejas en mantenimiento de un equipo como ejemplo toma de parámetros de vibración, ultrasonidos, etc.) teniendo como base el monitoreo y condición del equipo en un tiempo determinado y observado si va cambiando su condición degradándose o abarcando otras fallas anexas, deduciendo a fin el momento óptimo de realizar Overhaul o mantenimientos críticos que detienen el equipo.

2.4.2 Acción preventiva o predictiva.

En base a los modos de fallas se emplearán acciones correctivas o preventivas, todo dependiendo si el equipo está en funcionamiento o si está en una detención programada. Algunas de estas acciones son las mediciones de vibraciones o análisis de vibraciones en ciertos sectores o a su vez inspecciones visuales que se realizan en detenciones programadas del activo físico. Estas acciones de mantenimiento se llevarán a cabo mediante el criterio de política de mantenimiento ya sea en uso o condición.

2.4.3 Frecuencia de aplicación.

La frecuencia de aplicación describe el periodo del tiempo que se realizara la acción preventiva o predictiva en cada modo de falla, con el fin de mantener la disponibilidad del equipo o la frecuencia de acciones de mantenimiento que conllevaran a una mayor conservación del equipo y esperar que no se detenga en fallas inesperadas. Junto con lo descrito la frecuencia de aplicación también conllevara a determinar la coordinación, planificación y programación entre el departamento de mantenimiento y el departamento de operaciones, las fechas exactas de detención del equipo con el fin de realizar no solo inspecciones preventivas, sino que también cambio de algunos repuestos si los amerita.

2.4.4 Personal de ejecución a cargo.

El personal de ejecución es el responsable de realizar las acciones preventivas o predictivas, con el fin de dar responsabilidades de que se cumplan las normas preestablecidas de mantenimientos de los componentes del activo físico. Junto con lo descrito anteriormente, esto llevará un costo asociado en donde se verá en una tabla más adelante.

El personal se dividirá en 4 columnas que demuestra lo siguiente.

- a) Duración; es el tiempo que se demorará el personal de manteamiento realizar la política de trabajo y los planes de trabajo, este tiempo será medido en horas.
- b) Dotación; contempla la cantidad de dotación del personal de mantenimiento que realizara la actividad física. Y si contempla otra área de ejecución (trabajos cruzados).

- c) HH; significa las horas hombre que conlleva la actividad a realizar en cada modo de falla. Este indicador se contempla de la siguiente manera:

$$HH = Duración \cdot Dotación.$$

- d) Especialidad; corresponde al personal que se encargara de efectuar la actividad de mantenimiento de cada modo de falla. Cabe destacar que en ciertos trabajos es necesario realizarlos con 2 especialidades ya que un ejemplo, para un cambio de motor, los mecánicos se encargan de cambiarlo y alinearlos y los eléctricos se encargan de la desconexión y conexión.

2.4.5 Disponibilidad real versus la esperada.

La disponibilidad real es la que representa el modo de falla a la disponibilidad del equipo CAGE MILL CP-75 y la disponibilidad esperada es la disponibilidad que abarca el equipo al momento de mitigar ese modo de falla. Cabe destacar que el estudio de disponibilidad recabe en un tiempo determinado de 720 horas correspondiente a un mes de producción sin detención del equipo. Y a su vez la disponibilidad real toma en cuenta los valores recopilados de CAGE MILL CP-75 históricos de falla desde 01-01-2020 hasta el 10-10-2021. La confiabilidad se calcula de la siguiente manera.

$$Disponibilidad (\%) = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \cdot 100\%$$

2.4.6 Costo del plan mantenimiento preventivo o predictivo.

El costo del plan de mantenimiento recabe en el valor total del mejoramiento del plan de mantenimiento de los modos de fallas importados en el análisis de modo de falla, efecto y criticidad. Este costo evalúa directamente la diferencia que existe si los modos de falla se solucionan con un mantenimiento correctivo o con un mantenimiento preventivo o predictivo. Este costo de mantenimiento se calcula de la siguiente manera.

$$Costo \text{ de plan de mant. preve. o predic. } (\$) = HH \cdot Costo \text{ de HH especialidad}$$

Este costo se desempeña en la unidad de medida de dólares americanos y a su vez comprende el plan nuevo de mantenimiento de 22 meses, que es el mismo periodo de tiempo del indicador de valor riesgo cuantitativo costo de 22 meses.

En base a estos 6 puntos clave y características claves se realiza el modelo plan de mantenimiento mejorado a las indicaciones de los modos de fallas que se obtuvo del método de análisis modo de falla, efecto y criticidad, quedando de la siguiente manera. Ver en Tabla 2-4. Modelo plan de mantenimiento.

Tabla 2-4. Modelo plan de mantenimiento.

Fuente. Elaboración propia a partir del análisis modo de falla, efecto y criticidad del CAGE MILL CP-75, año 2021.

Numero.	Modo de Falla.	Política.	Acción preventiva o predictiva a ejecutar.	Frecuencia de aplicación en meses.	duración.	dotación.	HH.	Especialidad.	Disponibilidad real	Disponibilidad esperada.	Costo de HH (especialidad) en dolares.	Costo de plan preventivo o predictivo (22 meses) en dolares
1.1.1	Motores eléctricos con baja aislación.	UBM	Inspección visual de motor eléctrico y medición de aislación de bobinas en detenciones programadas.	3	3	2	6	Eléctrico	99.922%	99.926%	\$ 32.50	\$ 1,365
1.1.2	Lectura errónea del sensor de vibración (vibraswitch).	UBM	Inspección visual y reaprete de terminales sensor de vibración CAGE MILL CP-75 en detenciones programadas.	3	2	1	2	Instrumentación	99.941%	99.944%	\$ 32.50	\$ 455
1.1.3	Corte del eje Rotor de los motores.	CBM	Inspección visual y Moncon análisis de vibraciones a motor eléctrico programadas.	2	2	2	4	Mecánico y predictivo	99.852%	99.859%	\$ 39.50	\$ 13,904
1.1.4	Corto circuito motores eléctrico.	UBM	Inspección visual, reaprete y limpieza de contactores y protecciones de motores eléctricos en detenciones programadas.	3	3	2	6	Eléctrico	99.963%	99.965%	\$ 30.50	\$ 1,281
1.1.5	Sobre corriente motores eléctricos.	CBM	Inspección visual, monitoreo y medición de corriente en sala eléctrica MOP-H II programadas.	1	4	2	8	Eléctrico	99.990%	99.990%	\$ 30.50	\$ 21,472
1.1.6	Rotura de pistas de rodamientos rotor de motor.	CBM	Inspección visual y moncon y medición de vibraciones motores eléctricos programadas.	1	3	2	6	Predictivo	99.925%	99.929%	\$ 45.00	\$ 23,760
1.1.7	Rotura de polea motriz motores eléctrico.	UBM	Inspección visual y medición de canales polea motriz en detenciones programadas.	3	5	4	20	Mecánico	99.814%	99.823%	\$ 39.50	\$ 5,530
1.1.8	Corte de base sensor de velocidad cero.	UBM	Inspección visual soldadura y base soporte de velocidad cero programadas.	1	2	1	2	Mecánico	99.922%	99.925%	\$ 39.50	\$ 6,952
1.1.9	Corto circuito sensor de velocidad cero.	UBM	Inspección visual y reaprete de terminales sensor de velocidad mas su calibración del CAGE MILL CP-75 en detenciones programadas.	1	2	1	2	Instrumentación	99.968%	99.970%	\$ 32.50	\$ 455
1.1.10	Corte eje central caja porta rodamiento (CPR).	CBM	Inspección visual y Moncon análisis de vibraciones a eje central programadas.	1	3	2	6	Predictivo	99.860%	99.867%	\$ 39.50	\$ 41,712

Tabla 2-5. Modelo plan de mantenimiento.

Fuente. Elaboración propia a partir del análisis modo de falla, efecto y criticidad del CAGE MILL CP-75, año 2021.

1.1.1.11	Corte de chaveta eje central caja porta rodamiento (CPR).	UBM	Inspección visual y medición de desgaste chaveta del CAGE MILL CP-75 en detenciones programadas.	3	6	4	24	Mecánico	99.959%	99.961%	\$ 39.50	\$ 6,636
1.1.1.12	Rotura de pistas de rodamiento eje central caja porta rodamiento (CPR).	CBM	Inspección visual y Moncon análisis de vibraciones a eje central y CPR programadas	1	2	1	2	Predictivo	99.917%	99.921%	\$ 39.50	\$ 13,904
1.1.1.13	Rotura de sello impropil caja porta rodamiento (CPR).	UBM	Inspección visual y medicción de sello impropil CPR en detenciones programadas.	3	8	4	32	Mecánico	99.859%	99.866%	\$ 39.50	\$ 8,848
1.1.1.14	Rotura de poleas conducida eje central caja porta rodamiento (CPR).	UBM	Inspección visual y medición de canales polea conducida en detenciones programadas.	3	5	4	20	Mecánico	99.911%	99.915%	\$ 39.50	\$ 5,530
1.1.1.15	Corte de correas de transmisión Cage mill CP-75.	UBM	Inspección visual y medición de elongación de correas en detenciones programadas.	3	6	4	24	Mecánico	99.364%	99.393%	\$ 39.50	\$ 6,636
1.1.1.16	Corte de sello laberinto eje de caja porta rodamiento (CPR).	UBM	Inspección visual y medicción de sello impropil CPR en detenciones programadas.	3	8	4	32	Mecánico	99.922%	99.926%	\$ 39.50	\$ 8,848
1.1.1.17	Rotura de jaulas CP-75.	UBM	Apertura de HOUSING e Inspección visual detenciones programadas. Realizar apertura housing por posible jaula quebrada	1	4	3	12	Mecánico y predictivo	99.597%	99.616%	\$ 39.50	\$ 26,544
1.1.1.18	Rotura de machones de (CPR).	CBM	Inspección visual y Moncon análisis de vibraciones a eje central y CPR programada.	1	2	1	2	Predictivo	99.723%	99.736%	\$ 39.50	\$ 1,738
1.1.1.19	Desbalance de jaula Cage mill cp-75.	CBM	Moncon de housing para evaluar rotura o desbalance de Jaula interna CP-75 programada.	1	3	2	6	Mecánico y predictivo	99.867%	99.874%	\$ 39.50	\$ 41,712
1.2.1	Rotura de caja HOUSING.	UBM	Inspección visual housing parte exterior. Programada	1	3	2	6	Mecánico	-	-	\$ 39.50	\$ 948

2.5 RESULTADOS DEL MODELO PLAN DE MANTENIMIENTO.

Uno de los puntos más importantes en las grandes industrias, son los costos y disponibilidad de los activos físicos. Por ende, es de razón uso que es mucho más factible realizar un mantenimiento centrado en preventivo como en predictivo, ya que los costos considerablemente son menores a los costos de plan de mantenimiento correctivo. Ver en Tabla 2-5. Análisis de costos plan de mantenimiento.

Tabla 2-5. Análisis de costos plan de mantenimiento.

Fuente. Elaboración propia a partir del análisis de costos plan de mantenimiento, SQM año 2021.

Numero.	Modo de Falla.	Riesgo cuantitativo (\$/año)	Costo de plan preventivo o predictivo (22 meses) en dolares.
1.1.1	Motores eléctricos con baja aislación.	\$ 620,478	\$ 1,365
1.1.2	Lectura errónea del sensor de vibración (vibraswitch).	\$ 76,638	\$ 455
1.1.3	Corte del eje Rotor de los motores.	\$ 555,620	\$ 13,904
1.1.4	Corto circuito motores eléctrico.	\$ 555,044	\$ 1,281
1.1.5	Sobre corriente motores eléctricos.	\$ 211,988	\$ 21,472
1.1.6	Rotura de pistas de rodamientos rotor de motor.	\$ 374,200	\$ 23,760
1.1.7	Rotura de polea motriz motores eléctrico.	\$ 303,145	\$ 5,530
1.1.8	Corte de base sensor de velocidad cero.	\$ 283,185	\$ 6,952
1.1.9	Corto circuito sensor de velocidad cero.	\$ 74,412	\$ 455
1.1.10	Corte eje central caja porta rodamiento (CPR).	\$ 1,022,696	\$ 41,712
1.1.11	Corte de chaveta eje central caja porta rodamiento (CPR).	\$ 247,698	\$ 6,636
1.1.12	Rotura de pistas de rodamiento eje central caja porta rodamiento (CPR).	\$ 871,250	\$ 13,904
1.1.13	Rotura de sello impropio caja porta rodamiento (CPR).	\$ 295,938	\$ 8,848
1.1.14	Rotura de poleas conducida eje central caja porta rodamiento (CPR).	\$ 270,566	\$ 5,530
1.1.15	Corte de correas de transmisión Cage mill CP-75.	\$ 254,616	\$ 6,636
1.1.16	Corte de sello laberinto eje de caja porta rodamiento (CPR).	\$ 292,240	\$ 8,848
1.1.17	Rotura de jaulas CP-75.	\$ 516,167	\$ 26,544
1.1.18	Rotura de machones de (CPR).	\$ 206,528	\$ 1,738
1.1.19	Desbalance de jaula Cage mill cp-75.	\$ 295,302	\$ 41,712
1.2.1	Rotura de caja HOUSING.	\$ 178,602	\$ 948

Se observa a su vez que en base a los cálculos de disponibilidad del equipo en base a cada modo de falla en un periodo de tiempo de simulación de 720 horas de producción (1 mes) la disponibilidad incrementa si se logra mitigar las fallas inesperadas del equipo CAGE MILL CP-75 desarrollas en el estudio de casi 2 años (22 meses). Por ende, es razonable implementar el modelo de plan de mantenimiento que se realizara a continuación.

**CAPÍTULO 3: GENERAR MEJORAS EN PLAN DE MANTENIMIENTO PARA
EVALUAR SU VIABILIDAD EN LA IMPLEMENTACIÓN POR MEDIO DE
COSTOS ASOCIADOS.**

3.1 PLANIFICACIÓN DE MEJORAS MANTENIMIENTO DE MODOS DE FALLA CRITICOS.

En la actualidad el área de mantenimiento de la planta MOP-H II, contempla pocos planes de mantenimiento preventivo y predictivo, por lo general el equipo CAGE MILL CP-75 se realiza el mantenimiento correctivo en base a que generalmente no cumple con tiempos estimados de uso según los especialistas y por lo general, hasta el momento solo se realiza un mantenimiento correctivo en base a cambiar componentes una vez que este dañado. Por ende, Se realizará un mejoramiento en los planes de mantenimiento de acuerdo con los modos de falla y componentes que son más riesgosos según el riesgo cuantitativo de 22 meses de mantenimiento, generando checklist e indicaciones para cada uno. Con el fin de minorizar los costos y los modos de fallas, estos planes de mantenimiento se enfocarán a los motores eléctricos, jaula CP-75 y caja porta rodamiento (CPR) perteneciente al CAGE MILL 385.

Junto con lo descrito se realizará una planificación de los mejoramientos de plan de mantenimiento indicando así la pauta de trabajo, herramientas a utilizar y los componentes o insumos a utilizar. No obstante, también se tomará en cuenta que, aunque se realice un mantenimiento preventivo y predictivo el equipo en cierto periodo de tiempo tendera a fallar netamente por fatigas materiales o agentes externo, por ende, en base a sus componentes se tomaran ciertos cambios de repuestos en los planes de mantenimientos mejorados.

3.1.1 Mantenimiento preventivo motores eléctricos 400 HP y 600 HP.

Los motores eléctricos son componente que gracias a ellos ejercen el movimiento de giro de las jaulas del CP-75 con el fin de moler la salmuera de entrada y dirigirlo hacia la salida. El equipo CAGE MILL CP-75 se componen de 2 motores eléctrico que son de 400 HP y 600 HP, con una revolución por minuto de 990 ambos, pero estos motores se destacan netamente por ser de 1460 volt de alimentación eléctrica trifásica, en donde se evidencia lo especial que son estos equipos, ya que son motores de media tensión. Uno de los modos de falla que más criticidad dio el análisis de modo de falla, efecto y criticidad, es que la pérdida o defecto de estos equipos ya sea por corte de eje, rodamientos o bobinas quemadas por sobre corriente, dando origen a cambiar el motor eléctrico y a su vez indicando que el valor de estos es más de 135.000 dólares. En la empresa SQM y específicamente la planta MOP-H II, desde hace 3 meses hacia atrás,

definida, sino que solamente se limpia y lubrica cuando el personal que transite escuche un ruido extraño en su interior, indicando carencia lubricadora del motor o falta de limpieza de las aspas del motor o rejillas disipadoras de calor.

En base a la limpieza del motor correspondiente se realizará 4 veces por turno en programación base semanal del personal eléctrico con criticidad 1. Indicando que se realizara una limpieza en seco que contempla las rejillas disipadoras de calor de ambos motores, con el fin recircular ventilación de los motores y no sobre calentarse la carcasa.

Otro punto de limpieza es la parte posterior del motor en donde se encuentra el ventilador, ya que es la parte principal de refrigeración del motor. Como en la planta MOP-H II se procesa salmuera húmeda esta al momento de adherirse al motor o rejilla de ventilador se seca muy rápidamente, quedando verdaderas costras de sal sólidas, el método para sacar estas costras es golpeándolas con un cincel y martillo, pero como es sal, esta empieza a corroer directamente la carcasa del motor quedando partes del motor en mal estado o quebradas al momento de sacarlas. Por ende, es de real importancia realizar una limpieza periódica en el tiempo para no llegar a tener salmuera solidificada adherida al motor.

La programación de los motores quedaría de la siguiente forma. Ver en Tabla 3-1. Programación de limpieza motores CAGE MILL CP-75.

Tabla 3-1. Programación de limpieza motores CAGE MILL CP-75.

Fuente. Elaboración propia a partir del manual de operaciones planta MOP-H II.

N OT	Planta	Duración	Dotación	HH	Prioridad	Descripción	Comentario	Estado	Especialidad	Día Semana
60683053	MOP-HII	1.0	1	1.0	1	S248-MTR-386; LIMPIEZA MOTOR CP75,1		PROGRAMADA	Eléctrico	1
60683088	MOP-HII	1.0	1	1.0	1	S248-MTR-387; LIMPIEZA MOTOR CP75,1		PROGRAMADA	Eléctrico	1
60683063	MOP-HII	1.0	1	1.0	1	S248-MTR-386; LIMPIEZA MOTOR CP75,3		PROGRAMADA	Eléctrico	3
60683098	MOP-HII	1.0	1	1.0	1	S248-MTR-387; LIMPIEZA MOTOR CP75,3		PROGRAMADA	Eléctrico	3
60683073	MOP-HII	1.0	1	1.0	1	S248-MTR-386; LIMPIEZA MOTOR CP75,5		PROGRAMADA	Eléctrico	5
60683108	MOP-HII	1.0	1	1.0	1	S248-MTR-387; LIMPIEZA MOTOR CP75,5		PROGRAMADA	Eléctrico	5
60683083	MOP-HII	1.0	1	1.0	1	S248-MTR-386; LIMPIEZA MOTOR CP75,7		PROGRAMADA	Eléctrico	7
60683118	MOP-HII	1.0	1	1.0	1	S248-MTR-387; LIMPIEZA MOTOR CP75,7		PROGRAMADA	Eléctrico	7

Esta limpieza nos ayudara a mejorar la calidad y durabilidad de lubricación de los motores eléctricos, ya que, si los motores contemplan sobre calentamiento por la falta de refrigeración de aire entregada por el ventilador del motor, los rodamientos al girar a una velocidad nominal de 990 revoluciones por minuto (RPM), empiezan a quemar su lubricante y esta conlleva a evaporar la grasa lubricadora. A su vez si los rodamientos contemplan una temperatura elevada con respecto al trabajo normal. Empiezan a dilatarse el material de resistividad de los rodamientos y rodillos, llevando así a futuras fracturas de rodamiento y posteriormente a rotura de rodamiento. Se tomará como

referencia de grasa de lubricación marca MOBIL, modelo POLYREX EM 103 indicada por el fabricante, ya que esta contempla una mayor consistencia para aplicaciones de cojinetes o rodamientos de motores sobre los 400 HP. Se realizará periódicamente en el tiempo 1 vez cada 720 horas (1 mes), ya que al estar en constante movimiento y trabajo los motores, la grasa pierde su capacidad y propiedades de lubricación. Estas lubricaciones se realizarán en base de un formato con el fin de tener registro físico de que se realizó y quien lo realiza. Ver en Figura 3-2. Lubricación de motores eléctricos CAGE MILL CP-75.

LUBRICACIÓN MOTORES ELÉCTRICOS CAGE MILL CP-75				
Nombre:				
Cargo:				
Especialidad:				
Fecha:				

MOTOR	PUNTOS DE LUBRICACIÓN	TIPO DE RODAMIENTO	GRAMOS	CHECKLIST
400 HP	PUNTO A	NU - 326 - C3	81 g	
	PUNTO B	6320 - C3	51 g	
600 HP	PUNTO A	NU - 326 - C3	81 g	
	PUNTO B	6320 - C3	51 g	



MOTOR ELÉCTRICO CAGE MILL CP-75 (385)

	SI	NO
INSPECCIÓN VISUAL DE SOLTURA TUBO DE LUBRICACIÓN		
INSPECCIÓN VISUAL DE TUBO LUBRICACIÓN OBSTRUIDO		
INSPECCIÓN VISUAL DE APERTURA DESPICHE LUBRICACIÓN MAL ESTADO		
INSPECCIÓN VISUAL COSTRAS DE SAL INCURSTADAS EN LUBRICACIÓN		
INSPECCIÓN VISUAL LUBRICADOR ELÉCTRICO EN CERO CONTADOR		
INSPECCIÓN VISUAL DE ALEMITES EN BUEN ESTADO		
REAPRETES DE ALEMITES SI LO AMERITA.		

FECHA

FIRMA

Figura 3-2. Lubricación de motores eléctricos CAGE MILL CP-75.

Fuente. Elaboración propia a partir del manual de motores WEG, año 2018.

Junto a estas mejoras de plan de mantenimiento, en el anexo B se realiza una planificación del mantenimiento descrito, en donde se indica la pauta de mantenimiento correctivo al cambio de motores eléctricos y el mantenimiento preventivo generado tanto la lubricación de motores como la medición de aislación de los motores eléctricos, Ver extracto de planificación en Tabla 3-2. Planificación mantenimiento motores eléctricos CAGE MILL CP-75.

Tabla 3-2. Planificación mantenimiento motores eléctricos CAGE MILL CP-75.

Fuente. Elaboración propia a partir del manual de motores WEG, año 2018.

PASO	MANTENIMIENTO CORRECTIVO CAMBIO DE MOTORES ELÉCTRICOS CAGE MILL CP-75.
1	Realizar charla por parte de supervisor eléctrico y completar formato.
2	Preparación de repuestos materiales y herramientas para realizar el trabajo.
3	Coordinar con jefe de turno la entrega del equipo por parte de operaciones.
4	Solicitar entrega equipo a personal Sala Eléctrica, según procedimiento.
5	Detener el equipo.

Junto con la planificación y la pauta de mantenimiento se describirá las herramientas a utilizar, ver en extracto Tabla 3-3. Herramientas a utilizar cambio de motor eléctrico. y a su vez los insumos que son necesarios para realizar estos planes de mantenimiento, ver extracto Tabla 3-4. Insumos para realizar mantenimiento cambio de motor.

Tabla 3-3. Herramientas a utilizar cambio de motor eléctrico.

Fuente. Elaboración propia a partir del manual de motores WEG, año 2018.

CANTIDAD.	HERRAMIENTAS A UTILIZAR CAMBIO DE MOTOR ELÉCTRICO.
1	Tecle cadena 3 toneladas.
2	Cinzel 10 Pulg.
2	Porta Powers 10 ton.
1	Maquina Soldadora 120 A, Con Mascara Electrónica.
1	Protector Facial Soldador.

Tabla 3-4. Insumos para realizar mantenimiento cambio de motor.

Fuente. Elaboración propia a partir del manual de motores WEG, año 2018.

CANTIDAD	INSUMOS PARA REALIZAR EL MANTENIMIENTO CAMBIO DE MOTOR.
2	Cinta 3M Aislante. Color negro
1	Cinta papel market. 3M
6	Candados de bloqueo.
4	Silicona liquida de alta temperatura RTD marca 3M.

3.1.2 Mantenimiento preventivo jaulas CAGE MILL CP-75.

Las jaulas CP-75 son componentes de 2 filas circulares concéntricas de barra o trapezoides que gracias a su giro modo horario jaula externa y modo antihorario jaula interna, impactan el material para llegar a moler el material salmuera de entrada desde 2 mm hasta 0,075 milímetros, estas jaulas son de un material cromado que en base a las malas prácticas operativas de impactos de material no controlado y externo, los trapezoides que los componen se empiezan a fracturar y romper.

En base a lo descrito, por parte predictivo, no se puede realizar un estudio de análisis de vibraciones, ya que como este componente está dentro de una caja de entrada de material llamada HOUSING, impide el acceso para realizar toma de parámetros del componente del equipo. Por ende, se realizará un mantenimiento preventivo de inspección visual de jaulas (física) para observar si presenta grietas y roturas los trapezoides, base y estructura de las jaulas.

Estas inspecciones se realizarán con un periodo constante cada 3 meses para llevar registro y control del estado de las jaulas, a no ser que exista la oportunidad de una detención planta programada para su inspección. Con la finalidad de no presentar modos de falla de rotura de jaulas inesperadamente cuando la planta MOP-H II está en funcionamiento.

Junto con lo descrito según el manual de equipo CAGE MILL CP-75 estas jaulas se deberán cambiar cada 8 meses o mandar a reparar cada 8 meses, por ende, se planificará y programará repuestos para cambio en un mantenimiento correctivo por posible falla con estos tiempos determinados, pero se realizará en los 6 meses de productividad continua, ya que se ha visto reflejado que por condiciones anormales y malas prácticas de operatividad, el equipo no dura más de 6 meses. Cabe destacar que para realizar la apertura del CAGE MILL CP-75 o mejor dicho el HOUSING se deberá detener la alimentación planta y por consecuencia detener la producción de la planta MOP-H II. en caso de que se encontrase las jaulas deterioradas, fracturadas o rotas, se deberá cambiar inmediatamente por una nueva y reiniciar el conteo de inspección periódica de cada 3 meses.

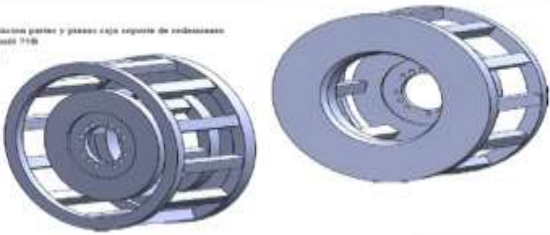
El formato de inspección se implementará de la siguiente manera, ver en

Figura 3-3. Inspección jaulas menor y mayor CP-75.

INSPECCIÓN JAULAS MENOR Y MAYOR .

Modelación partes y piezas caja soporte de rodillos

Cage mill 75B



Nombre:

Cargo:

Especialidad:

Fecha:

	SI	NO
INSPECCIÓN VISUAL DE SOLTURA DE PERNOS.		
INSPECCIÓN VISUAL DE FRAGMENTACIÓN DE TRAPEZOIDES.		
INSPECCIÓN VISUAL DE SOPORTE CAJA PORTA RODAMIENTO.		
FRAGMENTACIÓN DE MASA POR ULTRA SONIDO.		
SOLIDIFICACIÓN DE MATERIAL INTERIOR.		
REQUIERE CAMBIO DE JAULA INTERNA O EXTERNA.		
FECHA DE CAMBIO DE JAULA INTERNA O EXTERNA.		

FECHA

FIRMA

Figura 3-3. Inspección jaulas menor y mayor CP-75.

Fuente. Elaboración propia a partir del manual del CAGE MILL CP-75 sección jaulas CP-75, Gundlach año 2011.

Junto a estas mejoras de plan de mantenimiento, en el anexo C se realiza una planificación del mantenimiento descrito, en donde se indica la pauta de mantenimiento correctivo al cambio de jaula CP-75 y el mantenimiento preventivo inspección de jaula CP-75, Ver extracto de pauta en Tabla 3-5. plan de mantenimiento jaulas CP-75.

Tabla 3-5. plan de mantenimiento jaulas CP-75.

Fuente. Elaboración propia a partir del manual del CAGE MILL CP-75 sección jaulas CP-75, Gundlach año 2011.

PASO	MANTENIMIENTO PREVENTIVO JAULA CAGE MILL CP-75.
1	Coordinar desarrollo del trabajo y verificar estado y operatividad de sistema de levante.
2	Confeccionar HCR Y ART, obtener firma de Supervisor Mant.
3	Mecánico , posteriormente obtener firma de Jefe Turno Operaciones
4	Observar estado general del equipo. Si corresponde, solicitar a operaciones efectue limpieza del equipo.
5	Solicitar bloqueo electrico del equipo.
6	Apertura de compuertas del cage mill.

Junto con la planificación y la pauta de mantenimiento se describirá las herramientas a utilizar, ver en extracto Tabla 3-6. Herramientas a utilizar plan de mantenimiento jaula Y a su vez los insumos que son necesarios para realizar estos planes de mantenimiento, ver extracto Tabla 3-7. Insumos para realizar plan de mantenimiento jaula CP-75.

Tabla 3-6. Herramientas a utilizar plan de mantenimiento jaula CP-75.

Fuente. Elaboración propia a partir del manual del CAGE MILL CP-75 sección jaulas CP-75, Gundlach año 2011.

CANTIDAD.	HERRAMIENTAS A UTILIZAR CAMBIO DE JAULA CP-75.
2	Llave de impacto cuadrante 1".
2	Tecle cadena 3 toneladas.
2	Grillete de 5/8" .
2	Llave de Torque 800 Lb/ft 1 1/4 Pulg.

Tabla 3-7. Insumos para realizar plan de mantenimiento jaula CP-75.

Fuente. Elaboración propia a partir del manual del CAGE MILL CP-75 sección jaulas CP-75, Gundlach año 2011.

CANTIDAD	INSUMOS PARA REALIZAR EL PLAN DE MANTENIMIENTO JAULA.
2	WD-40
10	Silicona liquida de alta temperatura RTD marca 3M.

3.1.3 Mantenimiento preventivo y predictivo caja porta rodamiento (CPR) CAGE MILL CP-75.

La caja porta rodamiento contempla todos los elementos de eje y rodamientos que gracias a ello se puede crear el giro sincrónico horario y antihorario de las jaulas CP-75, consta de 2 ejes uno externo que lleva el movimiento de la jaula mayor y otro eje interno que lleva el movimiento de la jaula menor.

Este equipo consta de 2 elementos principales que son los rodamientos tipo rodillo cilíndrico, marca TIMKEN JHM720249 Y JHM720210. y el eje central mayor y menor donde sostiene las poleas.

uno de los modos de falla más críticos que nos dio en el análisis de modo de falla, efecto y criticidad es la rotura de rodamientos de la caja porta rodamiento por su alto costo de impacto que genera y a su vez otro modo de falla más crítico es la rotura del eje principal de la caja porta rodamiento de CAGE MILL CP-75. Por ende, se realizarán 3 mejoramiento en el plan de mantenimiento que se enfocara a mantenimiento predictivo de rodamientos del CPR, mantenimiento predictivo monitoreo y medición de temperatura de caja porta rodamiento y mantenimiento preventivo cambio sistema de lubricación caja porta rodamiento (CPR).

Cabe destacar que por manual del equipo entregado por la empresa Gundlach, la caja porta rodamiento su máxima durabilidad es un periodo de 3 años sin fallar, pero por agentes externos y la temperatura de trabajo forzado de la jaula al realizar el movimiento, se dará un periodo de falla cada 2 años, por ende, se realizará un mantenimiento correctivo a la caja porta rodamiento 1 vez cada 2 años.

3.1.3.1 Mantenimiento predictivo rodamientos de CPR.

Se realizará un estudio y monitoreo de condición de análisis de vibraciones en base al histórico de espectros vibratorios, ya que, bajo las condiciones de planta y montaje del equipo, la norma ISO 10816-21 no se puede implementar por condiciones inadecuadas

del equipo en base a su montaje de estructura no es lo suficientemente rígida y el tipo de material es procesado.

Este estudio de análisis de vibraciones se realizará una vez cada dos semanas, con el fin de contrarrestar la medición actual contra la medición anterior de hace 2 semana para ver la evolución de espectros en base al tiempo definido. utilizando las limitantes de carga del rodamiento y tolerancias de holguras mecánicas del mismo. Ver en Figura 3-4. Medición análisis de vibraciones

El área de ingeniería definirá las siguientes condiciones del equipo.

- a) Maquina nueva o reacondicionada: valores de vibraciones de máquina recién puestas en funcionamiento o reacondicionamiento.
- b) Maquina puede operar indefinidamente: Máquina que pueden funcionar indefinidamente sin restricciones.
- c) Maquina no puede operar un tiempo prolongado: La condición de la máquina no es adecuada para una operación continua, sino solamente para un período de tiempo limitado. Se deberían llevar a cabo medidas correctivas en las siguientes paradas programadas.
- d) La vibración está provocando daños en el equipo: Los valores de vibración son peligrosos, la máquina puede sufrir daños.

En base esta herramienta nos indicara la condición para futuras planificaciones y programaciones de intervención del equipo. Con el fin de mitigar modos de falla de detención del equipo inesperadamente implicando cambios abruptos de los componentes y sobre todo los rodamientos.

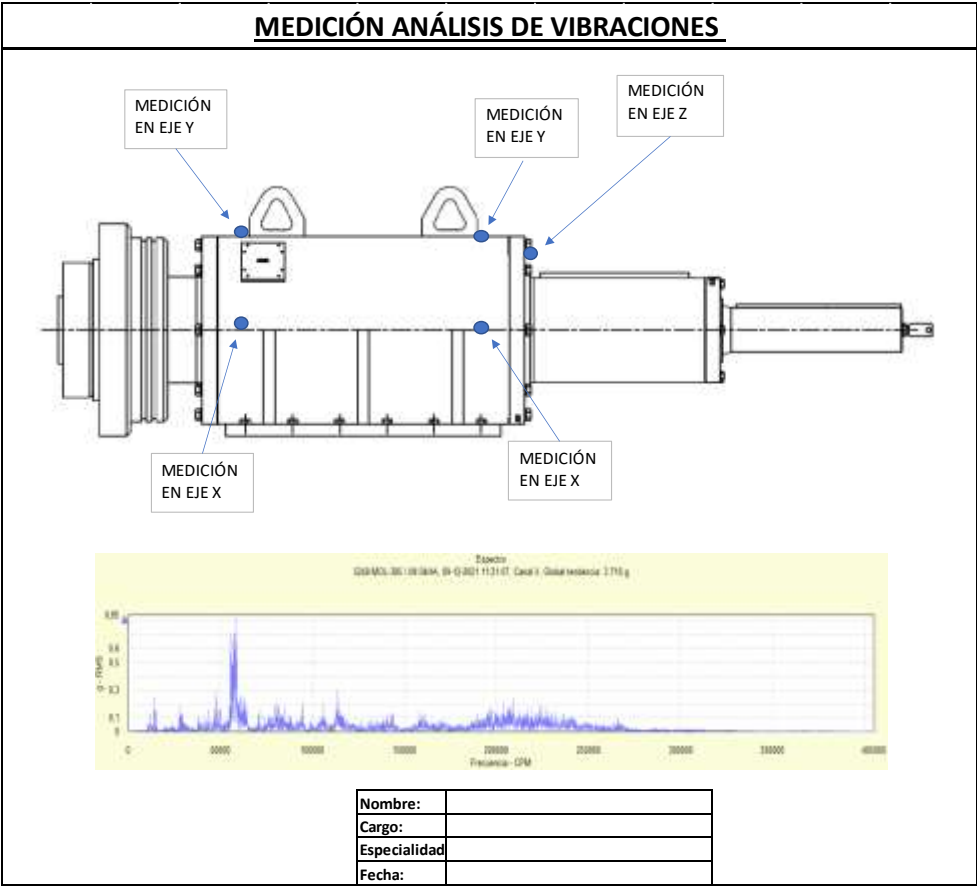


Figura 3-4. Medición análisis de vibraciones.

Fuente. Elaboración propia a partir del manual del CAGE MILL CP-75 sección caja porta rodamientos y eje rodamiento, Gundlach año 2011.

3.1.3.2 Mantenimiento predictivo monitoreo y medición de temperatura de caja porta rodamiento (CPR).

Este mejoramiento de plan de mantenimiento se basará en la medición, análisis y control de la temperatura adquirida en la caja porta rodamiento (CPR) en base a los movimientos ejercidos por rodamientos internos destacando que son 4 rodamientos en simultaneo movimiento. Con el fin de verificar que la temperatura no se eleve más de 85 grados Celsius en todo el cuerpo del CPR. La temperatura de trabajo normal de la caja porta rodamiento fluctúa entre 75 grados Celsius y 85 grados Celsius. Por ende, al momento de elevarse esta temperatura, la grasa lubricante de los rodamientos pierde la condición normal volatizando su densidad y función, convirtiéndose en una lubricación deficiente para la operación normal de trabajo. En el caso de que exceda esta temperatura, se deberá realiza un monitoreo de control de medición de análisis de vibraciones para observar si los rodamientos tienen deficiencia de lubricación o si presenta problemas de rotura de los rodamientos. En caso de carencia el área de lubricación deberá dirigirse al punto para la lubricación correspondiente de estos puntos

y observar si baja su temperatura, considerando costos de horas hombre del personal predictivo y lubricadores. Caso contrario si ya se realizó una nueva lubricación de los rodamientos del CPR, y se observa que no baja la temperatura, entonces el problema recabe en los rodamientos, caso contrario también se puede deber que se introdujo una excesiva lubricación llevando a calentar aún más la grasa nueva con la grasa ya defectuosa. Esta inspección, monitoreo y control de temperatura, se realizará de forma periódica por parte de predictivos con una secuencia de una vez todos los días. Los puntos de toma de parámetros de temperatura se realizarán de acuerdo con la siguiente ilustración. Ver en Figura 3-5. Medición de temperatura caja porta rodamiento.

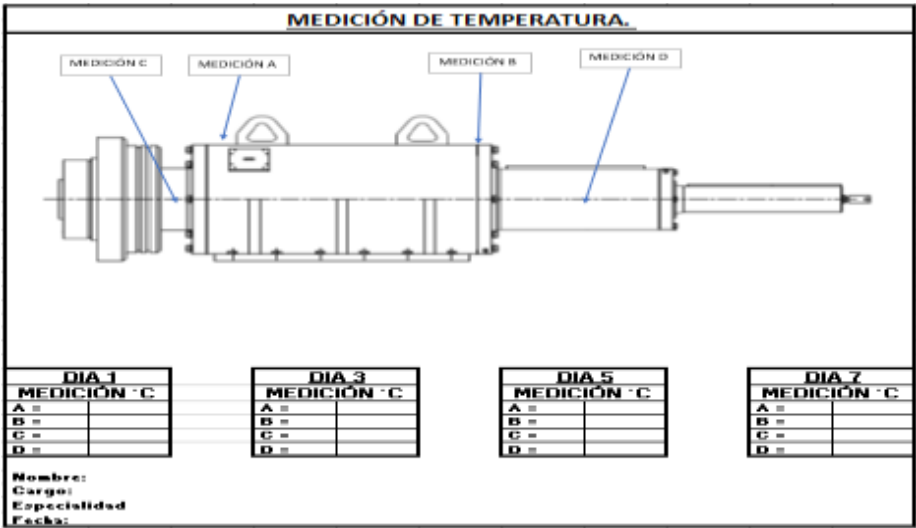


Figura 3-5. Medición de temperatura caja porta rodamiento.

Fuente. Elaboración propia a partir del manual del CAGE MILL CP-75 sección caja porta rodamientos y eje rodamiento, Gundlach año 2011.

3.1.3.3 Mantenimiento preventivo implementación sistema de lubricación centralizado caja porta rodamiento (CPR).

El sistema de lubricación centralizada consiste en utilizar una bomba de grasa con el fin de repartir desde un depósito, equitativamente la misma cantidad de lubricación en todos los puntos de la caja porta rodamiento (CPR) y el sello imposil. Recibiendo un suministro óptimo de lubricante y en cantidades pequeñas necesarias en los tiempos adecuados y junto con esto reduciendo el desgaste excesivo de lubricación en los puntos mencionados. ver en Figura 3-6. Sistema de lubricación centralizada. Actualmente la caja porta rodamiento recibe lubricación manual por parte del personal de lubricación, siendo considerable las horas hombres que se gasta en el programa base de mantenimiento y así considerando los costos asociados a esta condición.

Como consecuencia se incrementará considerablemente la vida útil del equipo y sus componentes, reduciendo los costos asociados a lubricación excesiva y horas hombres implementada en la acción de lubricar manualmente.

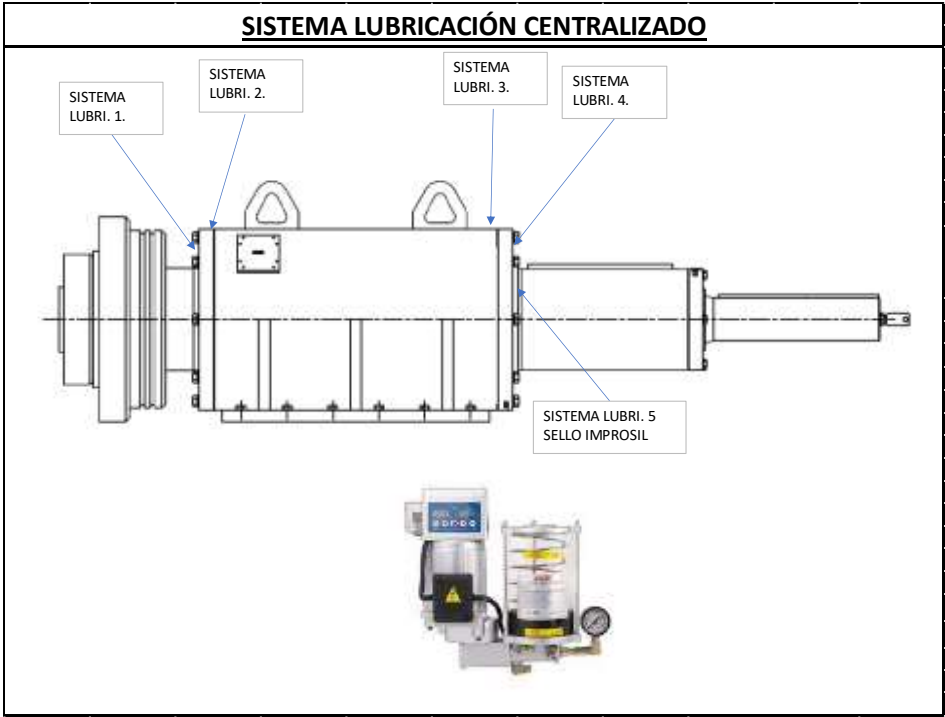


Figura 3-6. Sistema de lubricación centralizada.

Fuente. Elaboración propia a partir del manual SKF Mono Flex.

Junto a estas mejoras de plan de mantenimiento, en el anexo D se realiza una planificación del mantenimiento descrito, en donde se indica la pauta de mantenimiento correctivo al cambio de caja porta rodamiento (CPR) y el mantenimiento predictivo generado tanto la inspección y análisis de vibraciones como la medición de temperatura del CAGE MILL CP-75. Ver extracto de planificación en Tabla 3-8. Planificación mantenimiento caja porta rodamiento (CPR) CAGE MILL CP-75.

Tabla 3-8. Planificación mantenimiento caja porta rodamiento (CPR) CAGE MILL CP-75.

Fuente. Elaboración propia a partir del manual del CAGE MILL CP-75 sección caja porta rodamientos y eje rodamiento, Gundlach año 2011.

PASO	MEDICIÓN DE VIBRACIONES CAJA PORTA RODAMIENTO (CPR).
1	Realizar charla por parte de supervisor eléctrico y completar formato.
2	Preparación de repuestos materiales y herramientas para realizar el trabajo.
3	Coordinar con jefe de turno operaciones el ingreso al área CAGE MILL CP-75.
4	Limpiar zona de medición con personal de operaciones.
5	Medición de vibraciones caja porta rodamiento (CPR)
6	Inspección visual estado de la caja porta rodamiento (CPR).

Junto con la planificación y la pauta de mantenimiento se describirá las herramientas a utilizar, ver en extracto Tabla 3-9. Herramientas a utilizar cambio de caja porta rodamiento. Y a su vez los insumos que son necesarios para realizar estos planes de mantenimiento, ver extracto Tabla 3-10. Insumos para realizar cambio de caja porta rodamiento.

Tabla 3-9. Herramientas a utilizar cambio de caja porta rodamiento.

Fuente. Elaboración propia a partir del manual del CAGE MILL CP-75 sección caja porta rodamientos y eje rodamiento, Gundlach año 2011.

CANTIDAD.	HERRAMIENTAS A UTILIZAR CAMBIO DE CAJA PORTA RODAMIENTO.
2	Tecle cadena 3 toneladas.
2	Cinzel 10 Pulg.
2	Porta Powers 10 ton.
1	Maquina Soldadora 120 A, Con Mascara Electronica.
1	Protector Facial Soldador.
1	Llave de Impacto Cuadrante ¾"
2	Chicharra y Set dados Cte. 3/4 Pulg.
2	Grillete de 5/8".
2	Grillete 5 Toneladas.

Tabla 3-10. Insumos para realizar cambio de caja porta rodamiento.

Fuente. Elaboración propia a partir del manual del CAGE MILL CP-75 sección caja porta rodamientos y eje rodamiento, Gundlach año 2011.

CANTIDAD	INSUMOS PARA REALIZAR CAMBIO DE CAJA PORTA RODAMIENTO.
2	Aire comprimido.
1	WD-40
6	Candados de bloqueo.
4	Silicona liquida de alta temperatura RTD marca 3M.
1	Cilindro nitrogeno de oxicorte.
1	Cilindro de gas de oxicorte.

En base a estos mejoramientos de planes de mantenimiento se realizará una evaluación de costos asociados para observar la factibilidad técnica económica. Por medio de la evaluación de costo global con el fin de evaluar que mantenimiento es más razonable y efectivo realizar en cada modo de falla del equipo CAGE MILL CP-75.

3.2 COSTOS ASOCIADOS AL PLAN DE MANTENIMIENTO ANTIGUO Y MEJORADO.

Actualmente en SQM los planes de mantenimientos descritos en los modos de falla son netamente mantenimiento correctivo, que se basan en un plan de mantenimiento de cambiar piezas al momento de darse cualquier falla con el fin de seguir la productividad lo antes posible y no tener costos asociados al departamento de mantenimiento según el reporte final de imputaciones de horas de inoperatividad de la planta MOP-H II. Por ende, si se emplea los planes de mantenimiento mejorado se pueden llevar a cabo a mitigar 11 modos de falla indicados en el análisis modo de falla, efecto y criticidad, contemplando así a mitigar y controlar el 55% de las fallas propuestas en el análisis de modo de falla. Cabe destacar que estos modos de falla son los más importantes en el ámbito de costos anuales y a su vez en los tiempos de reparación, llevando así una planificación, programación y control de los trabajos a ejecutar.

Los planes de mantenimiento mejorados contemplan a su vez un indicador de falla anual que describe cuando va a fallar el repuesto por fatiga material o vida útil de trabajo por cada modo de falla. Este indicador se obtuvo mediante los manuales descritos por los repuestos y en base a los estimativos de horas de trabajo en el historial de falla. En base a lo descrito y a los planes de mantenimiento mejorado, se enfatizará en realizar la mitigación de los modos de falla en 3 grupos, que son motores eléctricos, caja porta rodamiento (CPR), y la jaula CP-75.

Lo más importante de implementar los planes de mantenimiento mejorados son los costos asociados a ellos. Ya que, si el costo asociado del plan de mejoramiento es mayor que el costo de plan de mantenimiento actual de SQM es más factible no realizar ningún cambio. Pero para esto se demostrará en base a una tabla de prefactibilidad técnica económica los 11 modos de falla a mitigar según el plan de mantenimiento mejorado, para realizar esta tabla nos enfatizaremos en 7 puntos clave que nos ayudará a entender dichos costos.

3.2.1 Frecuencia anual.

Corresponde a las fallas contemplada anual de estudio que se enfatizara en los modos de falla de los motores, caja porta rodamiento y jaula CP-75.

3.2.2 Costo de repuesto.

Contempla el costo de relacionado con el componente que allá que cambiar al momento de realizarse un plan de mantenimiento correctivo.

3.2.3 Tiempo de reparación.

Es el tiempo estimado que se demora realizar cada actividad del modelo de plan de mantenimiento nuevo o mejorado en horas.

3.2.4 Costo de no producción.

Contempla todo el costo en que la planta no pudo producir, en este caso netamente aplicara a él plan de mantenimiento correctivo antiguo. Ya que como el plan de mantenimiento nuevo se basa en preventivo y predictivo, no tendría efectos adversos al momento de aplicarlos. Enfatizando que, si se realiza un mantenimiento correctivo, será programado y planificado según disponibilidad de planta y en común acuerdo con operaciones 1 mes antes de que ocurra la falla prevista o analizada.

3.2.5 Horas hombre (HH) reparación.

Contempla la multiplicación de la hora de reparación de los modos de falla y la cantidad de personal que se necesita para realizar los trabajos de modo de falla.

3.2.6 Costo de mano de obra.

Contempla el costo monetario de la ejecución del trabajo. En base al personal que se necesita y el tiempo que se demorara.

3.2.7 Costo total anual.

Contempla el costo anual recabe en los 3 grandes grupos que son los motores eléctricos, caja porta rodamiento (CPR) y la jaula CP-75. Este indicador es el más importante ya que gracias a este valor se verá reflejado si es conveniente el plan de mantenimiento actual o el mejorado. A su vez para calcularlo se realiza de la siguiente manera.

$$\text{Costo total anual} = \text{costo repuesto} + \text{costo no producción} + \text{costo mano de obra.}$$

Cabe destacar que cada plan de mantenimiento tendrá sus respectivos indicaciones y restricciones, ya que un punto importante es que el plan de mantenimiento mejorado contempla un tiempo establecido de 12 meses.

- 1) Motores eléctricos. Se destaca que la durabilidad del motor eléctrico por manual entregado en el equipo es de 3 años en condiciones normales de trabajo, por ende, en el plan de mantenimiento mejorado se tomara en cuenta un cambio de motor en el periodo establecido de 12 meses, estableciendo así que incurre a una

falla el motor y se cambiara en mantenimiento correctivo. Dentro de ese lapso se realizarán 12 veces lubricaciones de motores eléctricos y 4 veces medición aislación de bobinas y motor a masa, ya que el tiempo estimativo a realizar es cada 3 meses. Los costos asociados al plan de mantenimiento se basan en dólares americanos y a su vez el plan de mejoramiento cabe para el modo de falla de baja aislación de motor y corte de eje motor eléctrico, ya que en ambos casos se deberá cambiar motor eléctrico.

- 2) Jaulas de molino CAGE MILL CP-75. Se destaca que la durabilidad de las jaulas CAGE MILL CP-75 al ser de un material de aleación muy blando como el cromo, tienen una durabilidad de vida útil de 8 meses en condiciones normales. Como el producto principal de la planta MOP-H II es salmuera húmeda, se dejará con una durabilidad de solo 6 meses para cambio estratégico programado y planificado y así mitigar las detenciones inesperada de la planta. junto con esto se destaca que las inspecciones predictivas se realizaran cada 3 meses de detención programada en conjunto de la medición de aislación de motores eléctricos. Los costos asociados al plan de mantenimiento se basan en dólares americanos.
- 3) Caja porta rodamiento (CPR). Se destaca que los modos de falla de rotura de rodamiento y el modo de falla corte de eje, en ambos casos se debe cambiar el conjunto de caja porta rodamiento. Por ende, se tomarán en cuenta juntos estos modos de falla, para el mejoramiento de planes de mantenimiento. A su vez se destaca que la caja porta rodamiento tiene una durabilidad según el fabricante de 3 años siempre y cuando este en óptimas condiciones de uso, por ende, se tomaran en cuenta 1 años de lapso de cambio de la caja porta rodamiento que será un estimativo de falla que se contemplara en el plan de mantenimiento mejorado. Se implementarán 3 mejoras al modelo de plan de mantenimiento con el fin de mitigar los modos de falla.

En base a estas restricciones y puntos clave se realiza los costos asociados a los planes de mantenimiento mejorados para analizarlos en base a los planes de mantenimiento antiguos. Ver en Tabla 3-11. Costos de planes de mantenimiento antiguos y mejorados.

Tabla 3-11. Costos de planes de mantenimiento antiguos y mejorados.

Fuente. Elaboración propia a partir del informe de costos mantenimiento, SQM año 2021.

Costos anual de mantenimiento actual CAGE MILL CP-75 (5248-MOL-385).							
Mantenimiento motores eléctricos.							
Modo de falla.	Frecuencia anual.	Costo de repuestos \$.	Tiempo de reparación	Costo por no producción \$.	Horas hombre (HH) reparación.	Costo de mano de obra \$.	Costo total anual \$.
Motores eléctricos con baja aislación.	2	\$ 135,546	6	\$ 423,000	24	\$ 948	\$ 559,494
Corte del eje Rotor de los motores.	1	\$ 135,546	8	\$ 282,000	32	\$ 1,264	\$ 418,810
Sobre corriente motores eléctricos.	1	\$ 135,546	4	\$ 141,000	8	\$ 316	\$ 276,862
Rotura de pistas de rodamientos rotor de motor.	2	\$ 125,000	6	\$ 423,000	30	\$ 1,185	\$ 549,185
						TOTAL.	\$ 1,804,351
Mantenimiento caja porta rodamiento (CPR).							
Modo de falla.	Frecuencia anual.	Costo de repuestos \$.	Tiempo de reparación	Costo por no producción \$.	Horas hombre (HH) reparación.	Costo de mano de obra \$.	Costo total anual \$.
Corte eje central caja porta rodamiento (CPR).	2	\$ 165,574	10	\$ 705,000	80	\$ 3,160	\$ 873,734
Rotura de pistas de rodamiento eje central caja porta rodamiento (CPR).	1	\$ 257,400	10	\$ 352,500	80	\$ 3,160	\$ 613,060
Rotura de sello improsil caja porta rodamiento (CPR).	1	\$ 5,705	8	\$ 282,000	32	\$ 1,264	\$ 288,969
Corte de correas de transmisión Cage mill CP-75.	6	\$ 2,645	6	\$ 1,269,000	24	\$ 948	\$ 1,272,593
						TOTAL.	\$ 3,048,356
Mantenimiento molino jaula CP-75.							
Modo de falla.	Frecuencia anual.	Costo de repuestos \$.	Tiempo de reparación	Costo por no producción \$.	Horas hombre (HH) reparación.	Costo de mano de obra \$.	Costo total anual \$.
Rotura de jaulas CP-75.	6	\$ 26,749	6	\$ 1,269,000	24	\$ 948	\$ 1,296,697
Desbalance de jaula Cage mill cp-75.	2	\$ 26,749	6	\$ 423,000	30	\$ 1,185	\$ 450,934
Rotura de caja HOUSING.	1	\$ 12,060	4	\$ 141,000	12	\$ 474	\$ 153,534
						TOTAL.	\$ 1,901,165
						TOTAL CAGE MILL CP-75.	\$ 6,753,872

Tabla 3-11. Costos de planes de mantenimiento antiguos y mejorados.

Fuente. Elaboración propia a partir del informe de costos mantenimiento, SQM año 2021.

Costos anual de mantenimiento plan mejorado CAGE MILL CP-75 (5248-MOL-385).							
Mantenimiento motores eléctricos.							
Modo de falla.	Frecuencia anual.	Costo de repuestos \$.	Tiempo de reparación	Costo por no producción \$.	Horas hombre (HH) reparación.	Costo de mano de obra \$.	Costo total anual \$.
Lubricación preventiva motor eléctrico CAGE MILL CP-75	12	\$ 170	1	\$ -	1	\$ 40	\$ 210
Medición de aislación predictiva bobinado motor eléctrico.	4	\$ -	1	\$ -	1	\$ 40	\$ 40
Plan de mantenimiento correctivo cambio de motor eléctrico por falla.	1	\$ 135,546	6	\$ 211,500	24	\$ 948	\$ 347,994
Plan de mantenimiento correctivo cambio de rodamiento.	1	\$ 125,000	6	\$ 211,500	24	\$ 948	\$ 337,448
						TOTAL.	\$ 685,691
Mantenimiento caja porta rodamiento (CPR).							
Modo de falla.	Frecuencia anual.	Costo de repuestos \$.	Tiempo de reparación	Costo por no producción \$.	Horas hombre (HH) reparación.	Costo de mano de obra \$.	Costo total anual \$.
Medición de vibraciones caja porta rodamiento (CPR) del CAGE MILL CP-75.	24	\$ -	1	\$ -	1	\$ 40	\$ 40
Medición de temperatura en caja porta rodamiento (CPR) del CAGE MILL CP-75.	192	\$ -	1	\$ -	1	\$ 40	\$ 40
Mantenimiento sistema lubricación centralizado	4	\$ 180,000	1	\$ -	1	\$ 40	\$ 180,040
Cambio de cuerpo porta rodamiento (CPR)	1	\$ 257,400	6	\$ 211,500	24	\$ 948	\$ 469,848
						TOTAL.	\$ 649,967
Mantenimiento molino jaula CP-75.							
Modo de falla.	Frecuencia anual.	Costo de repuestos \$.	Tiempo de reparación	Costo por no producción \$.	Horas hombre (HH) reparación.	Costo de mano de obra \$.	Costo total anual \$.
Rotura de jaulas CP-75.	2	\$ 26,749	6	\$ 211,500	24	\$ 948	\$ 239,197
Inspección preventiva Jaulas CP-75.	4		1	\$ 35,250	2	\$ 79	\$ 35,329
						TOTAL.	\$ 274,526
						TOTAL CAGE MILL CP-75.	\$ 1,610,184

3.3 ANÁLISIS DE COSTOS ASOCIADOS A LOS PLANES DE MANTENIMIENTO ANTIGUO Y MEJORADOS.

Uno de los problemas planteados que pasa actualmente la planta MOP-H II es la poca información que involucra a la especialidad en cuanto la ejecución de un trabajo. Por ende, en base a la masificación del procedimiento de trabajo y a su vez los checklist creados en cuanto a la mejora de plan de mantenimiento, existirá una adecuada manipulación de información en cuanto a históricos de realización de trabajos y clasificación de trabajos, enfatizando en clasificar modos de fallas del equipo y que acciones realizar para mitigar los modos de fallas que se crean en el equipo.

En base a los costos asociados de los planes de mantenimiento correctivos (antiguos), se destaca que el problema principal del alza de los costos es en base a la repetitividad de acciones para salvar y seguir produciendo la planta. sin importar gastar en cambios de repuestos con el fin de que el equipo este operativo. Esto es un grave error porque si no se ataca los problemas de raíz, volverán a ocurrir los modos de falla.

Una de las grandes áreas que conforman el departamento de mantenimiento es el área predictiva, que, en base a sus técnicas de recopilación de información y software sofisticados, pueden predecir las fallas antes que ocurra, pero para lograr llegar a este punto es necesario implementar mejoras en los planes de mantenimiento como los checklist de medición de aislación motores, medición de vibraciones de la caja porta rodamiento, etc.

Cabe destacar que es necesario implementar una ruta de inspección predictiva y periódica en el tiempo, con el fin de tomar datos efectivos al realizar las comparaciones de la toma de parámetros y así no perder información valiosa al momento de necesitarla. Por ende, es necesario implementar estas técnicas descritas anteriormente para llevar la programación de los tiempos necesarios para intervención del equipo o detenciones programadas en conjunto con operaciones, el control periódico de la toma de datos y magnitudes físicas del activo físico, la planificación de los repuestos que se necesitan y no sobrevalorar los stocks de seguridad de los repuestos y la ejecución correcta del mantenimiento en terreno del equipo CAGE MILL CP-75.

Al momento de implementar los planes de mantenimiento mejorados al sistema y a la gestión del mantenimiento, no exige mayores costos en comparación con el mantenimiento correctivo que se viene trayendo de hace 2 años, caso contrario es más factible técnica y económicamente implementar un sistema de mantenimiento basado en mantenimiento preventivo y predictivo en un lapso de 12 meses ya que al realizar esta modalidad de mejoras de mantenimiento con estos planes se estima un beneficio neto anual de \$ 5.143.688 dólares.

Quedando demostrado así los siguientes valores, ver en Tabla 3-12. Resumen de costos planes de mantenimiento.

Tabla 3-12. Resumen de costos planes de mantenimiento.

Fuente. Elaboración propia a partir del informe de costos mantenimiento, SQM año 2021.

Costos plan de mantenimiento:	Costo total plan actual.	Costo total plan mejorado.
Mantenimiento motores eléctricos.	\$ 1,804,351	\$ 685,691
Mantenimiento caja porta rodamiento (CPR).	\$ 3,048,356	\$ 649,967
Mantenimiento molino jaula CP-75.	\$ 1,901,165	\$ 274,526
TOTAL COSTOS PLAN MANT. ANUAL.	\$ 6,753,872	\$ 1,610,184

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Dentro de la planta MOP-H II existen una variada gama de equipos que gracias a la gestión del mantenimiento se puede dar continuidad y operatividad al proceso productivo, pero sin embargo en la situación actual que vive la planta MOP-H II, no alcanza a generar una plena satisfacción de que los activos físicos contemplan una conservación óptima para trabajar en una producción continua.

Para generar una buena gestión de mantenimiento, primero se debe conocer cuál es el proceso de la planta y la priorización de los activos físicos que la componen, con el fin de priorizar la información adecuada y jerarquizar los activos físicos para ver los más importantes. El diagrama de dispersión logarítmica nos demuestra de un universo de 46 equipos con criticidad número 1, 7 equipos se encuentran en el cuadrante agudo crónico, pero solo 1 de ellos supera la curva de indisponibilidad ISO DT 300, por ende, este equipo se categoriza como el más crítico de la línea productiva de la planta MOP-H II.

La segunda herramienta de gestión del mantenimiento es el análisis de modo de falla, efecto y criticidad que su finalidad principal es jerarquizar los modos de fallas que afectan al equipo prioritario en base a jerarquización de riesgos cuantitativo basado en los costos monetarios, gracias a esta herramienta se logra identificar 20 modos de falla, en los cuales 6 se consideran los más críticos por su nivel de impacto en los costos que superan los \$ 500.000 dólares al momento de fallar, indicando así que los componentes más importantes en el CAGE MILL CP-75 son los motores eléctricos, la jaula CP-75 y la caja porta rodamiento (CPR). Lo primordial de este análisis es tomar acciones inmediatas de como mitigar esas fallas y minorizar esos costos que son tan importantes para una industria y sobre todo para la planta MOP-H II.

La propuesta de mejora del plan de mantenimiento se enfatiza en los modos de falla detectados y jerarquizado por los impactos económicos que generan al momento de ocurrir. Por ende, se logra implementar mejoramientos de los planes en cuanto a mantenimientos preventivos y predictivo, induciendo a las nuevas tecnologías para la detección de posibles fallas y llevar así un control de las tomas de parámetros y magnitudes físicas que contemplan el equipo CAGE MILL CP-75. En base a esta mejora se implementan 6 planes de mantenimiento mejorado obteniendo un resultado de mitigar un 55% del total de los modos de fallas detectados. Indicando así que en base a la evaluación de factibilidad técnica económica de los costos asociados del nuevo plan de mantenimiento nos da un beneficio neto anual de \$ 5.143.688 dólares.

BIBLIOGRAFÍA Y FUENTE DE LA INFORMACIÓN.

- ARATA, Adolfo y ARATA, Alessio. *Ingeniería de la confiabilidad*. Santiago de Chile: RIL editores, marzo de 2013. Registro de propiedad intelectual N° 219.745.
- SQM. Acerca de SQM, 2021. Disponible en: <<https://www.sqm.com/acerca-de-sqm/recursos-naturales/proceso-de-produccion/>>.

ANEXOS.

ANEXO A, activos Físicos planta MOP-H II criticidad 1.

Planta	Área	Activo	TAG	Descripción	Criticidad Operacion
MOP-H II	AREA PLANTA DUAL SOP-H	19AGT50013	5539-AGT-028	AGITADOR NÂ°4, CELDA ROUGHER KCL, WESTPRO,250RPM (5539-AGT-028)	1
MOP-H II	AREA PLANTA DUAL SOP-H	19MOL50003	5525-MOL-017	CAGE MILL CP-50 ANTIGUO (MOL-017)	1
MOP-H II	AREA PLANTA DUAL SOP-H	19MTR80441	5525-MTR-018	MOTOR ELÃ‰CTRICO JAULA MAYOR (TAG 5525-MTR-018)	1
MOP-H II	AREA PLANTA DUAL SOP-H	19COR50031	5582-COR-012	STACKER ACOPIO KCL	1
MOP-H II	CLASIFICACION	19BBA60731	5248-BBA-409	BOMBA ALIMENTACIÃ“N HARNEROS ESTÃNDICOS (STAND BY)5248-BBA-409	1
MOP-H II	ALIMENTACION SALMUERA	19MTR80760	5262-MTR-741	MOTOR ELÃ‰CTRICO BOMBA 5262-BBA-740 (STAND-BY)	1
MOP-H II	FILTRADO Y PRODUCTO	19BBA60745	5238-BBA-1149	BOMBA NÂ°3 TRASPASO FILTRADO	1
MOP-H II	ACOPIO Y ALIMENTACION SALES	19ALM50012	5211-ALM-203	ALIMENTADOR CORREA 203 , 5211-ALM-203	1
MOP-H II	FILTRADO Y PRODUCTO	19MTR80721	5238-MTR-535	MOTOR ELÃ‰CTRICO FILTRO DE BANDA 5238-MTR-535	1
MOP-H II	CLASIFICACION	19EST50074	5248-EST-1171	ESTANQUE PREPARACIÃ“N DE PULPA TK-1, 5248-EST-1171	1
MOP-H II	CLASIFICACION	19AGT50041	5248-AGT-1172	AGITADOR DE ESTANQUE TK-1	1
MOP-H II	ACOPIO Y ALIMENTACION SALES	19RED50446	5211-ALM-234	ALIMENTADOR CORREA N°2	1
MOP-H II	FLOTACION	19MTR80702	5239-MTR-475	MOTOR ELÃ‰CTRICO AGITADOR NÂ° 2, 5239-MTR-475	1
MOP-H II	ACOPIO Y ALIMENTACION SALES	19COR50041	5211-COR-240	CORREA ALIMENTACIÃ“N CHANCADOR DE COLPAS 5211-COR-240	1
MOP-H II	FILTRADO Y PRODUCTO	19BBS30008	5238-BBA-565	BOMBA ÃREA FILTRADO	1
MOP-H II	FILTRADO Y PRODUCTO	19BBA60743	5238-BBA-576	BOMBA DE FILTRADO DESCARGA ESTANQUE TRASPASO	1
MOP-H II	FILTRADO Y PRODUCTO	19COR50042	5238-COR-613	CORREA PRODUCTO NÂ°1 (CT- 613) 24"	1
MOP-H II	FILTRADO Y PRODUCTO	19FIC50004	5238-FIC-1144	FILTRO DE BANDA NÂ°2 PRODUCTO	1
MOP-H II	FLOTACION	19BBA70019	5239-BBA-284	BOMBA NÂ°2 TK COLAS CLEANER, 5239-BBA-284	1
MOP-H II	FLOTACION	19BBA70020	5239-BBA-2001	BOMBA NÂ°1, TK ACOND. CELDAS CLEANER 5239-BBA-2001	1
MOP-H II	ACOPIO Y ALIMENTACION SALES	19DME00008	5211-DME-244	DETECTOR DE METALES CORREA	1
MOP-H II	CHANCADO	19CHR00005	5232-CHR-260	CHANCADOR DE RODILLOS (CHR-260)	1
MOP-H II	CLASIFICACION	10MOL50005	5248-MOL-385	CAGE MILL CP-75 (MOL-385)	1
MOP-H II	FILTRADO Y PRODUCTO	19MTR80732	5238-MTR-579	MOTOR ELÃ‰CTRICO BOMBA, 5238-MTR-579	1
MOP-H II	FLOTACION	19EST50077	5239-EST-497	ESTANQUE LIXIVIACIÃ“N NÂ°2 (ALIMENTACIÃ“N EQUIPOS DE FILTRADO)	1
MOP-H II	FLOTACION	19BBA60737	5239-AGT-519	AGITADOR TK-500	1
MOP-H II	FLOTACION	19EST50075	5239-EST-431	ESTANQUE COLECTOR COLAS SCAVENGER, 5239-EST-431	1
MOP-H II	SUMINISTRO Y DISTRIBUCION ELECTRICA	19CCM61290	CCM-SALA-SUR	CENTRO DE CONTROL DE MOTORES 400V	1
MOP-H II	FILTRADO Y PRODUCTO	19BBA60740	5238-BBA-537	BOMBA NÂ°1 TRASPASO FILTRADO	1
MOP-H II	FILTRADO Y PRODUCTO	19BBV50004	5239-BBV-547	BOMBA DE VACÃĐ DEL FILTRO DE BANDA NÂ°1	1
MOP-H II	ACOPIO Y ALIMENTACION SALES	19ALM50013	5211-ALM-227	ALIMENTADOR CORREA NÂ°1 (DESCARGA STOCK PILE) 227	1
MOP-H II	REMOLIENDA Y CLASIFICACION	10MOL50006	5247-MOL-660	CAGE MILL CP-50 NUEVO (MOL-660)	1
MOP-H II	PLANTA RECUPERACION SALMUERA	19BBV50008	5262-BBV-244	BOMBA DE VACÃĐ FILTRO #3	1
MOP-H II	DISTRIBUCION AGUA INDUSTRIAL	19MTR80764	5271-MTR-1457	MOTOR ELÃ‰CTRICO BBA 5272-BBA-1456 (STAND-BY)	1
MOP-H II	PLANTA RECUPERACION SALMUERA	19BBA60781	5262-BBA-230	BOMBA DE FILTRADO FILTRO #2	1
MOP-H II	PLANTA RECUPERACION SALMUERA	19BBA60788	5262-BBA-263	BOMBA DE DESPACHO DE SALMUERA #2	1
MOP-H II	PLANTA RECUPERACION SALMUERA	19COR50049	5262-COR-270	CORREA TRANSPORTADORA DESCARTES 5262-COR-270	1
MOP-H II	FILTRADO Y PRODUCTO	19BBV50005	5238-BBV-1157	BOMBA DE VACÃĐ DEL FILTRO DE BANDA NÂ°2	1
MOP-H II	PLANTA RECUPERACION SALMUERA	19FIC50005	5262-FIC-220	FILTRO NÂ°2 COLAS	1
MOP-H II	PLANTA RECUPERACION SALMUERA	19BBV50007	5262-BBV-224	BOMBA DE VACÃĐ FILTRO #2	1
MOP-H II	DISTRIBUCION AGUA INDUSTRIAL	19BBA71058	5272-BBA-1454	BOMBA NÂ°1 ALIMENTACION AGUA INDUSTRIAL	1
MOP-H II	ACOPIO Y ALIMENTACION SALES	19COR50040	5211-COR-215	CORREA ALIMENTACION STOCK PILE 215	1
MOP-H II	FLOTACION	19AGT2015	5239-AGT-2015	AGITADOR NÂ°3, CELDA CLEANER KCL, WESTPRO,250 RPM	1
MOP-H II	FILTRADO Y PRODUCTO	19BBV50005	5239-BBV-1157	BOMBA DE VACÃĐ DEL FILTRO DE COLA NÂ°3	1
MOP-H II	FLOTACION	19AGT50043	5239-CEL-2210	AGITADOR 1a CELDA BANCO CLEANER KCI II	1
MOP-H II	FLOTACION	19EST50089	5239-EST-426	ESTANQUE COLECTOR COLAS CLEANER, 5239-EST-426	1

ANEXO B, Planificación de mantenimiento motores eléctricos.

PASO	MANTENIMIENTO CORRECTIVO CAMBIO DE MOTORES ELÉCTRICOS CAGE MILL CP-75.
1	Realizar charla por parte de supervisor eléctrico y completar formato.
2	Preparación de repuestos materiales y herramientas para realizar el trabajo.
3	Coordinar con jefe de turno la entrega del equipo por parte de operaciones.
4	Solicitar entrega equipo a personal Sala Eléctrica, según procedimiento.
5	Detener el equipo.
6	Área de trabajo totalmente limpia y despejada.
7	Comprobar con un voltímetro energía a la salida del interruptor principal.
8	Bajar interruptor principal de alimentador en cubículo.
9	Prueba energía cero desde control de equipos consola.
10	Instalar Tarjeta de Seguridad o Lock-out.
11	Retiro Medidores de Vibraciones o Temperatura por Instrumentación.
12	Desconectar motor instalado.
13	Retiro de protecciones de polea lado motor.
14	Retiro de correas de transmisión e inspección.
15	Soltar manguito de fijación y desmontar polea.
16	Retiro de protección de motor.
17	Despernar motor instalado.
18	Despernar y retirar tramo de plataforma.
19	Estrobar motor e izar para retirar.
20	Estrobar, izar y montar base nueva para motor nuevo.
21	Estrobar, izar y montar motor nuevo.
22	Montar manguito de fijación y polea, alinear.
23	Conectar el motor.
24	Montar correa de transmisión y tensar.
25	Montar protección correas de transmisión.
26	Estrobar, izar y montar tramo de plataforma.
27	Solicitar a Mecánico montaje machón y a Instruments sensor velocidad cero.
28	Alineamiento de motor por mantención mecánica.
29	Retiro de lock-out de partidor. Dejar tarjeta ""Equipo en Prueba.
30	Energizar Interruptor principal de equipo.
31	Realizar pruebas en vacío de motor. Corriente debe ser <40% nominal.
32	Verificar nivel vibraciones, ruidos y roces. Temperaturas deben ser < 80° C.
33	Solicitar a Mecánico acople definitivo. Instalar protecciones.
34	Coordinar con jefe de Turno, prueba de motor con carga.
35	Medir corriente nominal de fases debe ser menor o igual a corriente de placa.
36	Retirar todos los elementos y herramientas del área.
37	Protocolizar entrega de equipo por la responsable planta.

CANTIDAD.	HERRAMIENTAS A UTILIZAR CAMBIO DE MOTOR ELÉCTRICO.
1	Tecle cadena 3 toneladas.
2	Cinzel 10 pulgadas.
2	Porta Powers 10 ton.
1	Maquina Soldadora 120 A, Con Mascara Electrónica.
1	Protector Facial Soldador.
1	Llave de Impacto Cuadrante ¾ pulgadas.

2	Chicharra y Set dados Cte. 3/4 pulgadas.
2	Grillete de 5/8 pulgada.
2	Grillete 5 Toneladas.
1	Tecle palanca 1,5 toneladas.
2	Set Llaves de Punta y Corona 3/8 a 3/4 pulgadas.
1	Llaves Punta Corona de 24 milímetro.
1	Llaves Punta Corona de 30 milímetro.
2	Macho de 4 libras.
2	Martillo de Peña 2,5 libras.
2	Barretillas
1	Eslinga 3" por 1 metro.
1	Eslingas 4" por 6 metro.
2	Esmeril Angular de 7 pulgada.
1	Multímetro FLUKE.
1	Medidor de aislación FLUKE 1550 C de 5 Kv.

CANTIDAD	INSUMOS PARA REALIZAR EL MANTENIMIENTO CAMBIO DE MOTOR.
2	Cinta 3M Aislante color negro.
1	Cinta papel market. 3M.
6	Candados de bloqueo.
4	Silicona liquida de alta temperatura RTD marca 3M.

PASO	MANTENIMIENTO PREVENTIVO LUBRICACIÓN DE MOTORES ELÉCTRICOS CAGE MILL CP-75.
1	Realizar charla por parte de supervisor eléctrico y completar formato.
2	Preparación de repuestos materiales y herramientas para realizar el trabajo.
3	Coordinar con jefe de turno operaciones el ingreso al área del motor eléctrico.
4	Limpiar zona de lubricación equipo en funcionamiento.
5	Apertura de despiche grasa lubricadora.
6	Inspección de estado de alemites.
7	Lubricación de equipo en funcionamiento 81 gramos y 51 gramos.
8	Reapreté de despiché motor eléctrico.
9	Limpieza de exceso lubricación y aprete de alemites.
10	Protocolizar entrega de equipo por la responsable planta.

CANTIDAD	HERRAMIENTAS POR UTILIZAR.
1	Cilindro lubricación.
2	Escobilla de acero.
2	Paños de limpieza.
1	Aguja de limpieza aire.
1	juego de llaves punta corona de 10 hasta 19 milímetro.

CANTIDAD	INSUMOS PARA REALIZAR EL MANTENIMIENTO CAMBIO DE MOTOR.
1	Tineta grasa MOVIL POLIREX.
6	Candados de bloqueo.
4	Silicona liquida de alta temperatura RTD marca 3M.
PASO	MANTENIMIENTO PREVENTIVO MEDICIÓN DE AISLACIÓN MOTORES ELÉCTRICOS CAGE MILL CP-75.
1	Realizar charla por parte de supervisor eléctrico y completar formato.
2	Preparación de repuestos materiales y herramientas para realizar el trabajo.
3	Coordinar con jefe de turno operaciones la detención del equipo programado.
4	Solicitar entrega equipo a personal Sala Eléctrica, según procedimiento.
5	Detener el equipo.
6	Área de trabajo totalmente limpia y despejada.
7	Comprobar con un voltímetro energía a la salida del interruptor principal.
8	Bajar interruptor principal de alimentador en cubículo.
9	Prueba energía cero desde control de equipos consola.
10	Instalar Tarjeta de Seguridad o Lock-out.
11	Desconectar motor instalado.
12	Medición aislación de bobinas motor eléctrico y fases a masa.
13	Conectar motores eléctricos.
14	Realizar desbloqueo de equipo para pruebas funcionales.
15	Entrega de equipo hacia personal de operaciones.
CANTIDAD	HERRAMIENTAS POR UTILIZAR.
1	Multímetro FLUKE.
1	Medidor de aislación FLUKE 1550 C de 5 Kv.
2	Paños de limpieza.
1	juego de dados y chicharra cuadrante de 1/2 pulgada.
1	juego de llaves punta corona de 10 hasta 19 milímetro.
1	set de desatornilladores cruz y paleta.
CANTIDAD	INSUMOS PARA REALIZAR EL MANTENIMIENTO CAMBIO DE MOTOR.
6	Candados de bloqueo.
4	Silicona liquida de alta temperatura RTD marca 3M.

ANEXO C, Planificación de mantenimiento jaula CP-75.

PASO	MANTENIMIENTO CORRECTIVO CAMBIO DE JAULA CAGE MILL CP-75.
1	Desmontaje y montaje por cambio de Jaulas de Molinos CP 50-75 difundir procedimiento.
2	Coordinar desarrollo del trabajo y verificar estado y operatividad de sistema de levante.
3	Trasladar una nueva jaula para Cage Mill CP 75 al punto de trabajo.
4	Confeccionar HCR Y ART.
5	Obtener firma de Supervisor Mant. Mecánico, posteriormente obtener firma de jefe Turno Operaciones.
6	Observar estado general del equipo. Si corresponde, solicitar a operaciones efectué limpieza del equipo.
7	Solicitar bloqueo eléctrico del equipo.
8	Apertura de compuertas del CAGE MILL.
9	Solicitar a operaciones limpieza interna del equipo incluyendo jaulas, (Lavar Jaulas) y pernos de fijación.
10	Con barretilla verificar juego consola.
11	Desmontaje de jaulas.
12	Instalar brazo de desmontaje y soportar jaula menor, retirar pernos y jaula menor.
13	Posicionar jaula menor en lugar donde será retirada por la grúa.
14	Posicionar brazo de desmontaje, soportar jaula mayor retirar pernos y jaula.
15	Solicitar operación y revisiones de líneas de salmuera y limpieza de parte posterior de CAGE MILL.
16	Montaje de jaulas.
17	Posicionar jaula mayor en el lugar de instalación. Conectarla al brazo de montaje. Montar jaula mayor en el eje.
18	Cambiar pernos y torquear a 800 Lbs*ft (pernos 1 1/4 " diámetro x 3 " largo Grado 8.
19	Repetir proceso para jaula menor torqueando a 800 Lbs*ft.
20	verificación de juego barretilla (Calibrado) y prueba de giro.
21	Limpiar sector de sello de tapa frontal del Cage Mill y aplicar silicona.
22	Efectuar cierre de la compuerta principal.
23	Efectuar limpieza del área de trabajo. Retire los residuos generados en este trabajo.
24	Realizar desbloqueo mecánico y solicitar desbloqueo eléctrico de equipo.
25	Realizar prueba de funcionamiento con carga.
26	Entrega de equipo a Operaciones finalización de la actividad y retiro del área.

CANTIDAD.	HERRAMIENTAS A UTILIZAR CAMBIO DE JAULA CP-75.
2	Llave de impacto cuadrante 1 pulgadas.
2	Tecle cadena 3 toneladas.
2	Grillete de 5/8 pulgada.
2	Llave de Torque 800 Lb/ft 1 ¼ pulgadas.
2	Macho de 4 libras.
1	Llaves Punta Corona de 30 milímetro.
2	Llaves Punta Corona de 24 milímetro.
2	Llaves Punta Corona de 1-3/8 pulgadas.
2	Llaves Punta Corona de 1-5/16 pulgadas.
2	Set Llaves de Punta y Corona 3/8 a 3/4 pulgadas.
2	Tecle palanca 1,5 toneladas.
2	Grillete de 5/8 pulgadas.
1	Llave de Torque 800 Lb/ft 1 1/4 pulgadas.
1	Espátula de Metal.
1	Esmeril Angular 4 ½ pulgadas.
2	Cinzel 10 pulgadas.

CANTIDAD	INSUMOS PARA REALIZAR EL PLAN DE MANTENIMIENTO JAULA.
2	WD-40
10	Silicona liquida de alta temperatura RTD marca 3M.

PASO	MANTENIMIENTO PREVENTIVO JAULA CAGE MILL CP-75.
1	Coordinar desarrollo del trabajo y verificar estado y operatividad de sistema de levante.
2	Confeccionar HCR Y ART.
3	obtener firma de Supervisor Mant. Mecánico, posteriormente obtener firma de jefe Turno Operaciones
4	Observar estado general del equipo. Si corresponde, solicitar a operaciones efectué limpieza del equipo.
5	Solicitar bloqueo eléctrico del equipo.
6	Apertura de compuertas del CAGE MILL.
7	Solicitar a operaciones limpieza interna del equipo incluyendo jaulas, (Lavar Jaulas) y pernos de fijación.
8	Con barretilla verificar juego consola.
9	Inspección visual de trapezoide.
10	Ensayo e inspección de masa ultrasonido.
11	verificar si amerita cambio de jaula.
12	Efectuar cierre de la compuerta principal.
13	Efectuar limpieza del área de trabajo. Retire los residuos generados en este trabajo.
14	Realizar desbloqueo mecánico y solicitar desbloqueo eléctrico de equipo
15	Realizar prueba de funcionamiento con carga.
16	Entrega de equipo a Operaciones, finalización de la actividad y retiro del área.
17	Solicitar firma de protocolo.

CANTIDAD.	HERRAMIENTAS A UTILIZAR CAMBIO DE JAULA CP-75.
2	Llave de impacto cuadrante 1 pulgadas.
2	Tecle cadena 3 toneladas.
2	Grillete de 5/8 pulgadas.
2	Llave de Torque 800 Lb/ft 1 1/4 pulgadas.
2	Macho de 4 libras.
1	Llaves Punta Corona de 30 milímetro.
2	Llaves Punta Corona de 24 milímetro.
2	Llaves Punta Corona de 1-3/8 pulgadas.
2	Llaves Punta Corona de 1-5/16 pulgadas.
2	Set Llaves de Punta y Corona 3/8 a 3/4 pulgadas.
2	Tecle palanca 1,5 toneladas.
2	Grillete de 5/8 pulgadas.
1	Llave de Torque 800 Lb/ft 1 1/4 pulgadas.
1	Espátula de Metal.
1	Esmeril Angular 4 ½ pulgadas.
2	Cinzel 10 pulgadas.

CANTIDAD	INSUMOS PARA REALIZAR EL PLAN DE MANTENIMIENTO JAULA.
2	WD-40.
10	Silicona liquida de alta temperatura RTD marca 3M.

ANEXO D, Planificación de mantenimiento caja porta rodamiento (CPR).

PASO	MANTENIMIENTO CORRECTIVO CAMBIO DE CAJA PORTA RODAMIENTO (CPR).
1	Difundir procedimiento Cambio Cuerpo Porta Rodamiento (CPR) y Jaula.
2	Coordinar desarrollo del trabajo y verificar estado y operatividad de sistema de levante de Jaulas.
3	Trasladar un nuevo CPR para Cage Mill CP 75 al punto de trabajo.
4	Confeccionar HCR Y ART, obtener firma de Supervisor Mant.
5	Observar estado general del equipo. Si corresponde, solicitar a operaciones efectué limpieza del equipo.
6	Realizar Bloqueo mecánico y solicitar bloqueo eléctrico del equipo.
7	Solicitar a la especialidad instrumentación desconectar: Sensor velocidad cero y Vibraswitch
8	Desmontaje de las protecciones del sistema motriz. (ambos lados).
9	Apertura de compuertas del CAGE MILL.
10	Solicitar a operaciones limpieza interna del equipo incluyendo jaulas.
11	Desmontaje de jaulas, menor y mayor. (Conforme a plan de trabajo desmontaje de jaulas).
12	Destensar correas ambas transmisiones.
13	Desmontar correas de transmisión, tanto del eje menor y eje mayor.
14	Desmontar poleas conducidas tanto del eje menor y eje mayor.
15	Desmontar sello laberinto.
16	Soltar los pernos de sujeción de cuerpo porta rodamiento (CPR).
17	Desmontar cuerpo porta rodamiento mediante elementos de maniobra, efectuar limpieza en la base.
18	Limpieza área y montaje de nuevo cuerpo porta rodamientos (CPR), efectué apriete de pernos de sujeción.
19	Montar sello laberinto.
20	Montar poleas tanto del eje mayor como la del eje menor, alinear poleas.
21	Efectuar Montaje de Jaula mayor y luego montaje de la jaula menor, conforme a plan de trabajo de montaje de jaulas.
22	Tensar correas.
23	Efectuar Montaje de Jaula mayor y luego montaje de la jaula menor,
24	Efectuar montaje de las protecciones del sistema de transmisión.
25	Solicitar a la especialidad instrumentación conectar los dispositivos Sensor velocidad cero y Vibraswitch.
26	Efectuar cierre de la compuerta principal.
27	Lubricar cuerpo porta rodamiento.
28	Realizar limpieza del área de trabajo. Retirar los residuos generados con ocasión de este trabajo.
29	Realizar desbloqueo mecánico y solicitar desbloqueo eléctrico del equipo.
30	Realizar prueba de funcionamiento en vacío. (Vibración máxima aceptable 0,3 IPS).
31	Entrega de equipo a Operaciones. Informar a jefe de Turno o/a Operador de consola, finalización de la actividad.
PASO	MEDICIÓN DE VIBRACIONES CAJA PORTA RODAMIENTO (CPR).
1	Realizar charla por parte de supervisor eléctrico y completar formato.
2	Preparación de repuestos materiales y herramientas para realizar el trabajo.
3	Coordinar con jefe de turno operaciones el ingreso al área CAGE MILL CP-75.
4	Limpiar zona de medición con personal de operaciones.
5	Medición de vibraciones caja porta rodamiento (CPR).

6	Inspección visual estado de la caja porta rodamiento (CPR).
7	Entrega de equipo hacia operaciones en su operatividad normal.
8	Análisis de mediciones tomadas.
9	Toma de decisión si se realiza cambio de CPR o tiempo estimado.
10	Protocolizar entrega de equipo por responsable planta.
PASO	MEDICIÓN DE TEMPERATURA EN LA CAJA PORTA RODAMIENTO (CPR).
1	Realizar charla por parte de supervisor eléctrico y completar formato.
2	Preparación de repuestos materiales y herramientas para realizar el trabajo.
3	Coordinar con jefe de turno operaciones el ingreso al área CAGE MILL CP-75.
4	Limpiar zona de medición con personal de operaciones.
5	Medición de temperatura caja porta rodamiento (CPR).
6	Inspección visual estado de la caja porta rodamiento (CPR).
7	Entrega de equipo hacia operaciones en su operatividad normal.
8	Análisis de mediciones tomadas.
9	Toma de decisión si se realiza cambio de CPR o tiempo estimado.
10	Protocolizar entrega de equipo por responsable planta.
PASO	MANTENIMIENTO SISTEMA LUBRICACIÓN CENTRALIZADO.
1	Realizar charla por parte de supervisor eléctrico y completar formato.
2	Preparación de repuestos materiales y herramientas para realizar el trabajo.
3	Coordinar con jefe de turno operaciones el ingreso al área CAGE MILL CP-75.
4	Limpiar zona de sistema lubricación.
5	Relleno de aceite Lubricación del sistema centralizado.
6	Inspección visual sistema centralizado.
7	Entrega de equipo hacia operaciones en su operatividad normal.
8	Protocolizar entrega de equipo por responsable planta.
CANTIDAD.	HERRAMIENTAS A UTILIZAR CAMBIO DE CAJA PORTA RODAMIENTO.
2	Tecle cadena 3 toneladas.
2	Cinzel 10 pulgadas.
2	Porta Powers 10 ton.
1	Maquina Soldadora 120 A, Con Mascara Electrónica.
1	Protector Facial Soldador.
1	Llave de Impacto Cuadrante ¾ pulgadas.
2	Chicharra y Set dados Cte. 3/4 pulgadas.
2	Grillete de 5/8 pulgadas.
2	Grillete 5 Toneladas.
1	Tecle palanca 1,5 toneladas.
2	Set Llaves de Punta y Corona 3/8 a 3/4 pulgadas.
2	Llaves Punta Corona de 1-5/16 pulgadas.
2	Llaves Punta Corona de 1-3/8 pulgadas.
2	Llaves Punta Corona de 1-7/16 pulgadas.
1	Llaves Punta Corona de 1-1/2 pulgadas.
2	Llaves Punta Corona de 1-9/16 pulgadas.

2	Llaves Punta Corona de 1-5/8 pulgadas.
1	Llaves Punta Corona de 1-3/4 pulgadas.
2	Llaves Punta Corona de 1-7/8 pulgadas.
2	Llave punta corona 1 1/8 pulgadas.
1	Llaves Punta Corona de 24 milímetro.
1	Llaves Punta Corona de 30 milímetro.
2	Macho de 4 libras.
2	Martillo de Pera 2.5 libras.
2	Barretillas.
1	Eslinga 3" por 1 metro.
1	Eslingas 4" por 6 metro.
1	Esmeril Angular de 7 pulgadas.
CANTIDAD	INSUMOS PARA REALIZAR CAMBIO DE CAJA PORTA RODAMIENTO.
2	Aire comprimido.
1	WD-40.
6	Candados de bloqueo.
4	Silicona liquida de alta temperatura RTD marca 3M.
1	Cilindro nitrógeno de oxicorte.
1	Cilindro de gas de oxicorte.