

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

**PROPUESTA DE MEJORA EN DISEÑO EN CHANCADOR HP 800, PLANTA
TERCIARIA, CODELCO ANDINA.**

Trabajo de Titulación para optar al
Título de INGENIERO EN
MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

Alumno:

Pablo Ignacio Silva Peñaloza

Profesor Guía:

Ing. Carlos Baldi González

2023

DEDICATORIA

A DIOS POR SOBRE TODAS LAS COSAS; GRACIAS POR DARME MAS DE LO QUE NUNCA HE MEREcido;.GRACIAS POR SEGUIR CONFIANDO EN MI;.GRACIAS POR LAS FAMILIAS QUE HAS PUESTO ALRREDOR MIO Y QUE TANTO ME HAN APOYADO;.GRACIAS A LAS AMISTADES QUE ME HAN APOYADO SIEMPRE;.GRACIAS POR DEJARME VIVIR ESTA VIDA Y APRENDER CADA DIA DE ELLA.; DEDICADO A MI HIJO TOMÁS, QUIEN ES MI MOTOR PARA SEGUIR CRECIENDO Y MEJORANDO, COMO PERSONA, PROFESIONAL Y PAPÁ.

RESUMEN

KEYWORDS: CODELCO - CHANCADOR - RCM

La minería desempeña un papel fundamental en la economía nacional al aportar alrededor del 9% del PIB y contar con la mayor inversión extranjera, representando un tercio del total. Chile es el principal productor de cobre a nivel mundial. Como cualquier otra industria, la minería necesita planes de mantenimiento para sus equipos, los cuales deben cumplir con las metas de producción establecidas. La implementación de un plan de mantenimiento eficiente requiere un conocimiento profundo de los equipos, los procedimientos de reparación y los contextos operativos, entre otros factores.

Existen muchos factores que pueden influir en la elección del tipo de mantenimiento adecuado y, para ello, se requiere realizar un análisis exhaustivo y comprender los objetivos que se desean alcanzar. En este trabajo se presenta y se desarrolla la metodología de gestión de mantenimiento RCM (Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad), la cual es utilizada por las gerencias de grandes empresas para aumentar la confiabilidad y disponibilidad de sus activos.

En particular, se aplicó esta metodología al equipo Chancador Nordberg HP 800. En el presente trabajo se describen los conceptos clave de RCM y se presenta de manera detallada el proceso de implementación de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, desde la definición de las funciones de los subsistemas hasta la identificación de las tareas de mantenimiento necesarias para abordar los modos de falla más frecuentes del equipo. De esta manera, se propone una mejora para el equipo en cuestión.

GLOSARIO

Acción: Acción se refiere a la designación de una tarea o serie de tareas para solucionar una causa identificada en la investigación de una falla o problema.

FMECA (Análisis de Criticidad de Modo de Falla y Efectos): Es un método que permite cuantificar las consecuencias e impacto de las fallas de los componentes de un sistema, así como la frecuencia con que se presentan. Este enfoque se emplea para identificar las actividades de mantenimiento que tienen un mayor impacto en la funcionalidad, fiabilidad, facilidad de mantenimiento, riesgos y costos globales de un sistema o equipo. El objetivo es mitigar o eliminar completamente estas fallas.

Causa de falla: a falla se atribuye a las condiciones relacionadas con el diseño, fabricación, instalación, uso y mantenimiento del equipo.

Confiabilidad: capacidad de un equipo o sistema para estar en funcionamiento y en pleno rendimiento en el momento en que se le necesite.

Confiabilidad operacional: Se refiere a la capacidad de un activo para cumplir sus funciones dentro de sus límites de diseño y bajo un contexto operacional específico.

Consecuencia: Describe el resultado de un evento, que puede ser expresado cualitativa o cuantitativamente. Al desarrollar modelos de cálculo, es importante tomar en cuenta los efectos que pueden tener en la seguridad, la salud, el medio ambiente, la producción, los costos de reparación y la reputación de la empresa.

Consecuencia de una Falla: Se define teniendo en cuenta los aspectos más relevantes para el operador, incluyendo la seguridad, el impacto ambiental y los aspectos económicos.

Contexto Operacional: se refiere al conjunto de factores relacionados con el entorno, incluyendo el tipo de operación, el impacto ambiental, los estándares de calidad, los niveles de seguridad y la existencia de redundancias.

Criticidad: Este indicador proporciona una medida del riesgo relativo y ayuda a establecer la importancia relativa de los procesos, sistemas y equipos. Al utilizarlo, se facilita la toma de decisiones informadas y efectivas, lo que permite enfocar los recursos en las áreas que necesitan mayor atención en términos de confiabilidad y gestión de riesgos. También es útil para priorizar esfuerzos y recursos en las áreas más críticas o necesarias para mejorar la confiabilidad y la gestión del riesgo.

Chancador terciario: Un chancador terciario es un equipo utilizado en la industria minera para reducir el tamaño de los minerales. Está compuesto por una componente

móvil y otra fija, en la cual mediante movimientos excéntricos del componente móvil, el mineral es presionado contra el lado fijo produciendo su trituración.

Contra-eje: Se trata de un conjunto que incluye diversos elementos como una camisa, rodamientos, sellos, ejes y piñón corona, siendo este último el encargado de accionar la excéntrica.

Efecto de falla: describe lo que ocurre cuando acontece cada modo de falla.

Engranaje Excéntrico: Es uno de los engranajes que se encuentran en el interior de los chancadores y está fijo al excéntrico.

Excéntrica: Se refiere a la pieza del chancador que genera el movimiento giratorio del eje principal.

Falla: Momento en que un elemento no puede cumplir con la función que se espera de él.

Falla funcional: Se produce cuando un elemento no cumple con la función deseada por el usuario, de acuerdo con los parámetros establecidos.

Jerarquización: Se refiere al proceso de ordenar las tareas en función de su importancia o prioridad.

Manto: Se trata de una pieza de desgaste, ubicada en el núcleo del eje principal, que suele estar fabricada con acero al manganeso.

Modo de falla: Es la manera en que se detecta una falla, describiendo cómo se produce y qué impacto tiene en la operación del equipo. También se consideran los hechos que pudieron haber causado cada estado de falla.

Mecanismo de falla: se trata del proceso físico, químico o de otro tipo que lleva a un deterioro que finalmente conduce a la falla.

Piñón: Engranaje situado en el extremo del contra-eje, encargado de transmitir la fuerza motriz del motor principal a la excéntrica.

ÍNDICE

RESUMEN.....	3
GLOSARIO.....	4
ÍNDICE	6
INDICE FIGURAS	8
INDICE DE TABLAS	9
INDICE DE GRÁFICOS	10
INDICE DE ANEXOS.....	10
INTRODUCCIÓN	11
OBJETIVOS	13
Objetivo general	13
Objetivos específicos	13
CAPÍTULO 1: DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO Y ANÁLISIS JACK KNIFE	
CHANCADOR HP 800	14
1 DESCRIPCIÓN MINERA CODELCO ANDINA	15
1.1 Alcance.....	15
1.2 Minera Codelco Andina.	15
1.3 Descripción proceso minera andina	17
1.4 Descripción proceso productivo planta terciaria – cuaternaria.	18
1.5 Estadísticas de producción (por planta y línea).....	19
1.6 Disponibilidad de planta terciaria - cuaternaria	20
1.7 Descripción de equipo chancador hp-800	20
1.8 Definición y descripción de fallas.....	25
1.8.1 Tipos de fallas mecánicas.....	26
1.8.2 Tipos de falla de un chancador.....	27
1.8.3 Fallas presentes en equipo HP 800, Planta Terciaria, Codelco Andina.	31
1.9 Tipos de mantenimientos mecánicos.....	31
1.9.1 Mantenimientos chancador HP 800, Codelco Andina.	32
1.9.2 Componentes mecánicos HP 800.....	33
1.9.3 Pautas de mantención HP 800.....	34

1.10	Aplicación metodología JACK KNIFE	35
1.11	Aplicación Jack Knife	37
CAPITULO 2: JERARQUIZACIÓN DE COMPONENTES CHANCADOR HP 800 MEDIANTE RCM.....		39
2	ANÁLISIS RCM.....	40
2.1	RCM.....	40
2.1.2	Clasificación de las consecuencias RCM.....	41
2.1.3	Diagrama flujo RCM.....	42
2.1.4	Beneficios del RCM	43
2.2	Aplicación del RCM	43
2.2.1	Registro de información de RCM	45
2.2.1	Formato de decisión de RCM	45
2.2.2	Árbol de decisiones	46
2.3	Resultado análisis RCM chancador HP 800	47
CAPITULO 3: APLICACIÓN DE PROPUESTAS Y COSTOS		51
3	PROPUESTA DE MEJORA.....	52
3.1	Main frame Liners actuales	52
3.1.1	Alcance.....	53
3.1.2	Información Acero T-500.....	53
3.1.3	Información Ford Steel bimetalico.....	53
3.1.4	Duración actual Main Frame Liners.....	54
3.1.5	Proyección y resultados.....	58
3.2	Propuesta Main frame liners bimetalicos	59
3.2.1	Información composición main frame liners Recsol.....	59
3.2.2	Proyección de durabilidad (prueba)	60
3.2.3	Proyección y resultados.....	63
3.3	Análisis económico	64
CONCLUSIONES		67
BIBLIOGRAFÍA.....		68
ANEXOS.....		69

INDICE FIGURAS

Figura 1-1 Mina Sur – Sur y subterránea, Codelco Andina (Codelco.cl).	16
Figura 1-2. Ubicación geográfica de la división (interempresas.net).	16
Figura 1-3. Flujograma proceso Codelco Andina (Codelco.cl)	18
Figura 1-4: Proceso productivo planta terciaria – cuaternaria (Registro personal DAND)	19
Figura 1-5: Elementos rotatorios chancador (Manual Metso)	21
Figura 1.6: Frame and Mainshaft (Manual Metso)	22
Figura 1-7: Conjunto movimiento, ajuste y liberación inchancables (Manual Metso)...23	
Figura 1-8: Estructura principal (Manual Metso).	23
Figura 1-9: Manto cabeza y bowl. (qimingcasting.com)	24
Figura 1-10: Planchas circulares main frame liner. (Registro personal).....	25
Figura 1-12: Fisura manto cabeza chancador (registro personal).	27
Figura 1-13: Imagen referencial motor eléctrico chancador (Manual instrucciones MP 1000, METSO).	28
Figura 1-14: Fuga de aceite por rotura de línea (Manual mantención chancador METSO).....	28
Figura 1-15: Buje bronce quemado por falla en lubricación (registro personal).	29
Figura 1-16: Panel de control (Codelco.cl)	30
Figura 1-19: Diagrama Jack Knife, (elaboración propia).	37
Figura 2-1: Proceso RCM. (Aguilar-Otero, José R.; Torres-Arcique, Rocío; Magaña- Jiménez, Diana, 2010.).....	41
Figura 2-3: Estructura Hoja de Información RCM, (elaboración propia).....	45
Figura 2-4: Hoja de decisión RCM, (elaboración propia).....	46
Figura 2-6: Árbol lógico de decisión Main Frame Liners, (Elaboración propia).	49
Figura 3-1: Main frame liners T500, (registro personal).	52

Figura 3-2: Ubicación puntos de medición en main frame liners, (Elaboración propia).	55
Figura 3-3: Ultrasonic Thickness Gauge, modelo TT100, (www.meldic.cl).	56
Figura 3-3: Montaje main frame liner bimetalica Recsol, (registro personal).	61

INDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Ponderaciones para análisis de criticidad.	44
Tabla 2-2: Resultado análisis criticidad, (elaboración propia).	44
Tabla 3-1: Características Acero T 500. Fuente: Böhler.	53
Tabla 3-2: Características refuerzo acero Ford Steel bimetalica, (fordsteel.com).	54
Tabla 3-3: Medición de desgaste planchas main frame liners a las 600 hrs de funcionamiento, (elaboración propia).	56
Tabla 3-4: Medición de desgaste planchas main frame liners a las 1200 hrs de funcionamiento, (elaboración propia).	57
Tabla 3-5: Medición de desgaste planchas main frame liners a las 1800 hrs de funcionamiento, (elaboración propia).	58
Tabla 3-6: Características acero bimetalico Recsol, (recsol.cl).	60
Tabla 3-7: Medición de desgaste planchas main frame liners Recsol a las 1200 hrs de funcionamiento, (elaboración propia).	62
Tabla 3-8: Medición de desgaste planchas main frame liners Recsol a las 4500 hrs de funcionamiento, (elaboración propia).	62
Tabla 3-9: Medición de desgaste planchas main frame liners Recsol a las 5500 hrs de funcionamiento, (elaboración propia).	63
Tabla 3-10: Costos liners T500 + refuerzo circular, (elaboración propia).	65
Tabla 3-11: Costos liners bimetalicos RECSOL, (elaboración propia).	65
Tabla 3-12: Diferencia de costos anuales, (elaboración propia).	66

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 3-1: Proyección de desgaste main frame liners, (elaboración propia). 58

Gráfico 3-2: Proyección de desgaste main frame liners Recsol, (elaboración propia). ..64

INDICE DE ANEXOS

Anexo A: Tabla down time hp 800 69

Anexo B: Componentes de ajuste setting.....70

Anexo C: Conjunto ajuste 70

INTRODUCCIÓN

Debido al costo creciente de los insumos durante estos últimos años, la industria minera nacional e internacional se ha debido enfrentar a la imperiosa necesidad de optimizar sus procesos con el fin de aumentar su productividad.

Durante este último tiempo, Codelco división Andina se ha dedicado a realizar estudios y análisis que le permitan mejorar sustancialmente la eficiencia de sus operaciones; esto ha llevado a realizar modificaciones en sus procesos y/o equipos que buscan como objetivo principal aumentar la producción, logrando ser competitivos dentro del rubro minero.

El proceso operativo de chancado involucra la operación de diversos equipos, tales como, correas transportadoras, alimentadores, harneros, chutes de traspaso y chancadores. En base a la criticidad, constantes detenciones y levantamiento de condiciones subestándares, se determina que el chancador es el equipo para analizar.

Los chancadores que actualmente operan en el proceso de disminución de granulometría de mineral ubicados en planta terciaria (chancado fino) son los del modelo HP-800, el cual dentro de sus principales componentes se encuentran las planchas “Main Frame Liner”.

La idea del presente estudio apunta a presentar y proponer una mejora técnica para conseguir un aumento en la disponibilidad de sus equipos dentro de sus líneas de operación, específicamente en la de chancado de mineral fino, el cual tiene como finalidad procesar el mineral proveniente del chancado primario, del cual se obtiene una menor granulometría de este para posteriormente alimentar la línea de molienda. Actualmente la planta posee una disponibilidad semestral del 75%, siendo que lo mínimo que se exige por parte de Codelco es un 85% de disponibilidad.

La propuesta de mejora del componente del equipo nace de una problemática detectada en inspecciones rutinarias, donde se detecta un desgaste anormal o inadecuado en los perfiles de las corazas de los chancadores producto del desgaste anticipado de los “Main Frame Liner”, los cuales debiesen tener un desgaste aproximado de 1 mm cada 18 días o 450 hrs, dando una duración de alrededor de 6 meses, pero dentro del seguimiento se detecta en ocasiones el desgaste anticipado de la plancha, alcanzado un desgaste de hasta 1,5 mm cada 18 días generando los problemas antes mencionados en el chancador.

La mejora propuesta en este estudio es buscar una nueva aleación o construcción del “Main Frame Liner”, con lo cual se proyecta que minimizará las detenciones programadas del equipo debido a que este presenta una tasa de desgaste menor al que actualmente se utiliza, lo que tendrá como consecuencia el aumento de la producción, minimizar los periodos de detención por mantención programada y el ahorro de la frecuencia de compra y cambio del componente.

Lo que se espera con el reemplazo de este componente (main frame liner de acero bimetálico), es que a pesar del desgaste que sufren las corazas debido a la operación del chancador, este se mantenga sin daño por un mayor periodo de tiempo como consecuencia del material del cual está compuesto, lo que se espera se traduzca en una mayor disponibilidad del equipo, por ende un aumento de la producción, consiguiendo con esto el ahorro económico ya que la frecuencia de compra y cambio serán menores.

OBJETIVOS

Objetivo general

- Elaborar un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) al chancador HP-800 describiendo el entorno operativo y el análisis de datos estadísticos, proponiendo plan de mejoras evaluándolas técnica y económicamente.

Objetivos específicos

- Diagnosticar el estado del chancador HP 800, describiendo el contexto operacional y proceso donde se encuentra el equipo, determinado el componente crítico del chancador hp 800.
- Desarrollar metodología RCM al componente crítico, mediante el trabajo in situ en el equipo y analizando los modos de fallos más críticos, determinado acciones a ejecutar.
- Analizar la propuesta de manera técnica y económica, mediante el uso de indicadores, determinado beneficios esperados.

CAPÍTULO 1: DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO Y ANÁLISIS JACK KNIFE
CHANCADOR HP 800

1 Descripción minera Codelco Andina

1.1 Alcance

Considerando que la información sobre detenciones y fallas es almacenada por personal de Codelco, no siendo compartida a empresas contratistas, se determina que el chancador HP 800 es el equipo con mayor tasa de falla y MTTR ya que se evalúa en base a las intervenciones in situ realizada por el personal de la empresa contratista.

1.2 Minera Codelco Andina.

Es una empresa autónoma, propiedad de todos los chilenos y chilenas, principal productora de cobre de mina del mundo, líder en reservas del mineral a nivel planetario y motor del desarrollo del país.

Su giro principal es explorar, desarrollar y explotar recursos mineros, procesarlos para producir cobre refinado y subproductos, y luego comercializarlos a clientes en todo el mundo. Este trabajo se realiza a través de siete divisiones mineras: Chuquicamata, ministro Hales, Radomiro Tomic, Gabriela Mistral, Salvador, Andina, El Teniente, además de la Fundición y Refinería Ventanas. La Casa Matriz se ubica en Santiago, desde donde se coordina la estrategia corporativa, desarrollada por un directorio formado por nueve integrantes y el presidente ejecutivo de la empresa.

La División Andina, situada en la Región de Valparaíso, se encuentra a una altitud superior a los 3.000 metros sobre el nivel del mar y utiliza una combinación de métodos de explotación, incluyendo tanto el rajo abierto como la mina subterránea. Actualmente, la División se dedica a la extracción de minerales en la mina subterránea de Río Blanco y en la mina a rajo abierto Sur Sur. (ver figura 1-1).



Figura 1-1 Mina Sur – Sur y subterránea, Codelco Andina (Codelco.cl).

División Andina opera el yacimiento Río Blanco, cuya riqueza es conocida desde 1920. Los intentos por iniciar su explotación no se concretaron hasta medio siglo después, en 1970, con la creación de la Compañía Minera Andina.

Ubicada a 80 kilómetros al noreste de Santiago, entre los 3.700 y 4.200 metros sobre el nivel de mar (ver figura 1-2), la división tiene un método de explotación mixto (subterráneo y a rajo abierto) y cuenta con las reservas minerales más importantes de Codelco.



Figura 1-2. Ubicación geográfica de la división (interempresas.net).

El mineral extraído de la mina posee principalmente calcopirita (Cp), Calcosina (Cc), Pirita (Py) y Molibdenita (MoS₂). Estos recursos poseen una ley de corte de 0,5% Cu, con una ley media de cobre de 0,83% Cu y 0,022% Molibdeno.

La mina subterránea se encuentra dividida en 4 grandes áreas, las cuales son la planta de chancado grueso, planta chancado fino, concentrador y planta SAG.

En 2021 produjo 177.216 toneladas métricas de cobre fino y su dotación fue de 1.424 personas al 31 de diciembre.

1.3 Descripción proceso minera andina

Luego de la extracción en las minas a cielo abierto y subterránea de Andina, el mineral se traslada a la planta de chancado primario para su trituración. Posteriormente, es transportado por correas hasta las instalaciones de molienda y flotación colectiva en la Planta Concentradora, donde se lleva a cabo la molienda del mineral mediante tres sistemas paralelos: molienda convencional, molienda unitaria y molienda SAG. El objetivo es reducir el tamaño de las partículas de mineral y prepararlo para la siguiente etapa, la flotación.

La flotación permite la separación de las partículas sulfuradas de cobre y molibdeno de la roca estéril, y se obtiene un concentrado colectivo de cobre y molibdeno con leyes de hasta el 30% y 0.39%, respectivamente. Este concentrado se traslada por cañerías a una planta en superficie, ubicada en Saladillo, para las etapas de flotación selectiva y filtrado.

El concentrado de cobre se somete a un proceso de secado para reducir la humedad a un 9% o menos, y se transporta por ferrocarril al Puerto de Ventanas para su despacho a fundiciones en Chile y en el extranjero. Mientras tanto, el concentrado de molibdeno se seca hasta que su humedad sea inferior al 8%, se descabriza y se obtiene un concentrado de bajo cobre con un máximo de 0.4% de este metal, y una pequeña cantidad de concentrado con 48% de molibdeno y 4.3% de cobre.

Los relaves del proceso en el Concentrador se envían a dos espesadores, donde se recupera hasta el 60% del agua contenida y se reutiliza en la molienda y flotación. El resto del material se transporta a través de una canaleta de 80 kilómetros hasta el nuevo embalse de relaves Ovejería, ubicado en Huechún, Región Metropolitana, para su depósito seguro y permanente.

El proceso general se puede observar en la figura 1-3.

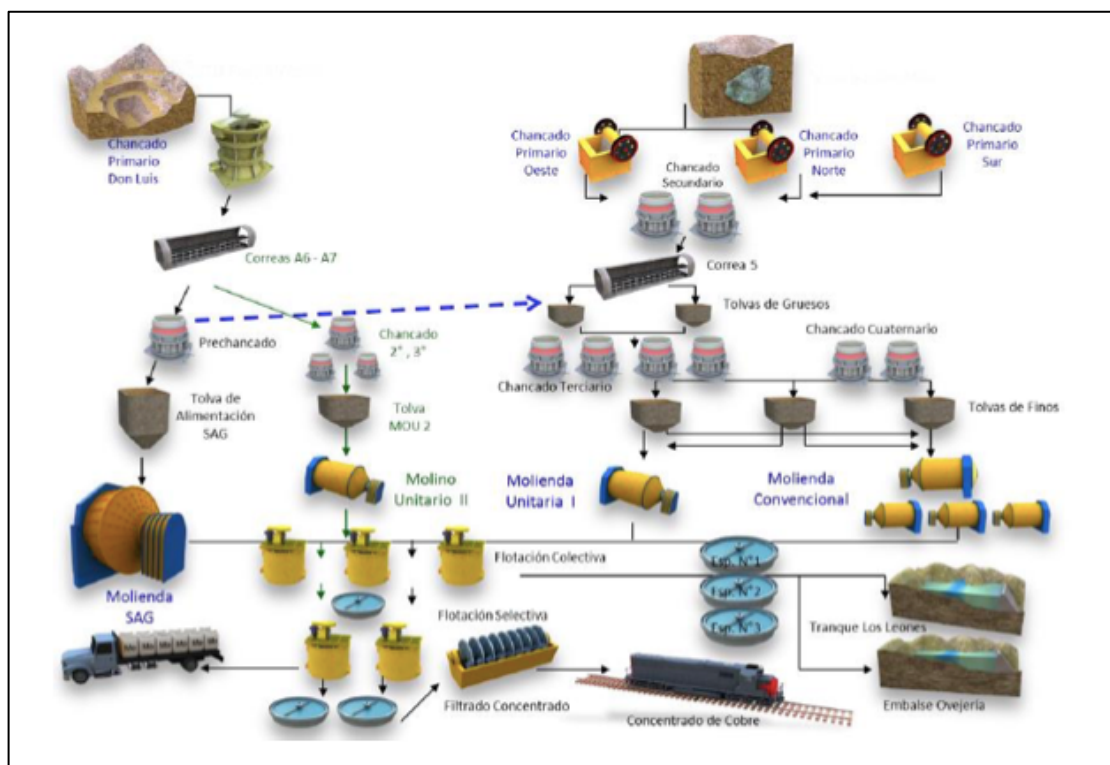


Figura 1-3. Flujograma proceso Codelco Andina (Codelco.cl)

1.4 Descripción proceso productivo planta terciaria – cuaternaria.

Desde el chancado primario proviene el mineral grueso el cual es almacenado en dos tolvas, la tolva N° 1 es alimentada por la correa 5, mientras que la correa 5B alimenta la tolva N° 2. La planta terciaria se divide en 4 secciones las cuales son alimentadas por ambas tolvas, las secciones A y B son alimentadas por la tolva N°1, mientras que la sección C y D son alimentadas por la tolva N° 2. (Figura 1-4)

Todas las secciones mencionadas se componen de dos alimentadores Jeffrey, de 4 x 10", las cuales descargan a correas transportadores de 36" de ancho. Estas correas (6A, 6B, 6C y 6D respectivamente) alimentan a harneros de doble cribado de 8 x 20" (N° 1, 2, 3 y 4).

El bajo tamaño del segundo cribado es producto final, el cual es enviado mediante la correa 8A, de 36" de ancho, a la correa 8B, de 42" de ancho, la cual alimenta las tolvas de mineral fino. El mineral con sobre tamaño del primer y segundo cribado alimenta al Chancador HP-800 (N° 1, 2, 3 y 4 respectivamente). El mineral procesado descarga en correa transportadoras de 36" de ancho (7A, 7B, 7C y 7D

respectivamente). Estas correas alimentan a la planta cuaternaria mediante los harneros de doble cribado de 10 x 20" (Nº 5, 6, 7 y 8).

El mineral con sobre tamaño alimenta a la correa 7G, 7H y 7I, en donde esta última descarga a una tolva intermedia, de 1.000 toneladas, el mineral almacenado es extraído mediante dos alimentadores de cinta, Nº 10 y 11, las cuales alimentan a las correas 6E y 6F, más las correas auxiliares 1 y 2.

Estas correas descargan al Chancador Symons 7" (Nº 5 y 6) y las correas auxiliares al Chancador HP-800 (Nº 2 y 3). El mineral procesado mediante el Chancador Symons descarga a la correa 7E y 7F, el cual se distribuye a los harneros Nº 10 y 11. El bajo tamaño de estos harneros (Nº 5, 6, 7, 8, 9, 10 y 11) es producto final y se envía a las tolvas de mineral fino mediante las correas 8C y 8D. El sobre tamaño va directamente a la correa 7G, recirculando al circuito cuaternario.

La correa 8B, que recibe mineral de las correas 8A y 8D, alimentan a la tolva de finos A. Vía un chute tipo "pantalón" se alimentan las correas 8E y 8F que transportan el mineral hacia las tolvas de fino B y C.

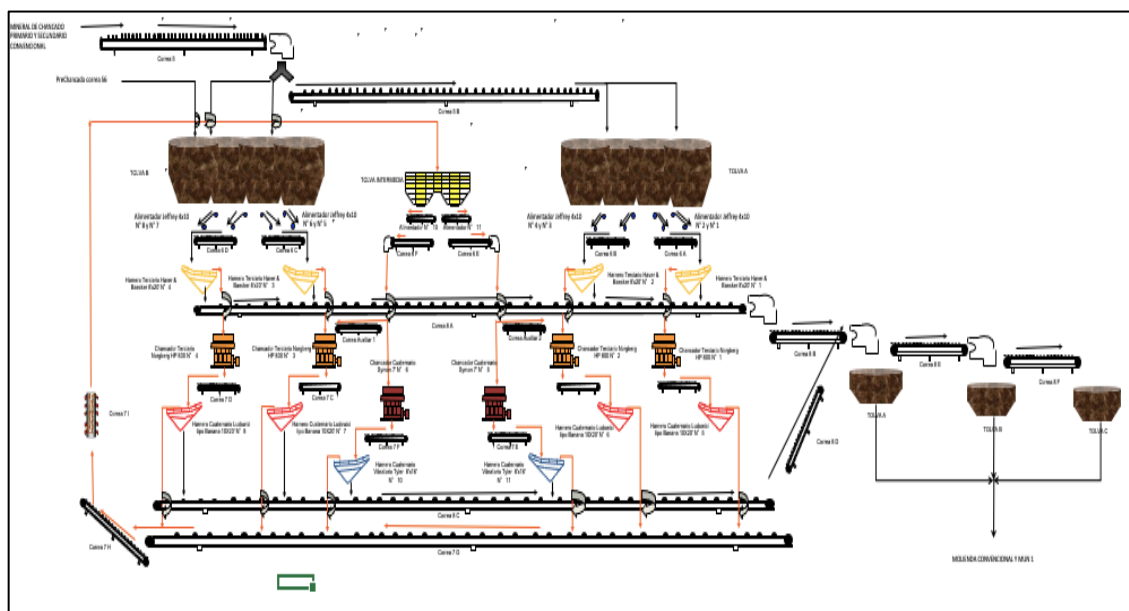


Figura 1-4: Proceso productivo planta terciaria – cuaternaria (Registro personal DAND)

1.5 Estadísticas de producción (por planta y línea)

La planta tiene la capacidad aproximadamente de procesar 61.000 toneladas día,

317 app toneladas por hora multiplicado por 8 alimentadores dan un total aproximado de 2.536 toneladas por hora.

Actualmente el material que descarga a correa transportadora 8A corresponde a un aproximado de 700 toneladas por hora.

El mineral que procesa los chancadores depende de la granulometría con la que venga el material, la sección A, B y C procesan entre 250 a 300 toneladas por hora, mientras que la sección D procesa de 300 a 400 toneladas por hora.

En resumen, al día se logra un resultado de alrededor de 1.175 toneladas por hora, multiplicadas por 24 hrs correspondientes a 28.200 toneladas aproximadamente al día.

Por lo que entre el mineral que se descarga a la correa 8A y el mineral que procesan los 4 chancadores, son de un total de 45.000 toneladas al día.

Por lo tanto, la planta trabajando con una disponibilidad del 75% de sus equipos, procesa semestralmente 8.100.000 toneladas.

1.6 Disponibilidad de planta terciaria - cuaternaria

Codelco solicita que la planta de chancado fino, específicamente la planta terciaria – cuaternario, posea una disponibilidad de un 85% de sus equipos, considerando detenciones tanto por mantenciones programadas como las no programadas.

Para lograr este porcentaje, la planta se encuentra diseñada con 4 líneas que trabajan en paralelo permitiendo poder detener una sección sin afectar la disponibilidad requerida de la planta (85%).

Actualmente la planta terciaria – cuaternaria posee una disponibilidad de un 75%, ya que se está presentando un aumento en detenciones no programadas como en el aumento de tiempo durante las mantenciones programadas, específicamente en los equipos chancadores HP-800.

1.7 Descripción de equipo chancador hp-800

El chancador de cono es parecido al chancador giratorio, ambos tipos de chancador tienen el mismo principio funcional y poseen elementos similares. La

diferencia esencial, es que la trituradora de cono posee un eje vertical más corto, y, además, este no está apoyado en una araña como en el caso de un chancador giratorio. Además, el manto y cóncava poseen una geometría distinta.

Normalmente la excéntrica del chancador de cono trabaja a una velocidad mucho mayor que la excéntrica de un chancador giratorio (entre 700 y 1000 rpm).

El chancador se puede dividir en 4 secciones para analizar sus principales componentes, los cuales son:

- Elementos Rotatorios
- Frame and Mainshaft
- Movimiento, Ajuste y Liberación Inchancables
- Conjunto Estructura Principal

Los elementos rotatorios (ver figura 1-5) se componen por cabeza, buje quicionera, bujes, sellos, excéntrica, piñón – corona, accionamiento, soporte, tuerca fijación y plato alimentación.

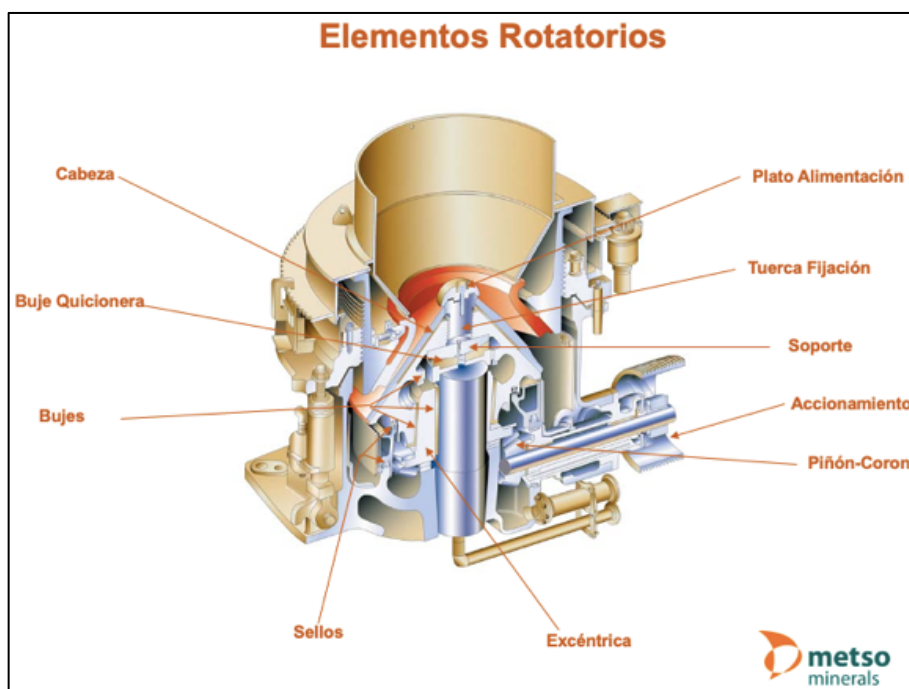


Figura 1-5: Elementos rotatorios chancador (Manual Metso)

El Frame y Mainshaft (ver figura 1-6) se componen por el eje principal, protección, y acero de alta resistencia.

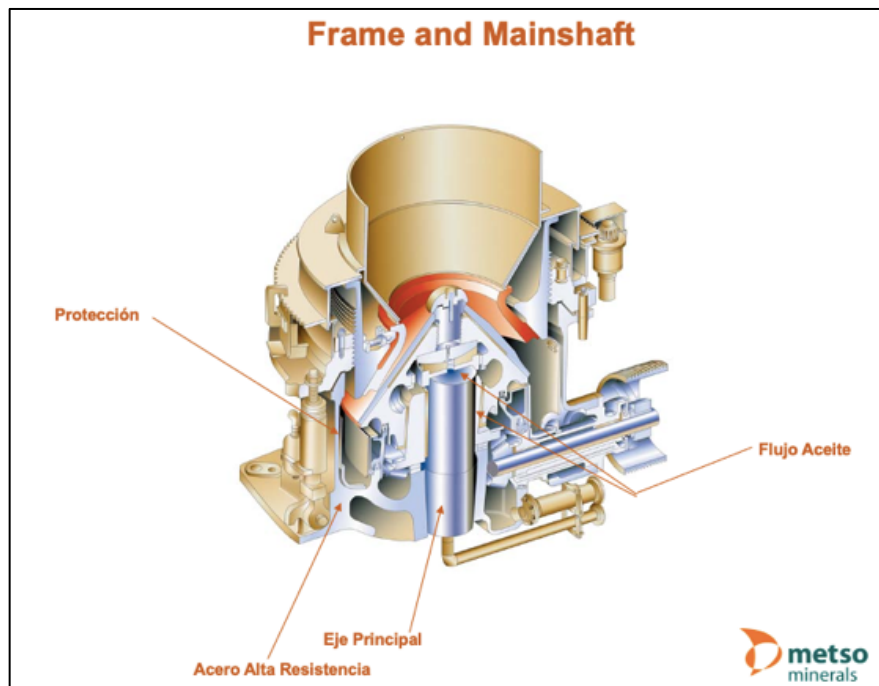


Figura 1.6: Frame and Mainshaft (Manual Metso)

En el caso de movimientos, ajuste y liberación de inchancables (ver figura 1-7), estos se componen de cuñas de fijación coraza, corazas, sistema de despeje y motor hidráulicos.

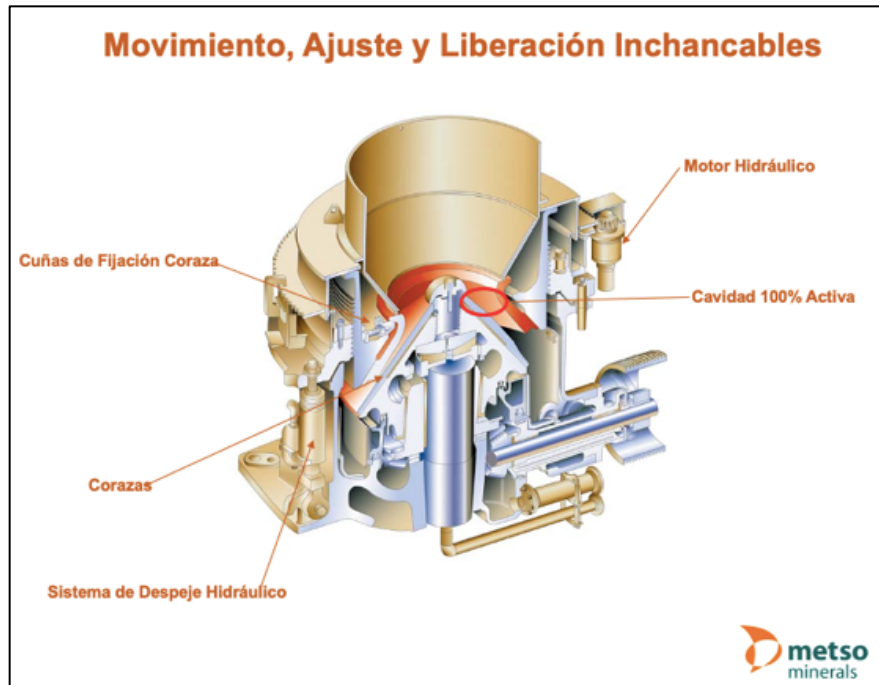


Figura 1-7: Conjunto movimiento, ajuste y liberación inchancables (Manual Metso).

El conjunto de estructura principal (ver figura 1-8) consta de anillo de fijación, anillo de ajuste, coraza de estructura principal, sello “U”, descanso axial inferior, cilindros de liberación y cilindros de fijación.

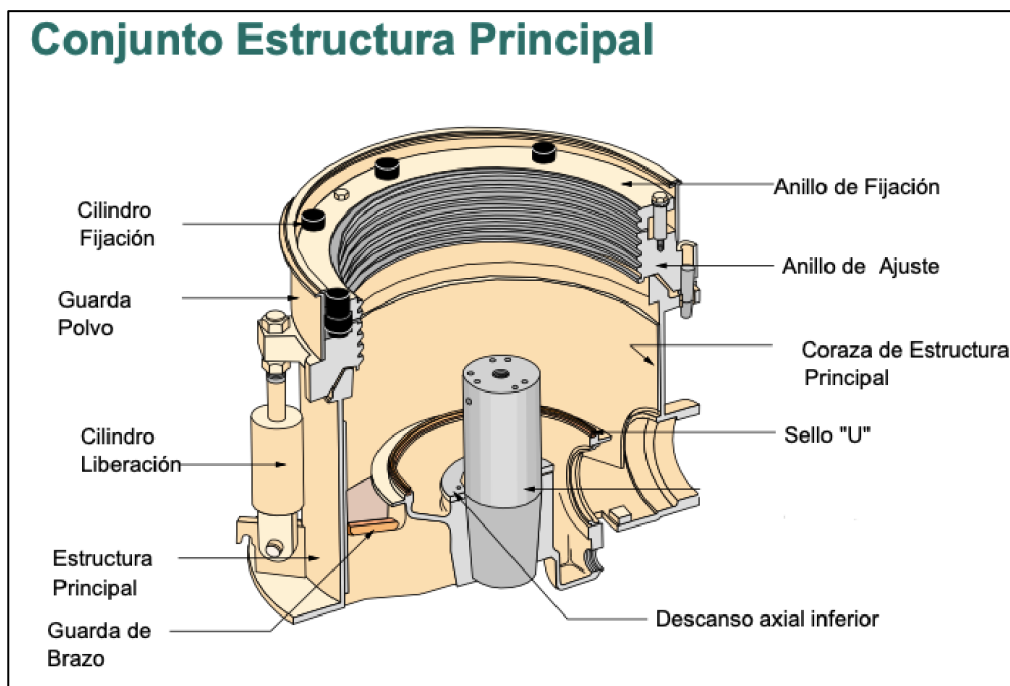


Figura 1-8: Estructura principal (Manual Metso).

Dentro de los componentes descritos, existen 3 elementos de desgaste que permiten una mayor durabilidad de los componentes originales del chancador, dentro de estos elementos encontramos las corazas que protegen tanto la cabeza como el bowl (ver figura 1-9), las cuales son quienes hacen la trituración del mineral sin afectar los componentes originales. Otro elemento de desgaste son las planchas circulares (main frame liner), las cuales protegen la estructura principal o “Main Frame” del chancador, ya que el proceso de chancado consiste en el movimiento excéntrico de la cabeza la cual al momento de triturar el mineral contra el bowl, el mineral golpea contra estas planchas (ver figura 1-10), impidiendo que se produzca un desgaste en la estructura principal por el constante flujo de mineral triturado.

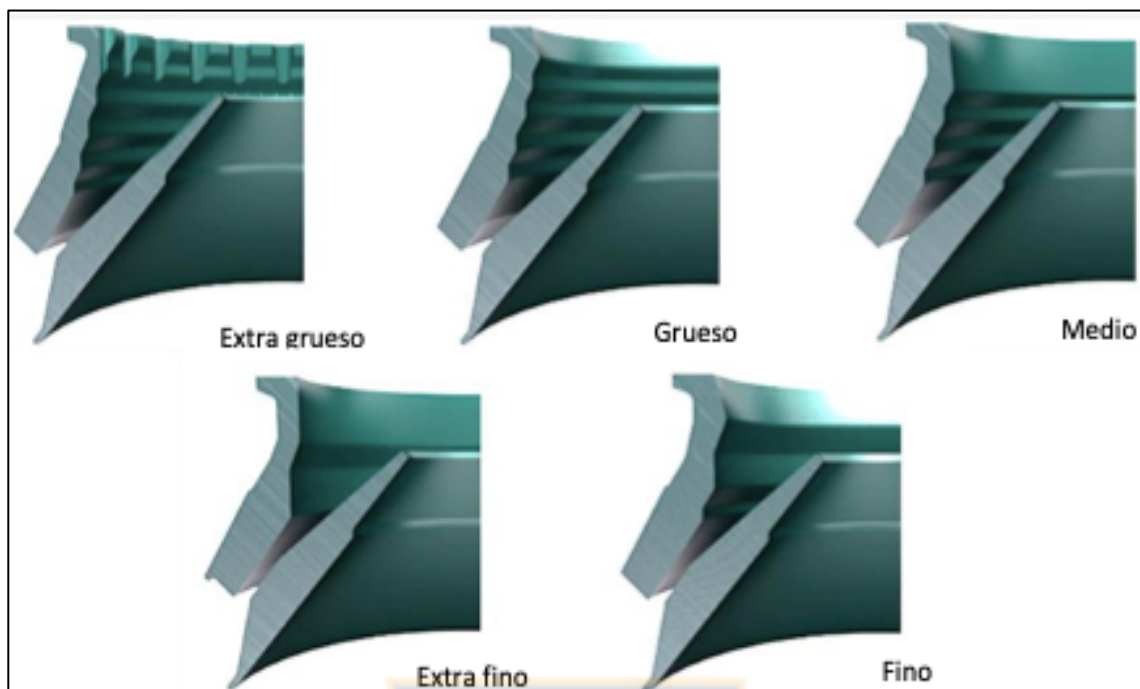


Figura 1-9: Manto cabeza y bowl. (qimingcasting.com)



Figura 1-10: Planchas circulares main frame liner. (Registro personal)

1.8 Definición y descripción de fallas

Las fallas mecánicas son eventos o procesos que ocurren en un material o estructura cuando se excede su capacidad de resistencia y se produce una deformación plástica o fractura. Estas fallas pueden ser el resultado de diferentes causas, como la aplicación de una carga excesiva, el deterioro del material por la edad, la fatiga cíclica, la corrosión, entre otras. Las fallas mecánicas pueden tener graves consecuencias, por esta razón, es importante llevar a cabo inspecciones y mantenimiento adecuados para prevenir y detectar fallas mecánicas antes de que se conviertan en un problema de seguridad.

En relación a su origen y grado, se pueden clasificar las fallas en diferentes categorías:

- **Falla Gradual (drift failure):** Es el resultado del cambio gradual en las características de una entidad debido al tiempo de trabajo. Esta falla puede ser anticipada y prevenida a través de métodos de mantenimiento preventivo o monitoreo.
- **Falla Repentina:** Es una falla que ocurre de forma imprevista y no puede ser anticipada por medio de exámenes previos o monitoreo.

- Falla Parcial: Es una desviación en las características de una entidad más allá de los límites especificados, pero sin resultar en una pérdida completa de su función requerida.
- Falla Completa: Es una desviación en las características de una entidad más allá de los límites especificados, lo que termina en una pérdida completa de su función requerida.
- Falla Catastrófica: Es una combinación de falla completa e imprevista.
- Falla de Degradación: Es una combinación de falla parcial y gradual, que con el tiempo puede convertirse en una falla completa. En cuanto al momento de ocurrencia, la tasa de fallas λ se define como la proporción de entidades que fallan dentro del período de tiempo $[t; t+\Delta t]$ después de haber sobrevivido en todo momento " t ".

1.8.1 Tipos de fallas mecánicas

Existen varios tipos de fallas mecánicas, algunos de los cuales se describen a continuación:

1. Falla por fatiga: se produce cuando una estructura o componente es sometido a un gran número de cargas cíclicas que provocan la acumulación de pequeñas fisuras que eventualmente pueden unirse y causar una fractura.
2. Falla por sobrecarga: se produce cuando una estructura o componente es sometido a una carga que excede su capacidad de resistencia.
3. Falla por corrosión: se produce cuando un material se deteriora debido a la exposición a agentes corrosivos como la humedad, los productos químicos o la salinidad.
4. Falla por desgaste: se produce cuando un material se desgasta debido al contacto repetido con otro material o superficie.

5. Falla por deformación plástica: se produce cuando un material se deforma permanentemente debido a la aplicación de una carga que excede su límite elástico.
6. Falla por fragilidad: se produce cuando un material se rompe de manera abrupta sin mostrar señales previas de deformación o deformación plástica, generalmente debido a la presencia de defectos internos en el material.

1.8.2 Tipos de falla de un chancador

Dentro de las fallas más comunes que se pueden apreciar en los chancadores, son las siguientes:

1. Falla mecánica: puede ocurrir cuando una pieza del chancador se rompe o se deforma, lo que puede llevar a que la máquina no funcione correctamente o incluso se detenga por completo.(ver figura 1-12)



Figura 1-12: Fisura manto cabeza chancador (registro personal).

2. Falla eléctrica: puede ocurrir cuando un componente eléctrico del chancador, como un motor o un interruptor, falla y no puede realizar su función correctamente. (ver figura 1-13)

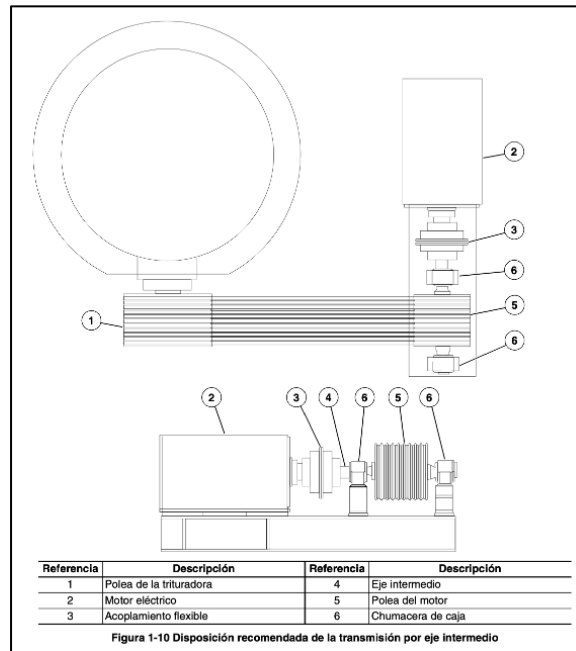


Figura 1-13: Imagen referencial motor eléctrico chancador (Manual instrucciones MP 1000, METSO).

3. Falla hidráulica: los chancadores hidráulicos utilizan sistemas de fluidos para funcionar, por lo que una falla en el sistema hidráulico puede causar problemas de funcionamiento o incluso la detención completa de la máquina. (ver figura 1-14)



Figura 1-14: Fuga de aceite por rotura de línea (Manual mantenimiento chancador METSO)

4. Falla de lubricación: los chancadores requieren lubricación adecuada para funcionar correctamente. Una falla en el sistema de lubricación puede causar un desgaste excesivo de las piezas del chancador o incluso causar daño a los componentes. (ver figura 1-15)



Figura 1-15: Buje bronce quemado por falla en lubricación (registro personal).

5. Falla de control de proceso: los chancadores modernos utilizan sistemas de control de proceso para maximizar la eficiencia y minimizar el desgaste de las piezas. Una falla en el sistema de control puede llevar a problemas de funcionamiento o incluso causar daños a los componentes. (ver figura 1-16)



Figura 1-16: Panel de control (Codelco.cl)

6. Falla de la estructura: la estructura del chancador debe ser lo suficientemente resistente para soportar las cargas y vibraciones generadas durante la operación. La falla de la estructura puede ser causada por problemas como la fatiga, la corrosión, o la falta de mantenimiento. (ver figura 1-17)



Figura 1-17: Fisura Main Frame MP 1000 (Adnindustrial.cl).

1.8.3 Fallas presentes en equipo HP 800, Planta Terciaria, Codelco Andina.

Después de analizar las estadísticas de las fallas de los equipos HP 800 de la planta terciaria, se puede observar que hay ciertos patrones que se repiten con mayor frecuencia. Asimismo, se ha observado que durante el periodo de índice de fallas constante, se presentan con mayor frecuencia fallas aleatorias que no se pueden atribuir a ninguna causa específica. En cambio, durante el periodo de fallas de desgaste, se han registrado un aumento significativo en la tasa de fallas, lo que sugiere que las partes del equipo que se desgastan con el uso están llegando a su vida útil antes de tiempo.

En cuanto a las fallas según su efecto, se ha registrado un número significativo de fallas de categoría crítica, las cuales han afectado gravemente la disponibilidad del equipo y han requerido reparaciones mayores para solucionarlas. Se ha notado una tendencia en estas fallas críticas a ocurrir durante la etapa de falla temprana y durante el periodo de fallas de desgaste, lo que indica la necesidad de prestar especial atención a estas fases del ciclo de vida del equipo. Las fallas más recurrentes presentadas son las siguientes:

- Desgaste irregular de planchas circulares
- Grietas o quiebre de plancha
- Perfiles de corazas con desgaste anormal o inadecuado
- Daño en Main Frame
- Granulometría inadecuada
- Daño en chutes de traspaso
- Daño en correas transportadoras
- Presencia de “inchancables”

1.9 Tipos de mantenimientos mecánicos

Existen varios tipos de mantenimientos mecánicos, cada uno de los cuales se enfoca en diferentes aspectos del mantenimiento de maquinarias y equipos. Algunos de los tipos de mantenimientos mecánicos más comunes son:

1. **Mantenimiento preventivo:** Este tipo de mantenimiento se basa en la realización periódica de inspecciones, lubricación, ajustes y otras tareas para prevenir fallas y mantener el equipo en buen estado de funcionamiento.
2. **Mantenimiento correctivo:** Se trata del mantenimiento que se realiza después de que se ha detectado una falla o avería en el equipo. El objetivo es reparar o reemplazar las piezas dañadas para que el equipo pueda volver a operar.
3. **Mantenimiento predictivo:** Este tipo de mantenimiento se basa en la recopilación y análisis de datos del equipo para predecir posibles fallas antes de que ocurran. Se utilizan técnicas de monitoreo, como la medición de vibraciones, para identificar patrones que indiquen un problema inminente.
4. **Mantenimiento detectivo:** Consiste en la búsqueda activa de fallas ocultas o problemas potenciales que aún no se han manifestado, mediante la realización de inspecciones y pruebas de diagnóstico.
5. **Mantenimiento proactivo:** Se enfoca en la implementación de mejoras en el diseño o funcionamiento del equipo para prevenir problemas recurrentes y mejorar su rendimiento.

1.9.1 Mantenimientos chancador HP 800, Codelco Andina.

Los chancadores poseen un plan de mantenimiento en relación con sus horas de funcionamiento y componentes críticos, por este motivo se desglosará los principales componentes a inspeccionar y de los cuales son parte de los 4 tipo de mantenciones (ver Tabla 2-1) que actualmente poseen los chancadores HP 800. Para lograr evaluar si los componentes cumplen con las horas estipuladas según plan de mantenimiento, se procederá a realizar un análisis mediante metodología Jack Knife de los componentes críticos y así encontrar el o los componentes que provocan mayor detención y tiempo de reparación, para luego proceder a la propuesta de mejora de estos mediante metodología RCM.

1.9.2 Componentes mecánicos HP 800

Entre los principales componentes del chancador Nordberg serie HP 800 (ver tabla 1-2) se encuentran el bowl, la cabeza, el conjunto de excéntrica, el conjunto de contra eje, el conjunto de piñón y eje principal, la carcasa del chancador y la tolva de alimentación.

El bowl es la parte inferior del chancador y se encarga de contener el material que se va a triturar. La cabeza es la parte superior y contiene la cavidad de trituración. El conjunto de excéntrica es el encargado de transmitir el movimiento al conjunto de contra eje, que a su vez transmite la energía al conjunto de piñón y eje principal para realizar la trituración.

La carcasa del chancador es una estructura de acero que protege los componentes internos del chancador y permite el acceso para el mantenimiento y reparación. La tolva de alimentación es la encargada de recibir el material que se va a triturar y distribuirlo de manera uniforme hacia la cavidad de trituración.

Cada uno de estos componentes debe ser revisado y mantenido periódicamente para garantizar un funcionamiento óptimo del chancador Nordberg serie HP 800. El mantenimiento preventivo es crucial para evitar fallas y reducir los costos de reparación y tiempo de inactividad. Además, el uso de piezas de repuesto originales y de alta calidad es esencial para garantizar una larga vida útil y un rendimiento confiable del equipo.

Componentes	Cantidad
Eje principal	1
Conjunto de la excéntrica	1
Excéntrica	1
Corona	1
Buje excéntrica	1
Conjunto de la cabeza (manto, cojinetes y perno seguridad)	1
Cabeza	1
Conjunto del tazón (coraza del tazón	1

	y tapa de ajuste)	
	Contra eje	1
	Seat liner bronce (plancha circular y full crum)	12 (6 c/u)
Main frame liner	4	

Tabla 1-2 Componentes de chancador HP 800 (Manual de instrucciones chancador Nordberg HP 800 Metso)

1.9.3 Pautas de mantención HP 800

Las pautas de mantenimiento son un conjunto de instrucciones detalladas y específicas que indican las acciones que deben realizarse en un equipo o sistema para mantenerlo en buen estado de funcionamiento. Estas pautas pueden incluir tareas de mantenimiento preventivo, correctivo o predictivo y se basan en las recomendaciones del fabricante, la experiencia del personal de mantenimiento y la normativa vigente.

Las pautas de mantenimiento suelen incluir información detallada sobre las tareas que deben realizarse, cómo realizarlas, la frecuencia de mantenimiento recomendada, los productos o herramientas necesarias, los procedimientos de seguridad a seguir y los resultados esperados. El objetivo de estas pautas es asegurar la disponibilidad y fiabilidad del equipo, evitar fallos imprevistos y prolongar la vida útil del mismo. (ver tabla 1-3)

Frecuencia	Tipo de mantención
Mensual	Inspección visual, revisión de sistema de lubricación y relleno cilindros de alivio.
1.500 hrs.	Revisión gap, revisión de grilla y engrase, Metrología de anillo clamping, anillo de ajuste, socket liner, limpieza de sellos U de excéntrica, revisión y limpieza monturines, centrado protección fija y cambio de coraza.
4.500 hrs.	Revisión y/o cambio laines de bronce, fulcrum, socket liner, main frame liner, conjunto excéntrica, bujes de bronce, eje principal, cilindros de fijación,
	Prueba tintas penetrantes a árbol principal, excéntrica y piñon contra

8.650 hrs.	eje, revisión y/o cambio sellos U o T, cambio main frame liner y refuerzos circulares, cambio laines bronce y fulcrum, cambio contra eje
------------	--

Tabla 1-3 Pautas de mantención HP 800

1.10 Aplicación metodología JACK KNIFE

El método de Jack knife es una técnica de análisis estadístico que se utiliza para evaluar la importancia relativa de diferentes variables en un conjunto de datos. Se basa en la idea de realizar una serie de análisis en los que se excluye uno de los puntos de datos a la vez, y se utiliza el resto de los datos para calcular una estadística de interés. Esta técnica se utiliza a menudo en la priorización de problemas de mantenimiento, donde se utiliza el tiempo promedio de reparación (MTTR) y el número de fallas asociadas al equipo para clasificar los problemas y los equipos según su importancia.

El método de Jackknife utiliza cuatro cuadrantes para clasificar los equipos según su importancia y prioridad de mantenimiento (ver figura 1-8). Estos cuadrantes son:

1. Cuadrante A: equipos de alta prioridad y alta importancia. Son aquellos equipos que tienen una alta tasa de fallas y un MTTR (tiempo promedio de reparación) largo, lo que significa que tienen un gran impacto en la producción y requieren una atención inmediata.
2. Cuadrante B: equipos de alta prioridad pero baja importancia. Son aquellos equipos que tienen una tasa de fallas alta, pero un MTTR corto. Aunque no tienen un impacto significativo en la producción, deben ser monitoreados y reparados con frecuencia para evitar un mayor deterioro.
3. Cuadrante C: equipos de baja prioridad pero alta importancia. Son aquellos equipos que tienen una tasa de fallas baja, pero un MTTR largo. Aunque no tienen una alta tasa de fallas, cuando fallan pueden causar un gran impacto en la producción. Por lo tanto, se deben monitorear y reparar regularmente para prevenir fallas graves.
4. Cuadrante D: equipos de baja prioridad y baja importancia. Son aquellos equipos que tienen una tasa de fallas baja y un MTTR corto. Aunque no tienen un gran impacto en la producción y no necesitan una atención inmediata, aún

deben ser monitoreados y reparados regularmente para mantener su buen funcionamiento y prolongar su vida útil.

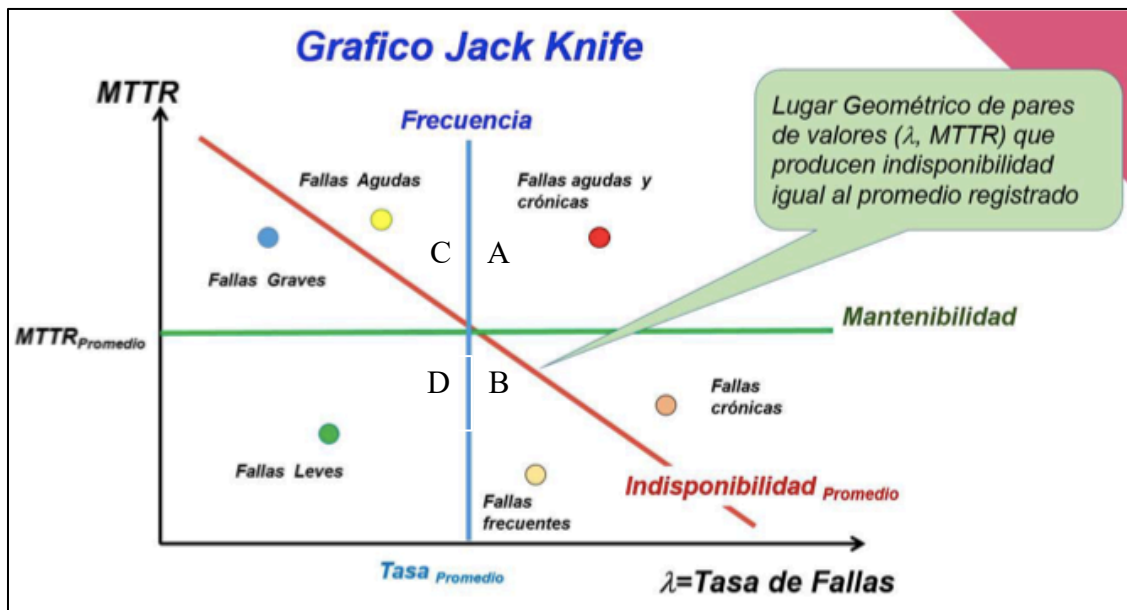


Figura 1-18: Ejemplo cuadrante Jack Knife (Peter F. Knights).

Los cuadrantes de Jackknife se forman a partir de dos límites: el límite de tiempo promedio de reparación (MTTR) y el límite de número de detenciones. Estos límites pueden ser establecidos por criterios definidos por el área de mantenimiento o mediante cálculos basados en magnitudes relativas. Una aproximación común para determinar estos valores relativos es utilizar promedios como los siguientes:

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo total de falla}}{N^{\circ} \text{ de detenciones}}$$

$$\text{Limite MTTR} = \frac{\Sigma \text{Tiempo total de falla}}{\Sigma N^{\circ} \text{ de detenciones}}$$

$$\text{Límite } N^{\circ} \text{ detenciones} = \frac{\Sigma N^{\circ} \text{ detenciones}}{\text{Cantidad modos de falla}}$$

Una vez que se han establecido los parámetros mencionados anteriormente, se pueden determinar los límites correspondientes.

1.11 Aplicación Jack Knife

Para continuar con la creación del diagrama de Jack Knife, se necesita utilizar una tabla adicional llamada "Down Time" (ver ANEXO A), la cual contiene una serie de tiempos de detención organizados de mayor a menor duración, seguidos de estimaciones fraccionarias para representar las curvas de iso-indisponibilidad en el gráfico. Una vez obtenida esta información, se aplica una escala logarítmica para crear el Diagrama de Jack Knife con las curvas de Down Time o iso-indisponibilidad (ver Figura 1.19).

Clasificación de Fallas	Cantidad de Fallas N	MTTR (h)	Límite de la cantidad de Fallas	Límite MTTR
Coraza	2	6,5	4,11	8,39
Clamping	7	3	4,11	8,39
Correas transmisión	2	2,5	4,11	8,39
Motores hidráulicos	3	1,5	4,11	8,39
Contra eje	1	24	4,11	8,39
Motor eléctrico	1	8,5	4,11	8,39
Main Frame Liner	13	20	4,11	8,39
Sistema hidráulico	6	1,5	4,11	8,39
Sellos T y U	2	8	4,11	8,39
13				

Tabla 1-4: Clasificación de fallas componentes HP 800, (elaboración propia).

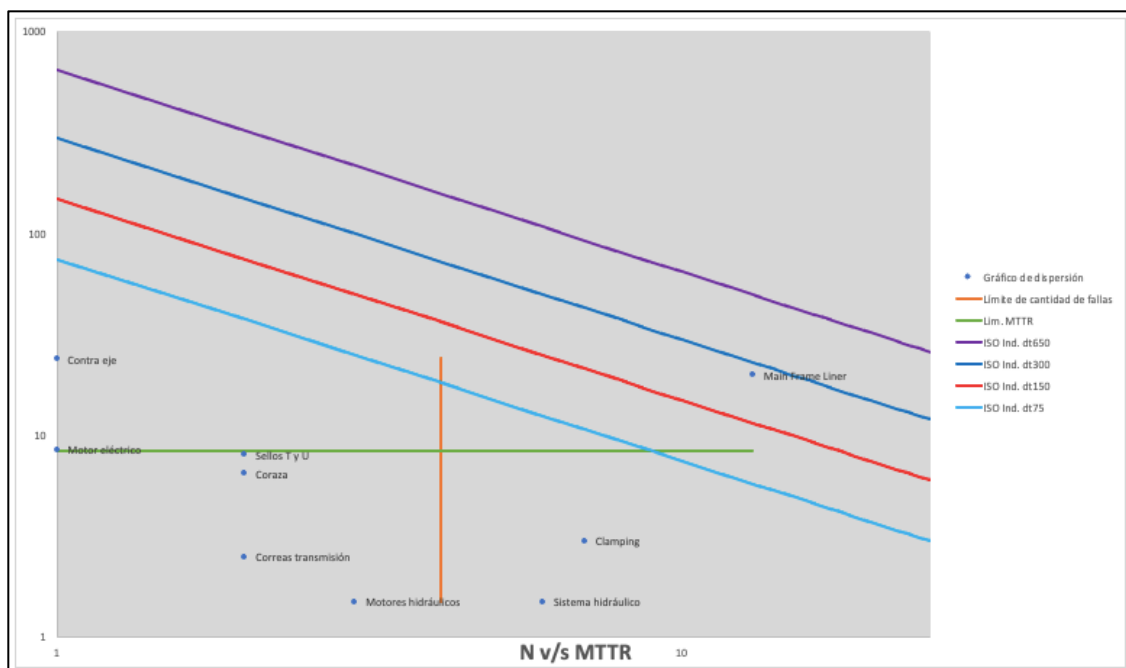


Figura 1-19: Diagrama Jack Knife, (elaboración propia).

Al examinar los resultados obtenidos, se observa que el componente Main Frame Liner se ubica en el cuadrante superior derecho del gráfico de Jack Knife, lo que indica que se trata de un problema crónico-agudo. Esto sugiere que se debe dar prioridad a revisar este componente, ya que es el más crítico. Por lo tanto, es necesario llevar a cabo un análisis más detallado utilizando la metodología RCM para comparar los resultados y poder determinar la mejor solución al componente detectado.

CAPITULO 2: JERARQUIZACIÓN DE COMPONENTES CHANCADOR HP
800 MEDIANTE RCM

2 ANÁLISIS RCM

2.1 RCM

RCM son las siglas de Reliability Centered Maintenance, que en español se traduce como Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad. Es una metodología de gestión de mantenimiento utilizada en ingeniería y en la industria, que busca asegurar que los equipos y sistemas críticos operen de manera confiable y segura, minimizando los costos asociados con el mantenimiento y maximizando el tiempo de disponibilidad. El RCM se basa en el análisis de las funciones y modos de falla de los equipos, y en la identificación de las tareas de mantenimiento más adecuadas para prevenir o mitigar dichas fallas.

Los pasos de la metodología RCM incluyen:

- Identificación de las funciones del equipo.
- Identificación de los modos de falla que pueden impedir el cumplimiento de esas funciones.
- Evaluación de los efectos de los modos de falla y de los mecanismos que los causan.
- Selección de las estrategias de mantenimiento adecuadas para cada modo de falla.
- Desarrollo del plan de mantenimiento.

El RCM es un enfoque analítico que estudia cómo cada sistema puede fallar en su función y clasifica los efectos de esas fallas según su impacto en la seguridad, medio ambiente, operación y costo. El objetivo principal del RCM es mantener la función que realizan los equipos en su contexto operacional actual, en lugar de buscar tener los equipos en condiciones como si fueran nuevos. Es importante conocer las condiciones en las que se realiza la función de los equipos y las condiciones que pueden interrumpirla o dificultarla. En la figura 2.1 se presentan los pasos necesarios para realizar un análisis RCM.

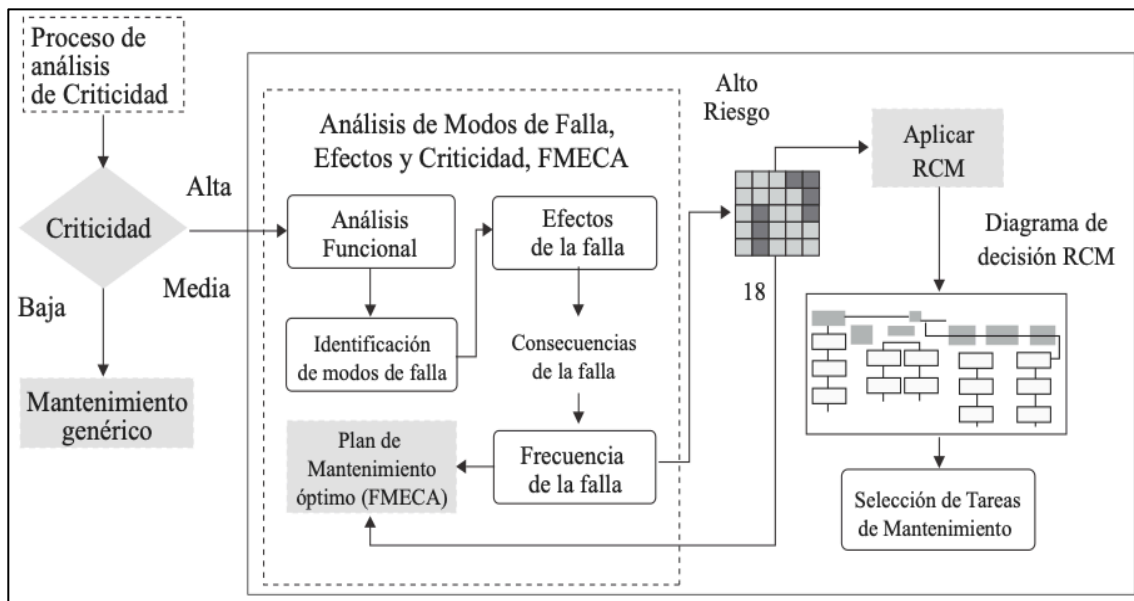


Figura 2-1: Proceso RCM. (Aguilar-Otero, José R.; Torres-Arcique, Rocío; Magaña-Jiménez, Diana, 2010.)

2.1.2 Clasificación de las consecuencias RCM

Las consecuencias de las fallas en RCM se clasifican en cuatro categorías principales, que son:

1. **Seguridad:** Se refiere a la posibilidad de lesiones personales, daños al medio ambiente, daños a la propiedad, incendios, explosiones, etc. Esta categoría es de la mayor importancia, ya que la seguridad es primordial en cualquier operación.
2. **Medio ambiente:** Se refiere a la contaminación del aire, agua y tierra. Esta categoría es importante para garantizar la protección del medio ambiente y cumplir con las regulaciones ambientales.
3. **Operación:** Se refiere a la interrupción del proceso de producción, la pérdida de producción, la disminución de la eficiencia, la disminución de la calidad del producto, etc. Esta categoría es importante para garantizar la continuidad de la operación y mantener la rentabilidad.
4. **Costo:** Se refiere a los costos directos e indirectos asociados con la falla, como los costos de reparación, los costos de tiempo de inactividad, los costos de reemplazo de piezas, los costos de mano de obra, los costos de desperdicio, etc. Esta categoría es importante para garantizar la eficiencia y la rentabilidad.

Si una falla puede tener impactos importantes en cualquiera de estas categorías, es crucial tomar medidas preventivas. Sin embargo, si las consecuencias no son significativas, entonces no es necesario realizar un mantenimiento sistemático, más allá de las actividades básicas de lubricación y servicio.

En esta fase del proceso RCM, resulta fundamental cuestionar si cada falla potencial tiene consecuencias importantes. En caso contrario, la decisión típica es realizar un mantenimiento no sistemático que involucre solo rutinas básicas de lubricación y servicio. Sin embargo, si las consecuencias son significativas, el siguiente paso es determinar qué tareas sistemáticas (si las hay) deben ser realizadas. Es importante tener en cuenta que la selección de la tarea no puede ser considerada de manera significativa sin primero evaluar el modo de falla y su efecto en la elección de los diferentes métodos de prevención.

2.1.3 Diagrama flujo RCM

La figura 2-2 representa la primera fase del proceso RCM, la cual involucra la identificación del sistema, la definición de las funciones, las fallas y los modos de falla, así como la evaluación de las consecuencias de dichas fallas.

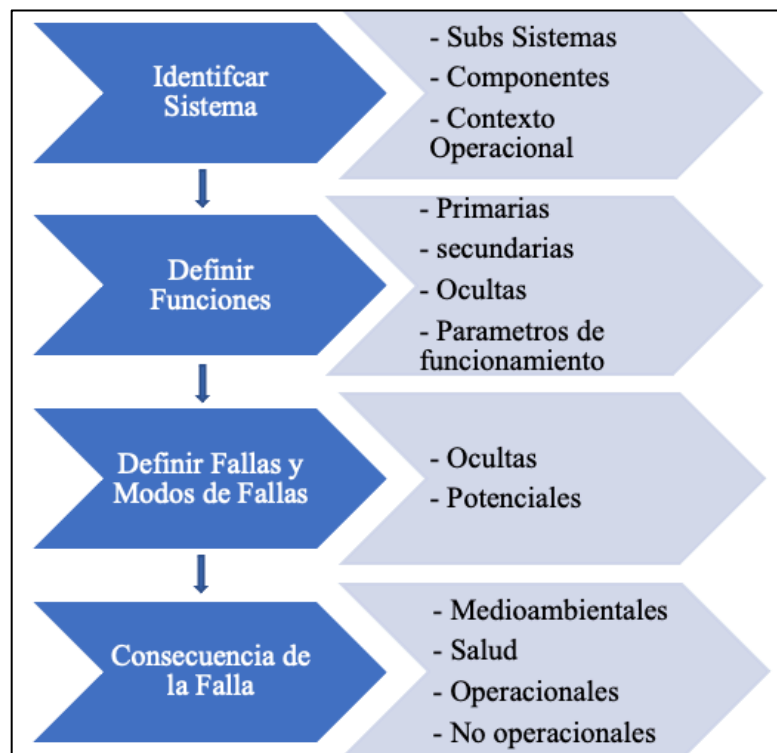


Figura 2-2: Diagrama flujo RCM. (Pérez, 1997).

2.1.4 Beneficios del RCM

El RCM logra varios objetivos y beneficios, entre ellos se encuentran: optimización de los planes de mantenimiento, reducción de costos de mantenimiento, aumento de la disponibilidad y confiabilidad de los equipos, mejora en la seguridad y en la eficiencia operativa, aumento de la vida útil de los equipos, mejor gestión de los recursos humanos y materiales, toma de decisiones basadas en datos y análisis, identificación y priorización de las tareas de mantenimiento críticas, y mejora en la seguridad e integridad ambiental mediante la revisión sistemática de las consecuencias de cada falla antes de considerar la cuestión operacional y la prevención de modos de falla que puedan afectar la seguridad. Además, el RCM ayuda a reducir las fallas causadas por un mantenimiento innecesario.

2.2 Aplicación del RCM

Para identificar el componente más crítico dentro del chancador HP 800 y poder corroborar la información obtenida con la metodología Jack Knife, se procederá a realizar un análisis de criticidad, de los cuales se evalúan 5 aspectos principales:

- Daños al personal
- Impacto ambiental
- Impacto a la producción
- Costo de reparación
- Tiempo promedio de reparación

Cada aspecto a evaluar posee una tabla con escala de ponderación (ver tabla 2-1), la cual dependiendo del rango en que se encuentre se le asignara un valor dando como resultado el componente más crítico (ver tabla 2-2).

Factor de Frecuencia de Fallos (FF) (escala 1 - 4)	
4	Frecuente: mayor a 2 eventos al año
3	Promedio: 1 y 2 eventos al año
2	Bueno: entre 0,5 y 1 evento al año
1	Excelente: menos de 0,5 eventos al año
Impacto Operacional (IO) (escala 1 - 10)	
10	Pérdidas de producción superiores al 75%
7	Pérdidas de producción entre 50% y el 74%
5	Pérdidas de producción entre 25% y el 49%
3	Pérdidas de producción entre 10% y el 24%
1	Pérdidas de producción menor al 10%
Impacto por Flexibilidad Operacional (FO) (escala 1 - 4)	
4	No se cuenta con unidades de reserva para cubrir la producción, tiempos de reparación y logística muy grandes
2	Se cuenta con unidades de reserva que logran cubrir de forma parcial el impacto de producción, tiempos de reparación y logísticas intermedias
1	Se cuenta con unidades de reserva en línea, tiempos de reparación y logística pequeños
Impacto en Costes de Mantenimiento (CM) (escala 1 - 2)	
2	Costes de reparación, materiales y mano de obra superiores a 20.000 dólares
1	Costes de reparación, materiales y mano de obra inferiores a 20.000 dólares
Impacto en Seguridad, Higiene y Ambiente (SHA) (escala 1 - 8)	
8	Riesgo alto de pérdida de vida, daños graves a la salud del personal y/o incidente ambiental mayor (catastrófico) que exceden los límites permitidos.
6	Riesgo medio de pérdida de vida, daños importantes a la salud y/o incidente ambiental de difícil restauración
3	Riesgo mínimo de pérdida de vida y afección a la salud (recuperable en el corto plazo) y/o incidente ambiental menor (controlable), derrame fáciles de contener y fugas repetitivas.
1	No existe ningún riesgo de pérdidas de vida, ni afección a la salud, ni daños ambientales.

Tabla 2-1: Ponderaciones para análisis de criticidad.

Con lo cual se obtienen la siguiente información:

		Frecuencia de fallo	Impacto operacional	Impacto flexibilidad operacional	Impacto costes mantenimiento	Impacto en seguridad, higiene y ambiental	Consecuencia	Criticidad Total Riesgo
Item	Componentes	FF	IO	FO	CM	SHA	C	CTR
1	Coraza	3	1	1	1	1	3	9
2	Clamping	4	1	1	1	1	3	12
3	Correas transmisión	3	1	1	1	1	3	9
4	Motores hidráulicos	3	1	1	1	3	5	15
5	Contra eje	2	5	4	2	1	23	46
6	Motor eléctrico	1	7	2	1	1	16	16
7	Main frame liner	4	7	4	2	1	31	124
8	Sistema hidráulico	4	3	1	1	3	7	28
9	Sellot Ty U	3	1	1	1	1	3	9

Tabla 2-2: Resultado análisis criticidad, (elaboración propia).

Para calcular el puntaje total se realiza la multiplicación del valor de la frecuencia (Fr) por el valor correspondiente de cada tipo de parámetro, y se van sumando. Los criterios para la elección de los valores de frecuencia e impacto están detallados en el Anexo 2, referido al análisis de criticidad. Al analizar los resultados obtenidos, se concluye que el “Main Frame Liner” es el componente más crítico en el periodo considerado.

2.2.1 Registro de información de RCM

La implementación del RCM implica la generación de una hoja de análisis, utilizando la información obtenida del FMECA. Esta hoja se divide en cuatro columnas que registran la descripción de las funciones, las fallas funcionales, los modos de falla y las consecuencias de la falla (ver Figura 2-3). La prioridad de las funciones se establece y se enumeran en orden de importancia. Las funciones y modos de falla se registran con números mientras que las fallas funcionales se registran mediante letras. De esta manera, se obtiene una herramienta visual para el análisis sistemático de las fallas, lo que facilita la identificación de tareas de mantenimiento preventivo que deben ser implementadas para mejorar la confiabilidad y seguridad del equipo.

RCM - HOJA DE INFORMACIÓN	SISTEMA			
	SUBSISTEMA			
FUNCIÓN PRINCIPAL	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFFECTO DE FALLA	CONSECUENCIA DE FALLA

Figura 2-3: Estructura Hoja de Información RCM, (elaboración propia).

2.2.1 Formato de decisión de RCM

La Hoja de Decisión de RCM es una herramienta que ayuda a los equipos de mantenimiento a tomar decisiones basadas en datos y análisis para establecer planes de mantenimiento óptimos. Esta hoja se divide en dieciséis columnas (ver Figura 2-4), las cuales permiten correlacionar las referencias entre las hojas de información y las hojas de decisión.

Las columnas F, FF y MF se relacionan directamente con la hoja de información RCM. La columna F se refiere al número de función de la hoja de información, la columna FF

se refiere a la falla funcional de la hoja de información y la columna MF se refiere al modo de falla de la hoja de información.

Las columnas restantes se utilizan para tomar decisiones sobre la tarea de mantenimiento más apropiada para cada función y modo de falla. Estas decisiones se basan en la evaluación de diferentes factores, como el tipo de tarea de mantenimiento, la frecuencia de ejecución, la probabilidad y la severidad de la falla, entre otros.

En resumen, la Hoja de Decisión de RCM es una herramienta crucial para establecer planes de mantenimiento óptimos basados en datos y análisis, lo que se traduce en una mayor eficiencia y confiabilidad de los equipos.

RCM - HOJA DE DECISIONES								SISTEMA:				Facilitador:				Fecha					
								SUBSISTEMA:				Auditor:				Hoja 1 de 1					
REFERENCIA DE HOJA DE INFORMACIÓN			EVALUACION DE CONSECUENCIA (DIAGRAMA DE DECISION)				H1	H2	H3	ACCIÓN A FALTA DE				TAREA PROPUESTA				FRECUENCIA		A REALIZARSE POR	
							S1	S2	S3												
							O1	O2	O3												
							F	FF	MF	H	S	E	O								

Figura 2-4: Hoja de decisión RCM, (elaboración propia).

2.2.2 Árbol de decisiones

El diagrama de decisión en RCM, también conocido como árbol de decisiones, es una herramienta visual utilizada para determinar la estrategia de mantenimiento más adecuada para un sistema o equipo. Este diagrama se basa en la evaluación de los diferentes modos de falla y sus consecuencias para seleccionar la tarea de mantenimiento más apropiada.

En un diagrama de decisión típico de RCM, se comienza con una pregunta principal, como "¿La falla es detectable antes de que cause una falla funcional?", y luego se crean diferentes ramas de decisión en función de las respuestas a esa pregunta. Cada rama del árbol representa una posible acción de mantenimiento que se puede tomar para prevenir la falla (ver Figura 2-5).

Por ejemplo, si la respuesta a la pregunta principal es "Sí", se puede seguir una rama que lleve a la pregunta "¿Se puede prevenir la falla mediante mantenimiento preventivo?". Si la respuesta a esa pregunta es "Sí", se puede seguir otra rama que lleve a la tarea de mantenimiento preventivo más apropiada, como la inspección visual o el

reemplazo de una pieza. Si la respuesta a esa pregunta es "No", se puede seguir otra rama que lleve a una tarea de mantenimiento correctivo, como la reparación o el reemplazo de la pieza.

En resumen, el diagrama de decisión en RCM es una herramienta útil para evaluar las diferentes opciones de mantenimiento y seleccionar la más adecuada en función de los modos de falla y las consecuencias identificadas durante el proceso RCM.

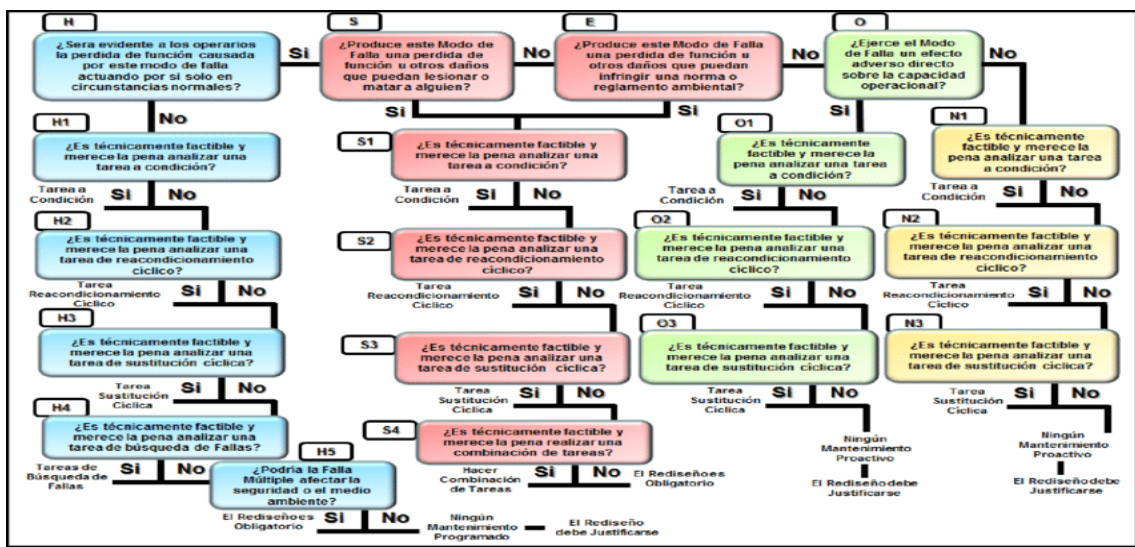


Figura 2-5: Árbol lógico de decisión para categorización de consecuencias (Fuente: Estándar SAE JA1011 (SAE 2009) [xxv]).

2.3 Resultado análisis RCM chancador HP 800

RCM - HOJA DE INFORMACIÓN		SISTEMA	CHANCADOR HP 800		
		SUBSISTEMA	MAIN FRAME LINER		
FUNCIÓN PRINCIPAL	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA	CONSECUENCIA DE FALLA	
Proteger el	A. Capacidad reducida de	1. Impacto de mineral en main	Desgaste de Main	Desgaste del cuerpo principal del chancador, disminuyendo	

1	main frame y prolongar su vida útil, resistiendo la abrasión y el desgaste producido por el material triturado.	proteger el Main Frame.	frame liner	Frame	su espesor y pudiendo llegar a provocar una fractura del cuerpo.
		B. Incapacidad de funcionamiento chancador.	2. Impacto de mineral en main frame liner	Trabamien to del chancador, rotura de chute traspaso y/o correa transporta dora	Detención completa de la línea para reparación y/o cambio de elementos (detención mayor)

Tabla 2-3: Hoja de información RCM: Main Frame liner, (Elaboración propia).

Después de llevar a cabo un análisis exhaustivo de la hoja de registro, se han identificado dos fallos funcionales significativos en el sistema. En primer lugar, se ha detectado una reducción en la protección del main frame, lo que representa un riesgo importante para el funcionamiento del equipo. Además, se ha observado que el desprendimiento o la rotura del main frame liner puede dar lugar a la detención completa del equipo.

En vista de estos problemas, se hace necesario desarrollar un árbol de decisiones que permita evaluar los diferentes cursos de acción que pueden tomarse para abordar esta problemática.

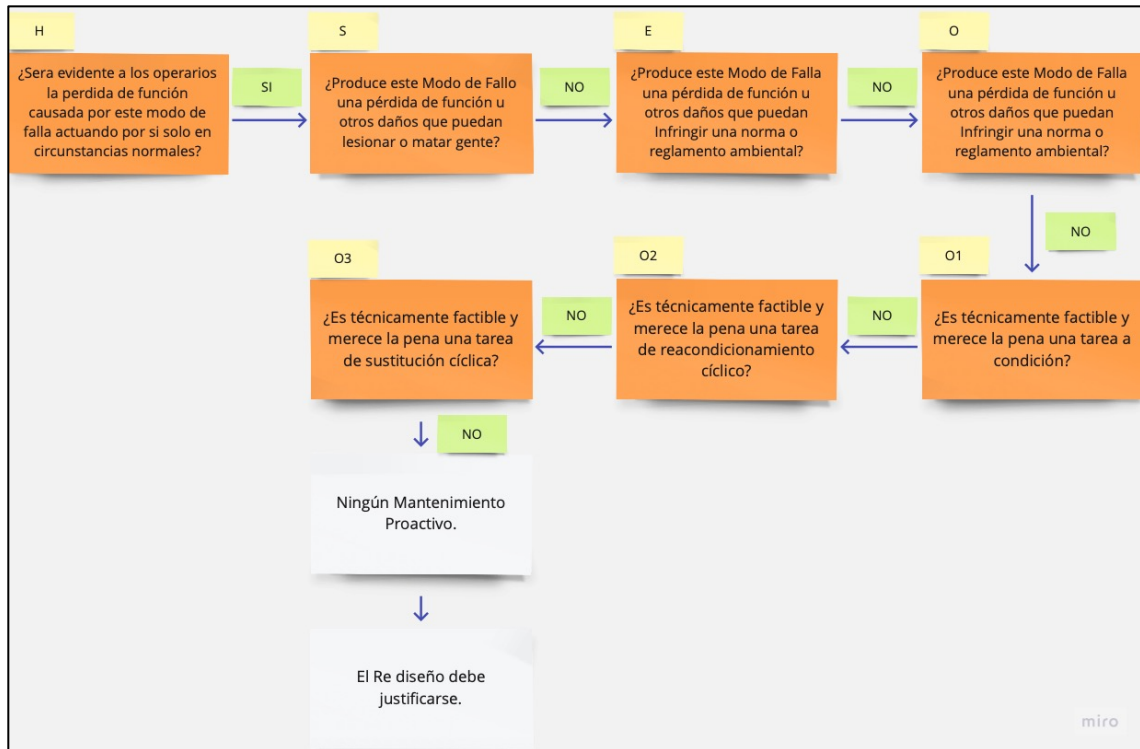


Figura 2-6: Árbol lógico de decisión Main Frame Liners, (Elaboración propia).

RCM - HOJA DE DECISIONES						SISTEMA: Chancador HP 800			Facilitador:		Fecha	
						SUBSISTEMA: Main frame liner			Auditor:		Hoja 1 de 1	
REFERENCIA DE HOJA DE INFORMACIÓN	EVALUACION DE CONSECUENCIA (DIAGRAMA DE DECISION)					H1	H2	H3	ACCIÓN A FALTA DE	TAREA PROPUESTA	FRECUENCIA	A REALIZARSE POR
						S1	S2	S3				
						O1	O2	O3				
F	FF	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4	

1	A	N	N	N	S	N	N	N				Realizar un rediseño del material del main frame liner ya que no está cumpliendo con la vida útil		
1	B	N	N	N	S	N	N	N				estipulada, logrando mejorar la vida útil y disminución de fallas y detenciones no programadas.		Personal Dand, Simenes y Proveedor Recsol.

Tabla 2-4: Hoja de decisiones RCM: Main Frame Liner. (Elaboración propia).

Después de realizar el análisis de la hoja de registro, se identificaron dos fallas funcionales importantes en el sistema, lo que llevó a desarrollar un árbol de decisiones para evaluar las diferentes opciones para abordar la problemática. Luego de evaluar las opciones, se determinó que la mejor solución era el rediseño del main frame liner para mejorar su durabilidad y protección. La implementación de esta solución requerirá la colaboración de un equipo multidisciplinario (DAND y E.E.C.C.) y una evaluación exhaustiva de su viabilidad técnica y económica, pero permitirá mejorar la eficiencia y vida útil del equipo, lo que se traducirá en beneficios para la organización.

CAPITULO 3: APLICACIÓN DE PROPUESTAS Y COSTOS

3 Propuesta de mejora

En base a los resultados obtenidos mediante las metodologías de Jack Knife y RCM, se comprobó que el componente más crítico del chancador HP 800 son las planchas circulares “Main Frame Liner”, y según el árbol de decisiones, se determina que la mejor opción es el rediseño del componente puesto que este no está cumpliendo con su función principal ni su vida útil, generando detenciones no programadas y disminución de la disponibilidad mínima de la planta. Este análisis puede ayudar a identificar áreas de mejora en la selección de materiales y diseño de los liners para aumentar su vida útil y reducir los costos de mantenimiento.

3.1 Main frame Liners actuales

Los main frame liners del chancador HP 800 están fabricados con un material T500 (ver tabla 3-1) y refuerzos circulares de Ford Steel bimetálicos (ver tabla 3-1) (ver imagen 3-1). Sin embargo, su duración aproximada es de solo 6 meses, lo que indica que tienen una vida útil relativamente corta. Además, su espesor original es de 15 mm y se realiza un cambio cuando el desgaste es menor a 5 mm, lo que sugiere que experimentan un desgaste significativo en un corto período de tiempo.



Figura 3-1: Main frame liners T500, (registro personal).

3.1.1 Alcance

Se solicita por parte de DAND información sobre porcentajes de aleación a proveedor, tanto del acero T-500 como del wearalloy super-clad steel plate, obteniendo solamente sus durezas y componentes de aleación.

3.1.2 Información Acero T-500

El acero Chronit T-1 500 es un tipo de acero de alta resistencia y baja aleación que se utiliza comúnmente en aplicaciones de desgaste y abrasión, como en la fabricación de revestimientos y placas de desgaste para maquinaria pesada en la minería y la construcción. Algunas de sus características incluyen:

- Alta dureza y resistencia a la abrasión
- Buena resistencia a la fatiga y al impacto
- Buena soldabilidad
- Buena tenacidad y ductilidad

El Chronit T-1 500 es conocido por su durabilidad y resistencia al desgaste en condiciones de alto estrés, lo que lo hace ideal para entornos de trabajo difíciles donde otros materiales pueden fallar. Sin embargo, su alta dureza también lo hace más difícil de mecanizar y trabajar, lo que puede aumentar los costos de producción y fabricación.

ACERO T - 500							
Características				CRHONIT T 500			
Dureza				450 - 530 HB			
TIPO DE ALEACIÓN							
Carbono (C)	Silicio (Si)	Magnesio (Mg)	Níquel (Ni)	Cromo (Cr)	Vanadio (V)	Niobio (Nb)	Boro (B)

Tabla 3-1: Características Acero T 500. Fuente: Böhler.

3.1.3 Información Ford Steel bimetalico

WEARALLOY SUPER-CLAD Steel Plate es un producto fabricado por la empresa Ford Steel. Este producto es una placa de acero resistente al desgaste que se utiliza para proteger equipos y maquinarias de daños por abrasión, impacto y desgaste.

Está fabricado con acero de alta calidad y está recubierto con una capa de aleación de carburo de cromo.

Algunas de las características (ver tabla 3-2) del WEARALLOY SUPER-CLAD Steel Plate son:

- Alta resistencia al desgaste y abrasión
- Excelente resistencia al impacto y a la fatiga
- Alta dureza y tenacidad
- Buena soldabilidad y maquinabilidad
- Disponible en diferentes tamaños y espesores para adaptarse a diferentes aplicaciones

WEARALLOY SUPER-CLAD Steel Plate se utiliza comúnmente en la industria minera, de la construcción, de la agricultura, de la energía y de la fundición, entre otras. Se utiliza para proteger equipos como cuchillas, baldes, tolvas, trituradoras, molinos y otras maquinarias que están expuestas a condiciones de alto desgaste y abrasión.

FORD STEEL BIMETÁLICA							
Características					WEARALLOY		
					SUPER-CLAD		
Dureza					Steel Plate		
600 HB							
Tipo de Aleación							
Carbono (C)	Magnesio (Mg)	Cromo (Cr)	Azufre (S)	Fosforo (P)	Molibdeno (Mo)	Boro (B)	Silicio (Si)

Tabla 3-2: Características refuerzo acero Ford Steel bimetálica, (fordsteel.com).

3.1.4 Duración actual Main Frame Liners

En base a los análisis realizados, se da comienzo a un plan de seguimiento cada 600, 1200 y 1800 hrs de funcionamiento de las main frame liners actuales mediante medición de espesor para verificar el desgaste promedio de este componente y así generar una proyección de desgaste y evaluar la mejor alternativa de re cambio.

La medición se realizara en las 4 planchas circulares main frame liners instaladas en el chancador HP 800, en donde se tomarán 4 mediciones por plancha (ver figura 3-2) mediante un medidor de espesor marca Ultrasonic Thickness Gauge, modelo TT100 (ver imagen 3-3).

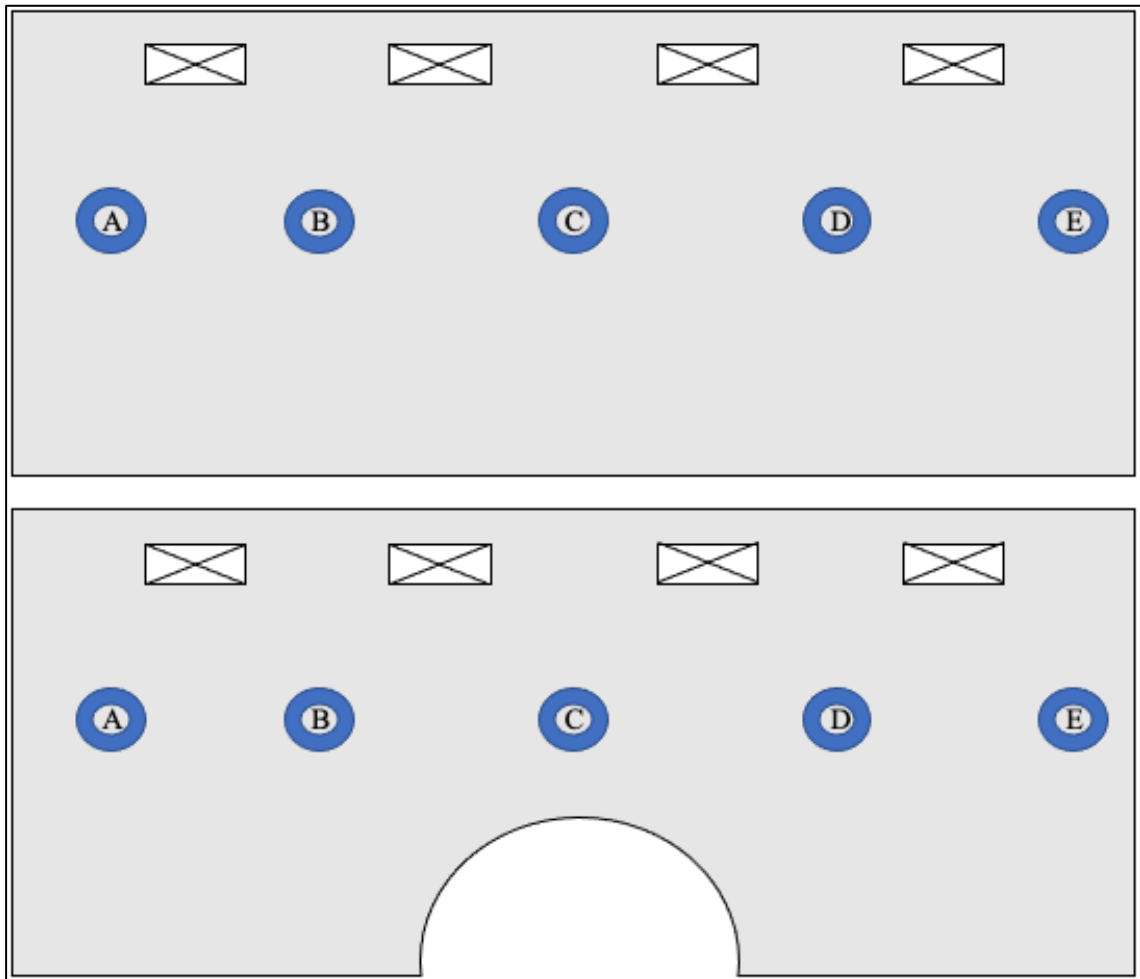


Figura 3-2: Ubicación puntos de medición en main frame liners, (Elaboración propia).



Figura 3-3: Ultrasonic Thickness Gauge, modelo TT100, (www.meldic.cl).

A continuación se muestran las tablas con las mediciones de espesores obtenidas a las 600 horas, 1200 horas y 1800 horas de funcionamiento del chancador, dando los siguientes valores:

MEDICIÓN DESGASTE MAIN FRAME LINER BIMETÁLICAS				
600 HRS	PLACA N° 1	PLACA N° 2	PLACA N° 3	PLACA N° 4
Medición punto A (mm)	14,1	14,3	14,3	14,3
Medición punto B (mm)	14,2	14,3	14,4	14,3
Medición punto C (mm)	14,2	14,3	14,5	14,5
Medición punto D (mm)	14,2	14,4	14,4	14,6
Medición punto E (mm)	14,4	14,5	14,4	14,3

Tabla 3-3: Medición de desgaste planchas main frame liners a las 600 hrs de funcionamiento, (elaboración propia).

MEDICIÓN DESGASTE MAIN FRAME LINER BIMETÁLICAS				
1200 HRS	PLACA N° 1	PLACA N° 2	PLACA N° 3	PLACA N° 4
Medición punto A (mm)	12,8	12,3	12,4	12,2
Medición punto B (mm)	12,6	12,5	12,4	12,3
Medición punto C (mm)	12,6	12,5	12,3	12,3
Medición punto D (mm)	12,5	12,5	12,2	12,4
Medición punto E (mm)	12,6	12,5	12,5	12,4

Tabla 3-4: Medición de desgaste planchas main frame liners a las 1200 hrs de funcionamiento, (elaboración propia).

MEDICIÓN DESGASTE MAIN FRAME LINER BIMETÁLICAS				
1800 HRS	PLACA N° 1	PLACA N° 2	PLACA N° 3	PLACA N° 4
Medición punto A (mm)	9,3	9,2	9,8	9,4
Medición punto B (mm)	9,4	9,1	9,4	9,5
Medición punto C (mm)	9,2	9,3	9,9	9,6
Medición punto D (mm)	9,4	9,5	9,5	9,4

Medición punto E (mm)	9,1	9,2	9,2	9,2
--------------------------	-----	-----	-----	-----

Tabla 3-5: Medición de desgaste planchas main frame liners a las 1800 hrs de funcionamiento, (elaboración propia).

3.1.5 Proyección y resultados

Con los datos obtenidos se procede a realizar una proyección de desgaste para analizar si los main frame liner cumplirán con la vida útil estipulada, en donde se realizó un promedio por cada tabla de los datos recopilados, obteniendo el siguiente resultado (ver Gráfico 3-1):

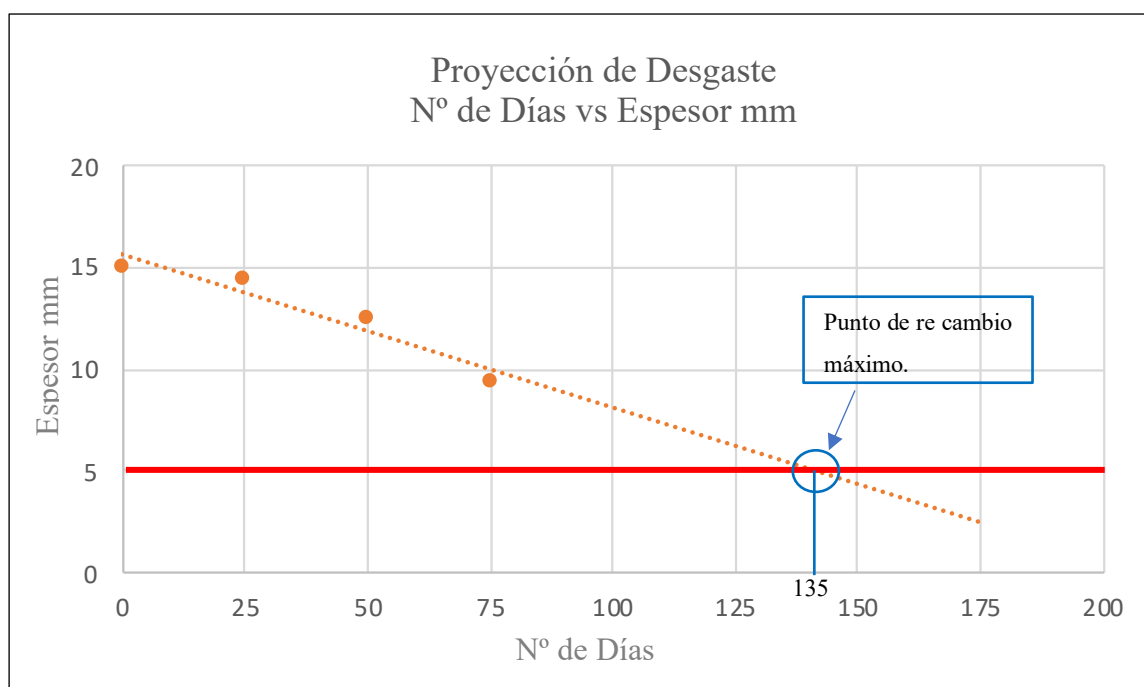


Gráfico 3-1: Proyección de desgaste main frame liners, (elaboración propia).

El análisis del gráfico de medición de espesor de los main frame liners ha permitido llegar a una importante conclusión acerca de la vida útil de estos componentes. En concreto, se ha determinado que su duración se limitará a 135 días, lo que equivale a tan solo 4,5 meses, una cifra que se encuentra muy por debajo del tiempo estimado de diseño de 183 días o 6 meses.

Esta conclusión puede resultar preocupante para la eficiencia y la productividad de las operaciones, dado que una reducción significativa en la duración de los main frame

liners puede provocar una mayor frecuencia de reemplazo y reparación de los mismos, lo que a su vez implica un mayor costo en términos de tiempo y recursos.

3.2 Propuesta Main frame liners bimetálicos

Teniendo en cuenta los resultados del análisis previo que demuestran que la duración prevista de los main frame liners T500 no se cumple, se hace necesaria una acción correctiva para evitar interrupciones en la operación de los equipos. Una solución propuesta es realizar un rediseño de los materiales utilizado en la construcción de los liners.

Este rediseño debe enfocarse en mantener la misma estructura y medidas de los liners actuales, pero con la utilización de materiales de mayor calidad y resistencia a la abrasión. Se puede considerar la implementación de materiales bimetálicos completos, ya que cuentan con una capa superior de acero con un bajo nivel de cromo y magnesio, formado por cordones de soldadura a lo largo de toda la plancha, lo que permite que su resistencia al desgaste sea mayor, y una capa inferior de acero al carbono que proporciona soporte estructural y facilidad en la instalación.

Además, se debe tener en cuenta que el espesor del liner también puede influir en su duración y resistencia al desgaste. Se puede considerar el aumento del espesor del liner para prolongar su vida útil.

Con este rediseño, se espera una disminución en la frecuencia de cambio de los liners, y un aumento en la disponibilidad del equipo, lo que se traduce en una disminución en los costos de mantenimiento y una mayor eficiencia en la operación de la planta.

3.2.1 Información composición main frame liners Recsol

La propuesta de main frame liner bimetálicos entregado por la empresa Recsol presenta una composición química y física muy interesante para su utilización en la industria. En cuanto a su composición química, se destaca la presencia de una capa cordones de soldadura de acero resistente al desgaste y una capa base de acero de alta calidad. Además, se incluyen elementos como cromo y manganeso, los cuales mejoran la resistencia al desgaste y la dureza del material.

Por otro lado, la composición física del main frame liner bimetálicos también es relevante. En este caso, se trata de un material con una dureza que oscila entre los 60 y 65 HRC, con un espesor de 20 +/- 2 mm, lo cual lo hace altamente resistente a la abrasión y el desgaste (ver Tabla 3-6).

Es importante destacar que la utilización de este tipo de materiales bimetálicos en la fabricación de main frame liners ha demostrado ser altamente efectiva en la industria, permitiendo reducir los costos de mantenimiento y aumentar la disponibilidad de los equipos. Asimismo, su alta resistencia al desgaste y la abrasión los hacen ideales para ser utilizados en condiciones extremas y de alta exigencia.

ACERO BIMETÁLICO RECSOL			
Características		Acero bimetálico	
Dureza		652 HB	
Tipo de Aleación			
Carbono (C) 4-5%	Manganeso (Mn) 2-3%	Cromo (Cr) 28-30%	Boro (B) 1-2%

Tabla 3-6: Características acero bimetálico Recsol, (recsol.cl).

3.2.2 Proyección de durabilidad (prueba)

La instalación de la plancha main frame liner bimetálica Recsol es un paso importante en la evaluación de su durabilidad en el equipo. La colaboración entre el personal de DAND, Recsol y Siemens asegura que la instalación se realiza de manera adecuada y se toman todas las medidas necesarias para garantizar una medición precisa de la durabilidad del nuevo material.

La figura 3-3 proporciona una vista detallada de la plancha main frame liner bimetálica Recsol. Como se puede observar, esta plancha está compuesta por dos capas diferentes de materiales, cada una con diferentes propiedades y funciones. La capa exterior está hecha de un acero resistente al desgaste, mientras que la capa interior está hecha de un material más suave y resistente al impacto. La combinación de estos materiales asegura una mayor durabilidad y resistencia a la fatiga y el desgaste en comparación con los main frame liners T500 actuales.

La instalación de la plancha main frame liner bimetálica Recsol permitirá la realización de una proyección de durabilidad más precisa y confiable para este nuevo material. De esta manera, se podrá determinar si este material cumple con los requisitos de durabilidad y resistencia necesarios para su uso en los equipos de la mina.



Figura 3-3: Montaje main frame liner bimetálica Recsol, (registro personal).

Con los datos obtenidos, tal como se muestran en las siguientes tablas (ver Tablas 3-7, 3-8, 3-9), se realiza la proyección de durabilidad del nuevo componente instalado en el chancador HP 800.

MEDICIÓN DESGASTE MAIN FRAME LINER BIMETÁLICAS RECSOL	
1200 HRS	PLACA PRUEBA
Medición punto A (mm)	20,8
Medición punto B (mm)	20,8
Medición	

punto C (mm)	20,8
Medición punto D (mm)	20,8
Medición punto E (mm)	21,6

Tabla 3-7: Medición de desgaste planchas main frame liners Recsol a las 1200 hrs de funcionamiento, (elaboración propia).

MEDICIÓN DESGASTE MAIN FRAME LINER BIMETÁLICAS RECSOL	
4500 HRS	PLACA PRUEBA
Medición punto A (mm)	20,5
Medición punto B (mm)	20,3
Medición punto C (mm)	20,0
Medición punto D (mm)	20,5
Medición punto E (mm)	21,3

Tabla 3-8: Medición de desgaste planchas main frame liners Recsol a las 4500 hrs de funcionamiento, (elaboración propia).

MEDICIÓN DESGASTE MAIN FRAME LINER BIMETÁLICAS RECSOL	
5500 HRS	PLACA PRUEBA
Medición punto A (mm)	19,6
Medición punto B (mm)	19,4
Medición punto C (mm)	19,5
Medición punto D (mm)	19,7
Medición punto E (mm)	19,2

Tabla 3-9: Medición de desgaste planchas main frame liners Recsol a las 5500 hrs de funcionamiento, (elaboración propia).

3.2.3 Proyección y resultados

A partir de los datos obtenidos, se lleva a cabo un análisis de proyección de desgaste con el objetivo de determinar la vida útil de los main frame liner. Para ello, se realizó un cálculo promedio de los datos recopilados en cada tabla, obteniendo el resultado siguiente (ver Gráfico 3-2):

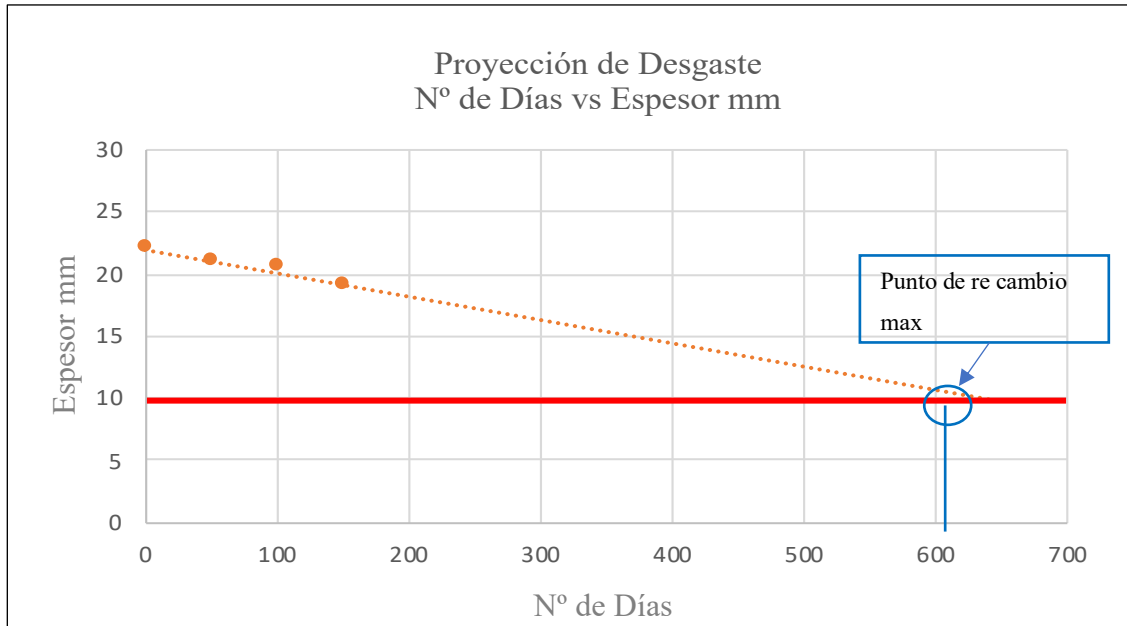


Gráfico 3-2: Proyección de desgaste main frame liners Recsol, (elaboración propia).

Después de realizar una exhaustiva evaluación y análisis de la proyección de durabilidad del nuevo componente, se puede concluir que éste presentará una vida útil significativamente mayor en comparación con las planchas construidas con refuerzo bimetalico. De hecho, se ha determinado que el nuevo componente tendrá una durabilidad casi el doble de la vida útil de los main frame liners antiguos. Esto implica una mejora sustancial en la disponibilidad del equipo y una reducción en la frecuencia de cambio de componentes, lo cual se traduce en un ahorro económico significativo para la empresa.

3.3 Análisis económico

Para llevar a cabo la comparativa económica, se deben considerar no solo los costos de adquisición del nuevo material, sino también los costos de instalación y mantenimiento, así como los costos indirectos asociados a la frecuencia de cambio y la disponibilidad del equipo. Además, se debe analizar el impacto en la productividad y la rentabilidad del equipo.

Para ello, se puede realizar un análisis de costo-beneficio, en donde se comparen los costos de operación y mantenimiento del equipo con los liners actuales y los liners bimetalicos Recsol. Se deben considerar factores como la frecuencia de cambio de los

liners, la vida útil de los mismos, el costo de mano de obra para la instalación y mantenimiento, así como los costos indirectos asociados a la disponibilidad del equipo. También es importante considerar el impacto en la producción del equipo, ya que una mayor disponibilidad y menor frecuencia de cambio de los liners puede traducirse en una mayor productividad y rentabilidad del equipo. Además, se debe considerar la posible reducción de costos asociados a la compra de repuestos y la reducción de paradas de producción.

Una vez realizado el análisis de costo-beneficio, se puede determinar si efectivamente conviene realizar el cambio a liners bimetálicos Recsol, o si por el contrario, es más conveniente mantener los liners actuales (ver Tabla 3-10, 3-11, 3-12).

	Main frame liner T500 + Refuerzo circular
Valor x 1 chancador	Refuerzo Circular: \$5.370.400 Main Frame: \$10.815.000 Total: \$16.185.400
Valor por 4 chancadores (CHF)	\$64.741.600 cada 6 meses

Tabla 3-10: Costos liners T500 + refuerzo circular, (elaboración propia).

	Main frame liner bimetálico RECSOL
Valor x 1 chancador	\$11.762.678
Valor por 4 chancadores (CHF)	\$47.050.712 (Una vez al año)

Tabla 3-11: Costos liners bimetálicos RECSOL, (elaboración propia).

	Main frame liner T500 + Refuerzo circular	Main frame liner bimetálico RECSOL
Valor por 4 chancadores (CHF)	\$129.483.200 (12 meses)	\$47.050.712 (12 meses)

	Diferencia: \$129.483.200 - \$47.050.712 \$82.432.488
--	---

Tabla 3-12: Diferencia de costos anuales, (elaboración propia).

Con el análisis técnico y económico realizado, se puede determinar que los main frame liner de RECSOL poseen una mejor durabilidad en comparación a los actuales y con un costo menor anual, lo que permitiría obtener los siguientes beneficios:

- Mayor disponibilidad de equipo (producción).
- Ganancias HH en otras actividades.
- Menos exposición al riesgo.
- Ahorro control costo (frecuencia de compra y cambio).

CONCLUSIONES

El análisis económico es una herramienta fundamental para la toma de decisiones en cualquier empresa. En el caso de la evaluación de los main frame liners actuales y los bimetalicos Recsol, se evaluaron diversos factores que podrían impactar el desempeño y la rentabilidad de la operación.

En primer lugar, se consideró el costo de adquisición de los liners, ya que esta es una inversión importante para la empresa. También se evaluó la frecuencia de cambio de los liners y los costos de mano de obra involucrados en el proceso de cambio, ya que estos son factores que pueden tener un impacto significativo en los costos totales de la operación.

Además, se analizó la disponibilidad del equipo durante el periodo de operación, ya que esto puede tener un impacto en la eficiencia de la producción y en los costos de mantenimiento y reparación.

Después de realizar los cálculos correspondientes, se concluyó que el cambio a los main frame liners bimetalicos Recsol permitiría un ahorro anual de \$82.432.488, lo cual es una cantidad significativa para la empresa. Este ahorro se debe principalmente a que la durabilidad de los liners bimetalicos Recsol es casi el doble de la de los liners actuales, lo que reduce significativamente la frecuencia de cambio y, por lo tanto, los costos asociados a este proceso.

Además del ahorro en la frecuencia de cambio, también se debe considerar que el uso de los liners bimetalicos Recsol podría mejorar la disponibilidad del equipo. Esto podría reducir los costos de mantenimiento y reparación y aumentar la eficiencia de la producción, lo que a su vez podría aumentar los ingresos y la rentabilidad de la empresa.

En conclusión, la evaluación económica de los main frame liners actuales y los bimetalicos Recsol demostró que el cambio a los liners bimetalicos Recsol podría ser una inversión rentable para la empresa. Al reducir los costos asociados con el cambio de liners y mejorar la disponibilidad del equipo, los liners bimetalicos Recsol podrían mejorar la eficiencia de la producción y aumentar la rentabilidad de la empresa a largo plazo.

BIBLIOGRAFÍA

Aguilar Otero, J., Torres Arcique, R., & Magaña Jiménez, D. (2010). Análisis de modos de falla, efectos y criticidad. Saltillo, México: Corporación Mexicana de Investigación en materiales.

Codelco. (2017). codelcoeduca. Obtenido de codelcoeduca:
<https://www.codelcoeduca.cl/>

Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, base de datos y criticidad de efectos. Científica, vol. 23, núm. 1, pp. 51-59, 2019. Instituto Politécnico Nacional
<https://www.redalyc.org/journal/614/61458265006/html/>

Manual e información chancador hp 800, METSO.
<https://www.mogroup.com/es/portafolio/nordberg-serie-hp/>

Trituradoras de cono Nordberg serie HP, guía de aplicación de piezas de desgaste.
https://www.academia.edu/40721458/Trituradoras_de_cono_Nordberg_serie_HP

Moubray, J. (2000). Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Lutterwoth , United Kingdom: Aladon Lda.

Propiedades acero chronit t-1 400 y chronit t-1 500 plancha antidesgaste.
<https://dokumen.tips/documents/propiedades-acero-chronit-t-1-400-y-chronit-t-1-500-plancha-antidesgaste.html?page=1>

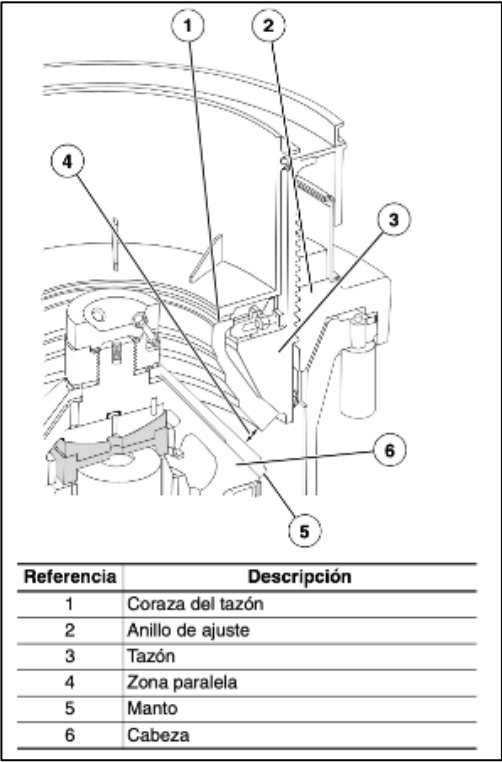
Propiedades WEARALLOY SUPER-CLAD Steel Plate
<https://www.fordsteel.com/wearalloy-super-clad-plate/>

Ejemplos de análisis de criticidad, tabla ponderaciones.
<https://angelmendizabal.com/mantenimiento/ejemplo-practico-para-realizar-un-analisis-de-criticidad/>

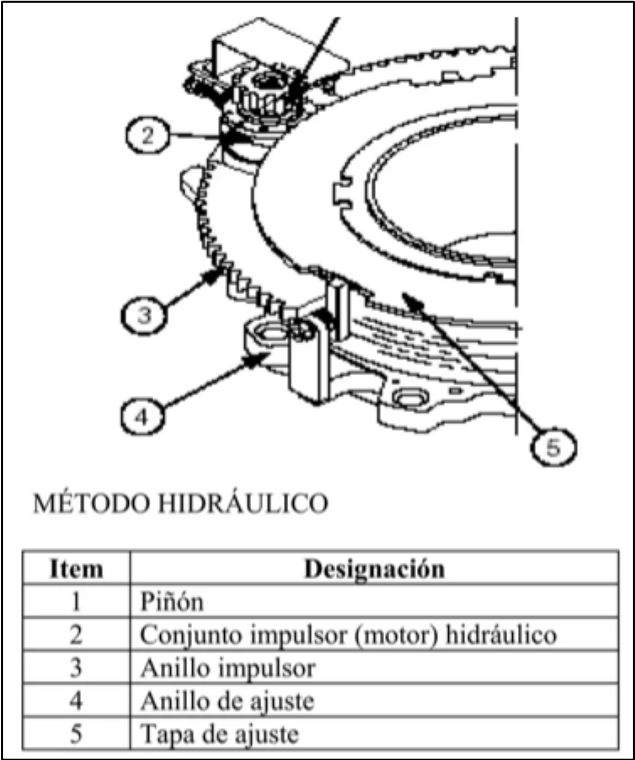
ANEXOS

ISO DT	650	300	150	75
1	650	300	150	75
2	325	150	75	37,5
3	216,666667	100	50	25
4	162,5	75	37,5	18,75
5	130	60	30	15
6	108,333333	50	25	12,5
7	92,8571429	42,8571429	21,4285714	10,7142857
8	81,25	37,5	18,75	9,375
9	72,2222222	33,3333333	16,6666667	8,33333333
10	65	30	15	7,5
11	59,0909091	27,2727273	13,6363636	6,81818182
12	54,1666667	25	12,5	6,25
13	50	23,0769231	11,5384615	5,76923077
14	46,4285714	21,4285714	10,7142857	5,35714286
15	43,3333333	20	10	5
16	40,625	18,75	9,375	4,6875
17	38,2352941	17,6470588	8,82352941	4,41176471
18	36,1111111	16,6666667	8,33333333	4,16666667
19	34,2105263	15,7894737	7,89473684	3,94736842
20	32,5	15	7,5	3,75
21	30,952381	14,2857143	7,14285714	3,57142857
22	29,5454545	13,6363636	6,81818182	3,40909091
23	28,2608696	13,0434783	6,52173913	3,26086957
24	27,0833333	12,5	6,25	3,125
25	26	12	6	3

Anexo A: Tabla down time hp 800



Anexo B: Componentes de ajuste setting.



Anexo C: Conjunto ajuste