



**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**DESARROLLO DE UNA ESTRATEGÍA DE CONFIABILIDAD EN PLANTA
CHANCADO
DIVISIÓN GABRIELA MISTRAL – CODELCO CHILE**

**TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGÍSTER EN
GESTIÓN Y DIRECCIÓN DE EMPRESAS**

FÉLIX ANDRÉS CABRERA VÁSQUEZ

**PROFESOR GUÍA
ENRIQUE JOFRÉ ROJAS**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN
GERARDO DIAZ RODENAS
DANIEL ESPARZA CARRASCO**

**SANTIAGO DE CHILE
2019**

**RESUMEN DE LA TESIS PARA OPTAR
AL TITULO DE: Magíster en Gestión y
Dirección de Empresas**

POR: Félix Andrés Cabrera Vásquez

FECHA: Junio 2019

PROFESOR GUIA: Enrique Jofré Rojas

En la actualidad la confiabilidad tiene un papel preponderante en la gestión organizacional, haciendo indispensable el apego a la estrategia sobre los activos disponibles, y con ello garantizar condiciones adecuadas de operación. Es por esta razón que el propósito de este trabajo de tesis consiste en el desarrollo de una estrategia de confiabilidad en la planta de chancado, que permita aumentar la disponibilidad y disminuir costos en el área de Mantenimiento en la División Gabriela Mistral.

El presente documento propone una estrategia de confiabilidad mixta, que consiste en una combinación de técnicas y herramientas con el fin de obtener información diagnóstica, que permitan identificar brechas y aplicar metodologías de excelencia operacional tales como C+, SOMA (Sistema Operativo de Mantenimiento), gestión de vulnerabilidades, mejora continua y desarrollo de personas.

Como resultado de la aplicación, la estrategia formulada tuvo un impacto positivo en el negocio, si consideramos el periodo de inicio de la implementación año 2017 versus el año de consolidación 2018. Durante el año 2017 se obtuvo un costo real en componentes principales de MUS\$14,57 mientras que en el año 2018 se aprecia un costo de MUS\$10,28, logrando como resultado directo una disminución porcentual del 29,44%. Mientras que la disponibilidad de los equipos registró, en consecuencia, una tendencia al alza durante y posterior a la implementación de la estrategia.

En conclusión, la estrategia de confiabilidad tuvo un impacto directo y gravitante, tanto en las personas, como en los activos, ya que la disciplina, desarrollo de personas y la estandarización, permitieron sostener un crecimiento integral en la organización, obteniendo resultados positivos a nivel global. Este tipo de enfoque y estrategia, por tanto, es recomendable para empresas que se propongan objetivos organizacionales a mediano y largo plazo.

DEDICATORIA

Para todos los que se esfuerzan por ser mejores cada día.

A mis padres Raúl y Sara, a mi hermana Catalina y con especial cariño a mi abuela Lucila quienes siempre me apoyaron incondicionalmente en todos mis sueños y metas.

También quiero destacar la fortaleza otorgada por mi compañera de vida Daisy, que desde ya varios años ha caminado a mi lado aportando en mi superación.

A mis amigos, compañeros de estudios y de trabajo, los cuales me han aportado conocimientos y experiencias.

Y por último a todos los que formaron en algún momento parte de mi vida o fueron un pilar fundamental en mi familia.

AGRADECIMIENTOS

Primero que todo agradecer a Dios por entregarme vida, sabiduría y talento.

Agradecer a la Universidad de Chile por permitir especializarme en lo que tanto me apasiona, gracias a cada Docente y Funcionario que formó parte en mi proceso integral de formación, que quedará como evidencia en mi historia académica y profesional.

Agradecer a Codelco Chile División Gabriela Mistral por apoyar y facilitar el desarrollo de este, mi trabajo...

1 TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	Descripción del proceso.....	2
1.2	Objetivos.....	7
1.2.1	Objetivo General	7
1.2.2	Objetivos Específicos	7
1.3	Metodología.....	7
2	SITUACIÓN ACTUAL -DIAGNÓSTICO	8
2.1	Ley de Cu en División Gabriela Mistral.....	10
2.2	OEE (Eficiencia General de Equipos)	11
2.3	Análisis de Modos de Falla.....	12
2.3.1	Jack Knife de modos de falla.....	12
2.3.2	Pareto de modos de falla.....	14
3	APLICACIÓN METODOLOGÍA DE GESTIÓN C+	16
3.1	Objetivo Común.....	18
3.1.1	Mapa Estratégico	18
3.2	Mejora Continua	19
3.2.1	Metodología Rdp - Cinco porqués	22
3.2.2	Metodología Rdp - Pilares de la Confiabilidad.....	24
3.2.3	Metodología Rdp – Ishikawa.....	25
3.2.4	RCM (Mantenimiento centrado en la confiabilidad)	26
3.2.5	PIT- Plan de Implementación Táctico	28
3.3	Procesos Eficientes	28
3.3.1	Ciclo T-22.....	29
3.3.2	VSM (Value Stream Mapping)	31
3.3.1	Metodología 5s.....	32
3.3.2	Poka Yoka.....	34
3.4	Desarrollo de Personas	35
3.4.1	Confirmación de Rol y Procesos.....	36
3.4.2	Desarrollo de competencias	37
4	SOMA (SISTEMA OPERATIVO DE MANTENIMIENTO)	41
4.1	¿Qué es el SOMA?	41
4.2	¿Cuál es el objetivo?.....	41
4.3	¿Cuál es el alcance?	41
4.4	Estructura en capas SOMA.....	41
4.4.1	Capa 0: Política de Mantenimiento.	41
4.4.2	Capa 1: Fases del Sistema Operativo.....	42
4.4.3	Capa 2: Ciclo de mantenimiento.	43
4.4.4	Capa 3: Proceso.....	43
4.4.5	Capa 4: Estándar.	44
5	HERRAMIENTAS DE GESTIÓN DE VULNERABILIDADES	45
5.1	Herramientas de gestión visual.....	45

5.2	Metodología AMEF	47
5.3	Análisis de Criticidad.....	48
5.4	Curva PF	48
5.5	Controles de calidad QAQC.....	49
5.6	Quick Wins.....	50
6	IDENTIFICACIÓN DE BRECHAS – BENCHMARK	50
7	ESTRATEGIA DE CONFIABILIDAD.....	52
8	EVALUACIÓN ECONÓMICA DE ESTRATEGIA.....	53
9	RESULTADOS EN DISPONIBILIDAD DE LA ESTRATEGIA	56
10	CONCLUSIÓN	58
11	BIBLIOGRAFÍA	60

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Diagrama de flujo de mineral DGM.....	2
Ilustración 2: Proceso productivo 1	3
Ilustración 3: Proceso productivo 2	3
Ilustración 4: Proceso productivo 3	4
Ilustración 5: Proceso productivo 4	4
Ilustración 6: Diagrama chancado primario.....	5
Ilustración 7: Diagrama chancado secundario	5
Ilustración 8: Diagrama chancado terciario	6
Ilustración 9: Diagrama Nivel de Madurez	9
Ilustración 10: Ley de Cu DGM	10
Ilustración 11: Diagrama OEE.....	11
Ilustración 12: Oportunidades de tonelaje.....	12
Ilustración 13: Jack Knife modos de falla chancadores	13
Ilustración 14: Tabla Jack Knife	13
Ilustración 15: Pareto modos de falla chancadores	15
Ilustración 16: Modos de falla y su impacto en tonelaje.....	15
Ilustración 17: Sistema de gestión C+.....	17
Ilustración 18: Sub Sistema C+ “Objetivo Común”	18
Ilustración 19: Plan estratégico DGM.....	19
Ilustración 20: Sub Sistema C+ “Mejora Continua”	20
Ilustración 21: 5 Porqués (Parte I)	23
Ilustración 22: 5 Porqués (Parte II)	23
Ilustración 23: Pilares de la confiabilidad	24
Ilustración 24: Diagrama Ishikawa	26
Ilustración 25: Sub Sistema C+ “Procesos Eficientes”	29
Ilustración 26: Ejemplos VSM	31

Ilustración 27: Sub Sistema C+ “Desarrollo de Personas”	36
Ilustración 28: Diagrama confirmación de rol	37
Ilustración 29: Modelo del Iceberg	39
Ilustración 30: Modelo de Influencia.....	40
Ilustración 31: Resumen general SOMA por áreas.....	41
Ilustración 32: Flujo de Planificación	44
Ilustración 33: Mapa de Calor	46
Ilustración 34: Waterfall diario.....	47
Ilustración 35: Curva PF.....	49
Ilustración 36: Brechas DGM	51
Ilustración 37: Benchmarking Divisiones Codelco	51
Ilustración 38: Modelo de Confiabilidad Mixto de Confiabilidad	53
Ilustración 39: Costo Repuestos Chancadores y Harneros.....	53
Ilustración 40: Costo repuestos Correas Transportadoras.....	54
Ilustración 41: Costos Elementos de desgaste	55
Ilustración 42: Norma ASARCO	56
Ilustración 43: Disponibilidad Planta	57

1 INTRODUCCIÓN

El complejo entorno relacionado con el precio cíclico del cobre, la disminución en la ley media de los yacimientos y las cada vez más exigentes condiciones operacionales, obligan a mejorar la confiabilidad y el desempeño de los activos, con el objetivo de dar cumplimiento a los planes de producción establecidos por la corporación.

Una baja confiabilidad de los activos conlleva a eventos no programados, lo cual impacta negativamente en la producción, al no encontrarse los equipos disponibles para ser operados.

En este contexto, se hace indispensable generar un punto de inflexión en Codelco, División Gabriela Mistral, mediante una nueva estrategia, que permita asegurar la confiabilidad de los activos.

Entre los activos físicos del área de chancado se encuentran los chancadores, los cuales tiene la función de triturar la roca y así obtener una granulometría óptima, para el posterior proceso de lixiviación. Una detención de una línea de chancado genera pérdidas de producción mermando el rendimiento de la planta.

Durante el año 2017 se registraron detenciones por fallas de estos equipos que impactaron en 353 hrs a la línea crítica, considerando un rendimiento de 6521 ton/hrs, esto generó pérdidas aproximadas por 2.301.913 ton de mineral apilado.

Por otra parte, el mayor modo de falla que afecto a los chancadores durante el año 2017 fue el quiebre de corazas, el cual impacto con 117 hrs a la línea crítica, generando pérdidas que ascienden a las 762.957 de mineral apilado.

En el presente proyecto se trabajará en el análisis de datos, desarrollo de herramientas de gestión de confiabilidad, identificación de brechas, planes de acción, evaluación de resultados y mitigación pérdidas asociadas a las fallas, logrando así una base estratégica, sistematizada y estandarizada basada en la mejora continua.

Exploración, perforación, tronadura y carguío

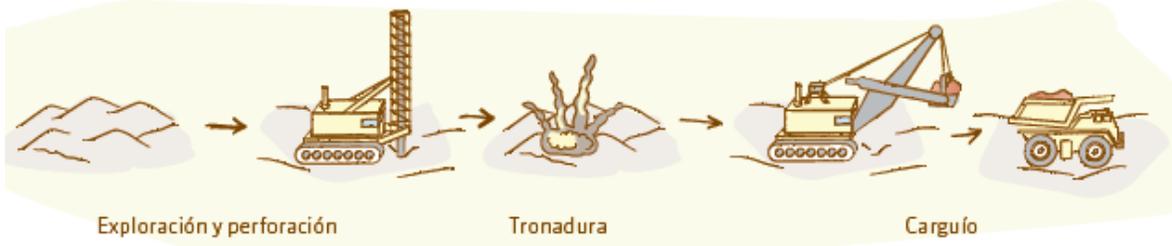


Ilustración 2: Proceso productivo 1

Terminado el proceso de extracción de la roca, esta es transportada por camiones autónomos hacia el chancador primario para su granulación. Cabe destacar que DGM es pionera en la industria, con Flota de 17 Camiones Komatsu 930 E4, con Operación Autónoma a través del sistema de Posicionamiento Global (GPS).

Chancado primario, secundario y terciario



Ilustración 3: Proceso productivo 2

Aquí se obtiene un producto de tamaño inferior a 12 pulgadas el cual es acumulado en el Stock pile con capacidad para 56 toneladas. Luego pasa a un chancador secundario que reduce aún más el mineral, posteriormente pasa al chancador terciario donde alcanza un tamaño final de media pulgada aproximadamente.

Acidificación y pila de lixiviación

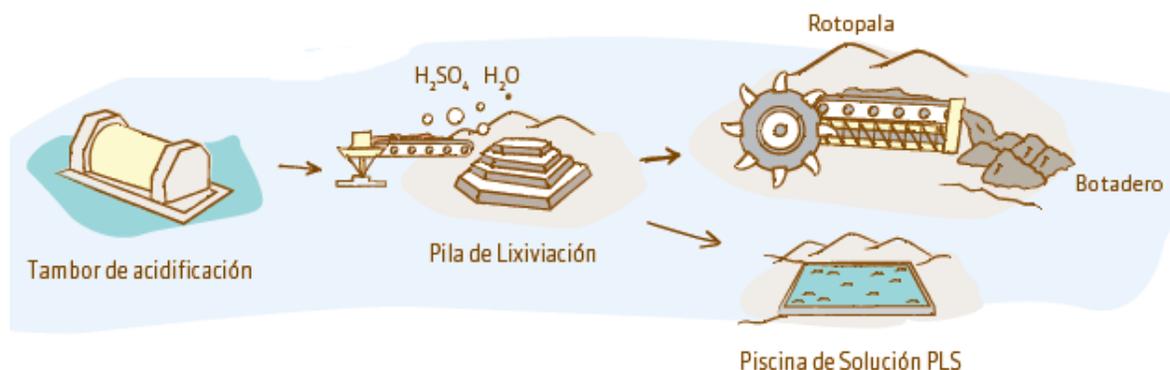


Ilustración 4: Proceso productivo 3

Terminado el chancado, el material ya reducido se traslada a los tambores acidificadores, los que a través de un sistema de rotación forman un producto llamado glómero. Posteriormente, a través de un equipo apilador, el material se acopia en pilas de lixiviación de 6 metros, donde se logra extraer el 80% del cobre contenido, utilizando la aplicación de ácido, por medio de parrillas de riego. Este proceso dura 60 días.

Electro obtención



Ilustración 5: Proceso productivo 4

Finalizado el proceso, canaletas colectoras llevan el material en estado líquido a las piscinas de PLS, donde posteriormente es transportado a las plantas de extracción por solventes. Tras el proceso de filtración, ya en la nave de electro-obtención, y mediante la aplicación de corriente continua a las celdas electrolíticas, se produce la migración del cobre en solución hacia una placa de acero inoxidable. Es aquí donde se conforma un depósito metálico, el cual al cabo de seis días se cosecha como cátodo de alta pureza. El proceso de producción concluye con la entrega de los cátodos a Codelco.

Diagramación del proceso área chancado

A continuación, se detallan los equipos pertenecientes al área de chancado con el objetivo de dar a conocer sus líneas, las que contribuyen al rendimiento de la línea crítica y donde se localizan equipos que serán parte de este análisis, tales como chancadores secundarios y terciarios.

Chancado primario

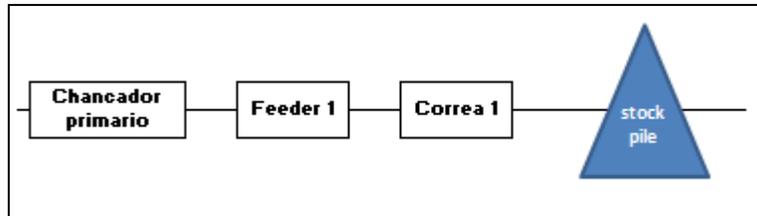


Ilustración 6: Diagrama chancado primario

El material proveniente de la mina, traído por los camiones autónomos, es depositado en el chancador primario, luego por el alimentador de descarga (Feeder 1) es conducido hacia la correa de alimentación de acopio grueso (Correa 1). Junto con el alimentador se encuentra un electroimán para extraer los elementos metálicos que pueden venir junto con las rocas. Luego es almacenado en el Stock pile.

Chancado secundario

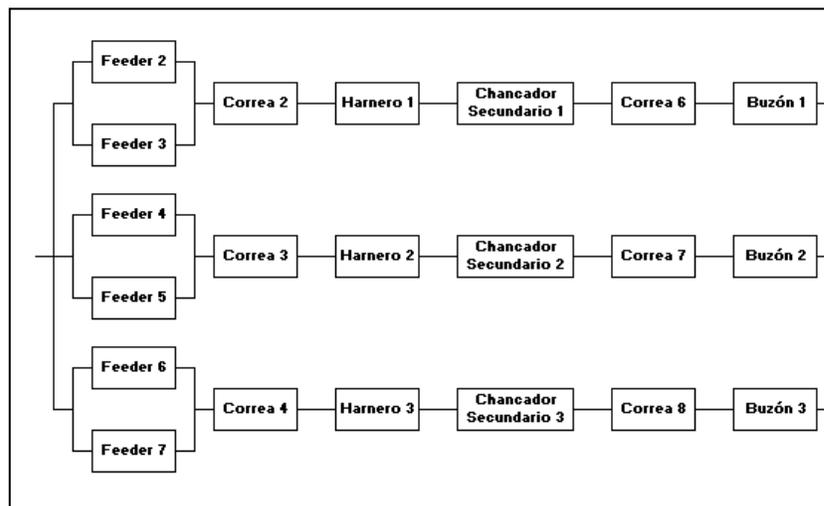


Ilustración 7: Diagrama chancado secundario

Aquí el proceso se divide en tres líneas productivas. Mediante los alimentadores el material es traspasado a las correas de alimentación de chancado secundario, luego

pasa por un harnero, donde el material que cumple con el tamaño no pasa por el chancado secundario, la mayoría del material pasa al chancador y luego todo pasa a la correa de alimentación de chancado terciario, para luego llegar a los buzones de descarga.

Chancado terciario

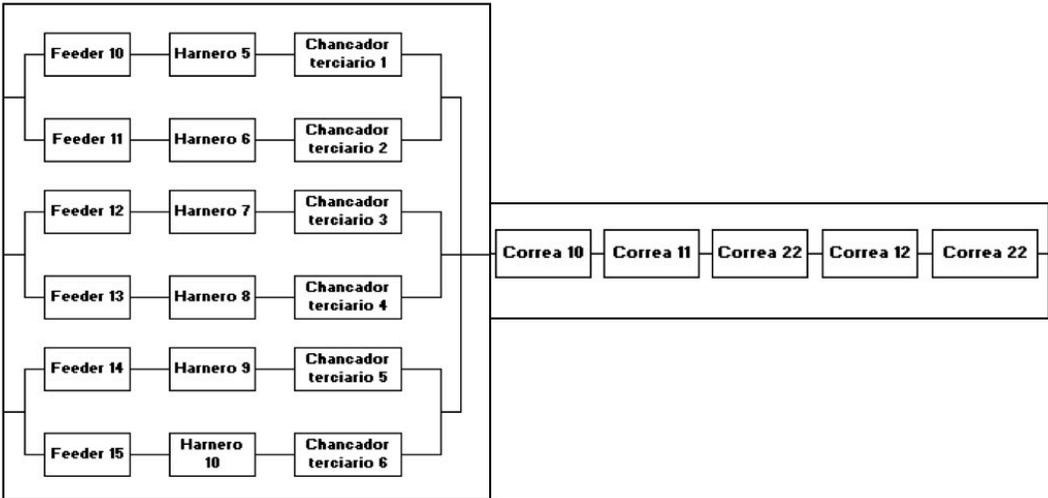


Ilustración 8: Diagrama chancado terciario

Aquí cada línea el chancado secundario se divide en dos, por lo que hay 6 chancadores terciarios. Al igual que en el chancado secundario el material primero pasa por los alimentadores de correa (Feeders), luego por los harneros y después el material que necesita ser triturado pasa por los chancadores terciarios. Si bien la correa número 10 (Material fino) y 11 (Material grueso) se encuentran en paralelo, no pueden operar de forma independiente, por ende, gráficamente y de manera funcional se consideran en serie.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Desarrollar una estrategia de confiabilidad en la planta de chancado, que permita aumentar la disponibilidad y disminuir costos en el área de Mantenimiento en la División Gabriela Mistral - CODELCO.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Recolección y análisis de data histórica de las fallas en activos físicos de planta chancado.
- Aplicación de herramientas de confiabilidad, gestión C+ y SOMA
- Formular la estrategia de confiabilidad para los activos físicos del área de chancado.
- Desarrollar un proceso de benchmarking a fin de Identificar brechas.
- Análisis de económico y de disponibilidad de la estrategia formulada.

1.3 Metodología

Para llevar a cabo la recolección y clasificación de data histórica de falla de activos físicos de la planta de chancado, se empleará variados métodos. Entre los métodos podemos destacar, el análisis de Jack Knife, Pareto y Eficiencia General de los Equipos (OEE). Se determinarán los principales modos de falla y las pérdidas de producción que conllevan.

El análisis de Jack Knife, mediante un modelo gráfico, establece una priorización del proceso de mantenimiento de equipos, previa definición de algún parámetro o indicador que requiera mejorarse a fin de mantener la confiabilidad de un equipo o de un sistema.

El análisis de Pareto o 80-20 posibilita la identificación de las fallas recurrentes y de mayor criticidad frente a un funcionamiento continuo y estable de los equipos, Pareto determina que corrigiendo el 20% de las vulnerabilidades se obtiene una mejora en el 80% de los resultados.

Puesto que el mejoramiento continuo es uno de los elementos que se requiere emplear en la formulación de estrategias de confiabilidad para la planta de chancado, interesa conocer cuál es la capacidad de desempeño real de los equipos. Resulta útil la ejecución del análisis de Eficiencia General de los Equipos (OEE). A partir de OEE es posible identificar y conocer las posibles ineficiencias

de un proceso. Este análisis permite, por ejemplo, reducir los tiempos en los cuales los equipos se encuentran detenidos debido a fallas. Se pueden incorporar aquí modalidades correctivas, preventivas, predictivas y proactivas, para evitar o controlar sus futuras ocurrencias.

Mediante análisis de benchmarking se identificarán las posibles brechas y nivel de madurez en área de Mantenimiento.

Además, en la fase de formulación de la estrategia de confiabilidad se emplearán herramientas de gestión tales como la AMEF, Análisis de Modos y Efectos de Fallas, monitoreo de parámetros de equipos en línea, mejora en procedimientos y gestión visual de vulnerabilidades, determinación de causas raíces mediante la metodología de 5 porqués y Uso de los Pilares de la Confiabilidad, SOMA (Sistema Operativo de Mantenimiento), etc.

Por otra parte, se estudiarán los impactos económicos y disponibilidad planta, de la estrategia formulada.

2 SITUACIÓN ACTUAL -DIAGNÓSTICO

Para evaluar la situación actual de la planta de chancado, se considerará el nivel de madurez de los procesos de mantenimiento, tales como Criticidad, Identificación, Planificación, Programación, Ejecución y Post- Mantenimiento.

El diagnostico se aprecian brechas respecto al ideal del nivel de madurez, que tiene como consecuencia fallas recurrentes en los activos.

Medición procesos Mantenimiento

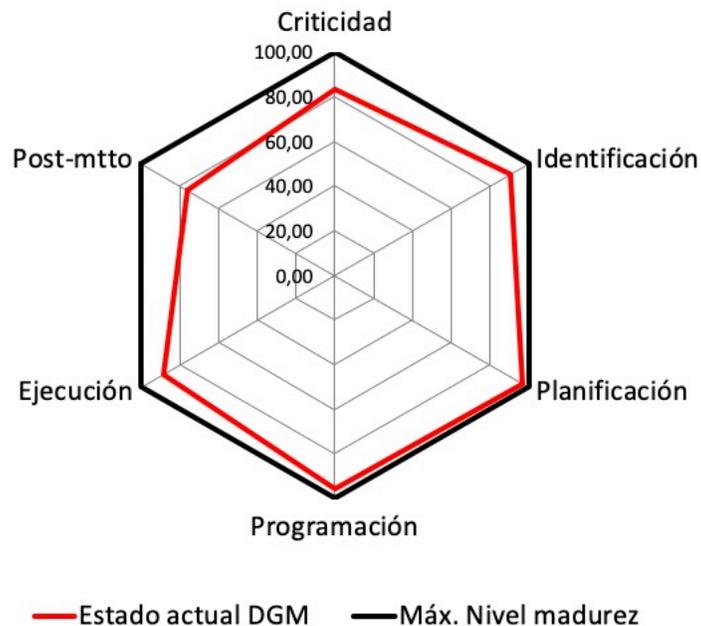


Ilustración 9: Diagrama Nivel de Madurez

Criticidad e Identificación: La criticidad y la identificación son procesos que corresponden al área de confiabilidad, donde se consolidan los hallazgos o vulnerabilidades de la planta, provenientes de una inspección, para luego entregarles una criticidad o priorización mediante la metodología AMEF.

Planificación y Programación: La Planificación y Programación son procesos que corresponden al área de planificación, La planificación es el proceso en donde definen los principales hitos o actividades necesarias para el mantenimiento. La programación es aquella que toma como entrada (input) lo que fue definido durante la planificación y lo transforma en un documento (Carta Gantt), asignado recursos.

Ejecución y Post. Mantenimiento: La Ejecución y el Post. Mantenimiento son procesos que corresponden al área de ejecución, en donde se ejecuta en terreno la carta Gantt de actividades. El Post. Mantenimiento corresponde al entregable en donde se da cuenta de las tareas realizadas y la calidad de las intervenciones, dejando estipuladas futuras vulnerabilidades, que deben ser consideradas en nuevos ciclos de mantenimiento.

2.1 Ley de Cu en División Gabriela Mistral

La ley de cobre es la medida del contenido de metal del mineral, como el grado de concentración de recursos naturales, la ley de mineral tiende a ser un porcentaje de cobre que encierra una determinada muestra. Cuando se habla de una ley del 1% significa que en cada 100 kilogramos de roca mineralizada hay 1 kilogramo de cobre puro.

La ley de cobre se suele utilizar para determinar qué tan factible económicamente es una explotación minera, debido a que el costo de extracción se relaciona directamente con la concentración, por lo mismo el costo de la operación de extracción debe ser inferior al valor del metal, de esta manera se decreta que tan viable es económicamente la operación.

Es importante tener en cuenta que la ley de mineral cambia con el tiempo, y que un grado más bajo de mineral, tendrá repercusiones en el área de costos, debido a que implicará un mayor costo por unidad de peso de metal extraído.

La ley soluble CuS es el porcentaje de mineral que es posible disolver en ácido sulfúrico a partir del cobre total CuT, en los proyectos de lixiviación no se recupera el 100% ley total y el delta existente entre el porcentaje CuT y CuS no se recupera.

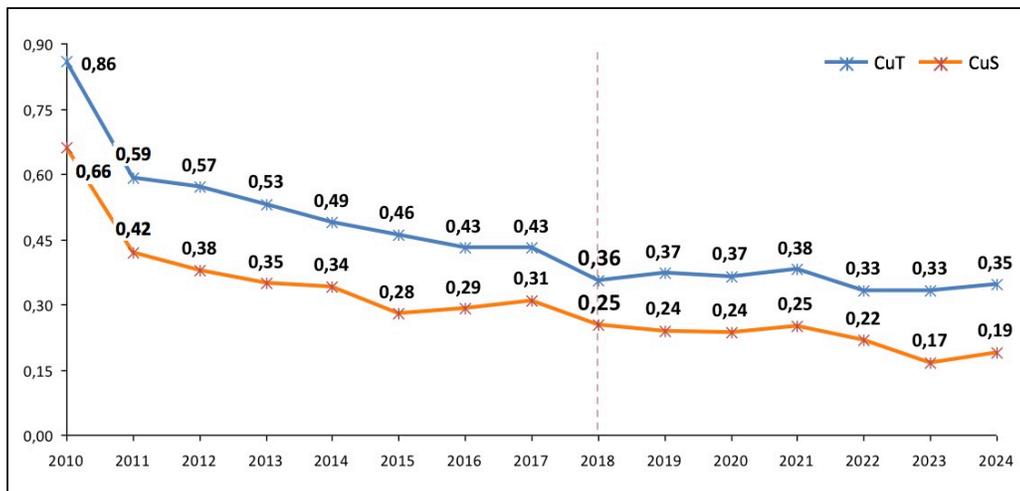


Ilustración 10: Ley de Cu DGM

En el gráfico anterior se observa que la ley de cobre total (CuT) de la División Gabriela Mistral ha disminuido en un 59% respecto al 2010, ocasionando que el nivel de mineral apilado sea cada vez mayor, y así dar cumplimiento a los planes de producción estipulados por la corporación, es este sentido el área de mantenimiento tiene como objetivo implementar una estrategia de confiabilidad que permita disminuir la cantidad y horas de falla de los equipos entregándoles mayor disponibilidad.

2.2 OEE (Eficiencia General de Equipos)

El OEE es un indicador de eficiencia general de los equipos, el cual se expresa en razón porcentual y es utilizado ampliamente en la evaluación comparativa de diferentes componentes, como identificar las principales pérdidas de producción de una manera gráfica se utilizará esta metodología, cuya principal característica es identificar las posibles brechas que afectan el cumplimiento de tonelaje, estas sean Disponibilidad (Fallas o Mantenciones), Utilización, Rendimiento, BNSP (Bajo nivel de Stock Pile) entre otras.

OEE LINEA CRITICA

(Overall Equipment Effectiveness o Eficiencia General de los Equipos)

Eficiencia operativa de equipos en Área Seca – 2017

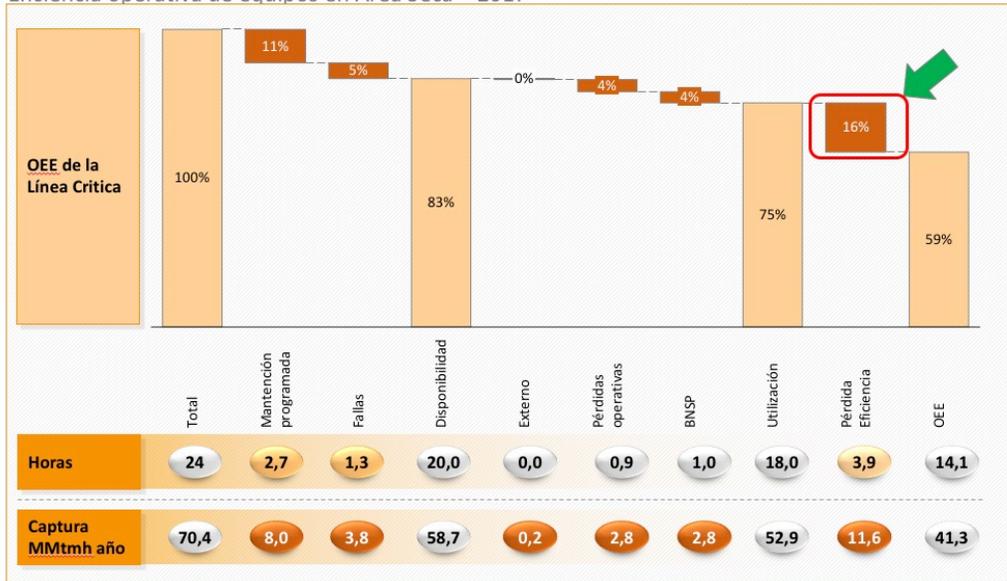


Ilustración 11: Diagrama OEE

Observando el Gráfico OEE de la **Ilustración 11** podemos determinar que las mayores brechas durante el año 2017 se encuentran en las pérdidas de eficiencia o rendimiento de los equipos, las cuales afectan en un 16% el tonelaje del año de análisis. Si analizamos en detalle el 16% podemos identificar las siguientes fallas presentadas en la Ilustración 12 en donde se identifican los 4 principales equipos que afectaron el rendimiento en las líneas de chancado impactando con 3.605.960 tmh/año de mineral apilado. Para comparar el impacto en tiempo fuera de servicio de una línea secundaria y terciaria, se llevaron los tiempos de detención a una base común, en este caso Tiempo Equivalente de Línea Crítica, donde el tiempo fuera de servicio de una línea secundaria fue dividido por 3 y el tiempo de una línea terciaria dividido por 6.

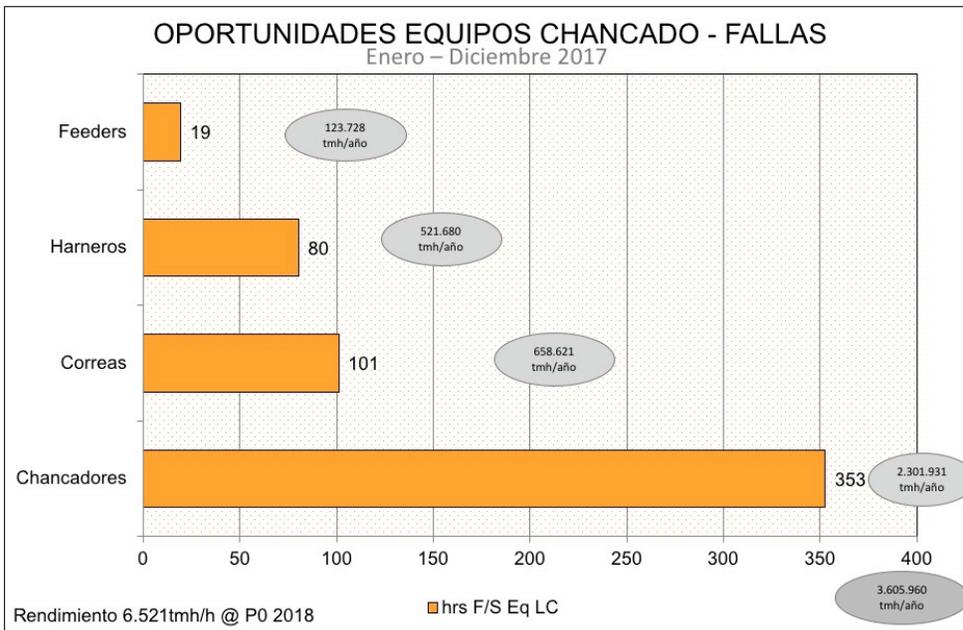


Ilustración 12: Oportunidades de tonelaje

Analizando los tiempos llevados a línea crítica del gráfico anterior podemos observar que los Feeders (alimentadores) contribuyeron con 19 hrs, los harneros con 80hrs, las Correas transportadoras con 101hrs y por último los chancadores con 353 hrs durante el año 2017 impactando con un tonelaje apilado de 2.301.931 tmh/año

2.3 Análisis de Modos de Falla

2.3.1 Jack Knife de modos de falla

Para efectos de análisis Jack Knife y para simplificar el estudio se tomará como ejemplo el caso particular de los chancadores, haciendo hincapié que la estrategia propuesta en esta tesis abarcará todos los equipos del área de chancado.

El diagrama de Jack Knife es un gráfico de dispersión, el cual nos permite identificar y analizar el tiempo de inactividad o indisponibilidad de equipos, así como la frecuencia de falla y el tiempo medio de reparación, mediante la aplicación de valores límites (Ejes), este diagrama se divide en 4 cuadrantes de acuerdo al tipo de falla, Agudas Crónicas, Agudas, Crónicas y Bajo control.

El eje X corresponde al número (N) de intervenciones del equipo (Frecuencia de Falla) y el eje Y corresponderá al tiempo medio de reparación (MTTR).

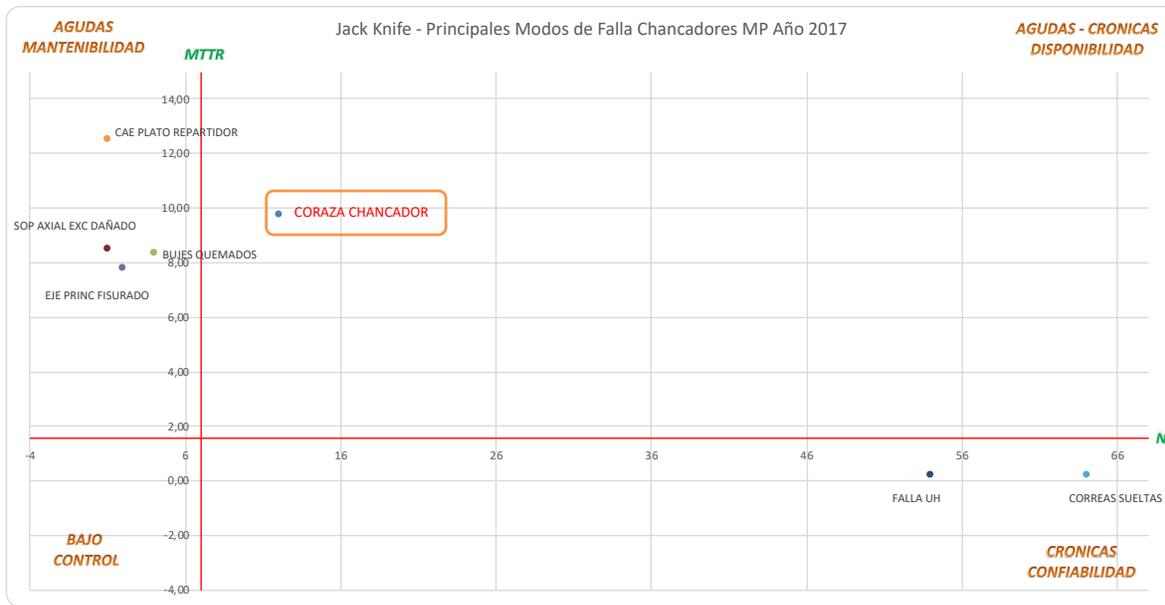


Ilustración 13: Jack Knife modos de falla chancadores

Respecto al diagrama de Jack Knife, podemos concluir que uno de los principales modos de falla (Agudo-Crónico) que afecto a los equipos chancadores durante el año 2017 fue el “Quiebre de Corazas”, sin embargo, existieron otros modos de fallas con impacto importante tales les como EJE Principal quemado, Bujes quemados y Correas sueltas (Crónico).

Estación	Frec	MTR	Categoría
1 CORAZA CHANCADOR	12	9,77	Mant
2 EJE PRINC QUEMADO	1	53,31	Mant
3 BUJES QUEMADOS	4	8,37	Mant
4 EJE PRINC FISURADO	2	7,78	Mant
5 CORREAS SUELTAS	64	0,23	Conf
6 CAE PLATO REPARTIDOR	1	12,53	Mant
7 FALLA UH	54	0,21	Conf
8 SOP AXIAL EXC DAÑADO	1	8,49	Mant

Ilustración 14: Tabla Jack Knife

$$MTTR = \frac{\text{Horas de Reparación}}{\text{Número de Fallas}}$$

Otro KPI, que si bien no se utiliza en este gráfico vale la pena mencionar y es el tiempo medio entre fallas MTBF (MeanTime Between Failure) el cual se calcula dividiendo el tiempo de operación del activo entre el número de fallas en un período determinado, entre mayor es el valor del MTBF mejor es el indicador del equipo, esto quiere decir que las fallas se presentan con menor frecuencia.

$$\text{MTBF} = \frac{\text{Horas de Operación}}{\text{Número de Fallas}}$$

Si considerásemos un tiempo de operación X hrs fijo, para todos los chancadores podríamos estimar que el tiempo medio entre fallas (MTBF) debido al “correas sueltas” sería superior en el ámbito de Crónico, esto quiere decir que ocurre con mayor frecuencia.

2.3.2 Pareto de modos de falla

Podemos situar el origen del diagrama de Pareto en el año 1909 gracias al economista Vilfredo Pareto quién debido a sus estudios sobre la riqueza determino que el 80% de esta se encontraba en el 20% de la población, posteriormente en 1950 el Dr. Joseph M. Duran en la década del 50 conoció los trabajos de Pareto, quién llevó este principio al control de calidad, el cual a través de curvas acumulativas al igual que Pareto encontró una desigualdad en la distribución de perdidas en cuanto a calidad.

El diagrama de Pareto también se conoce como los pocos vitales, o también como la ley del 80-20 lo que quiere decir que el 20% ya sea de los problemas, fallas o fenómenos medidos, se le puede atribuir el 80% de las consecuencias de dicho fenómeno, aunque sin embargo esta regla es una simplificación, es un método de carácter visual que nos permite identificar los problemas más relevantes, ya que el número 80-20 permite acercarnos a la realidad, pero no plasmarla completamente.

Esta herramienta nos permite encontrar las más diversas causas de problemas en la cadena productiva y específicamente identificar el modo de falla que genera el problema, lo que nos da la ventaja de aplicarlo y corregirlo directamente, lo que permite optimizar tanto el proceso como la calidad del producto, consiguiendo enfocarse en los problemas de mayor importancia.

Una prueba empírica del diagrama de Pareto y de la regla 80-20 considera que generalmente el 80% de los resultados totales tiene como causa el 20% de los elementos analizados, lo que permite mediante un gráfico de barras identificar

visualmente ese 20% para considerar acciones correctivas, que nos permitan no malgastar esfuerzos en el universo total de fallas.

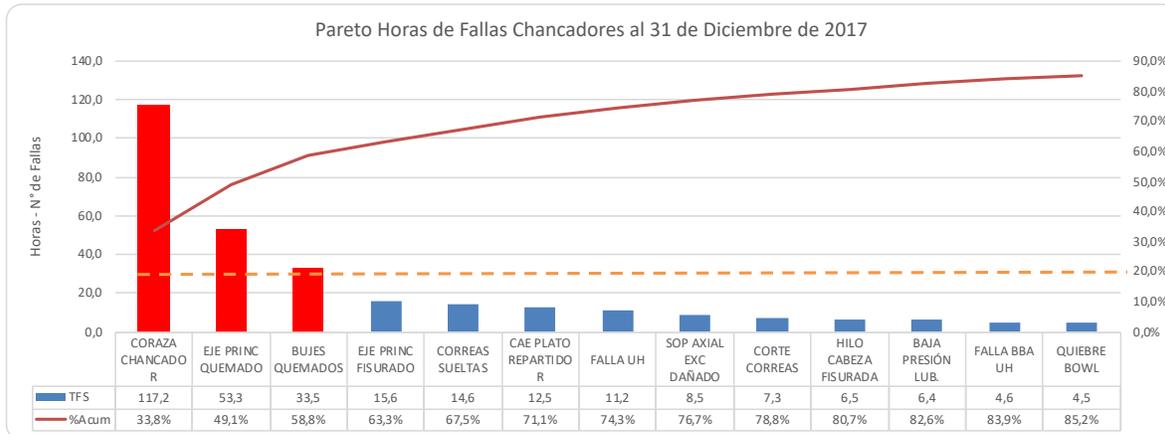


Ilustración 15: Pareto modos de falla chancadores

De acuerdo al diagrama de Pareto de Horas de Fallas realizado podemos identificar que los modos de falla en chancadores que se encuentran dentro del 20% corresponden a “Quiebre de Corazas”, Eje Principal Quemado “Bujes Quemados”.

Llevando el Pareto anteriormente analizado a impacto en tonelaje de la línea crítica podemos decir que el quiebre de corazas afecta a la línea crítica con 762.957 tmh/año, esto se observa de mejor manera en la siguiente gráfica.

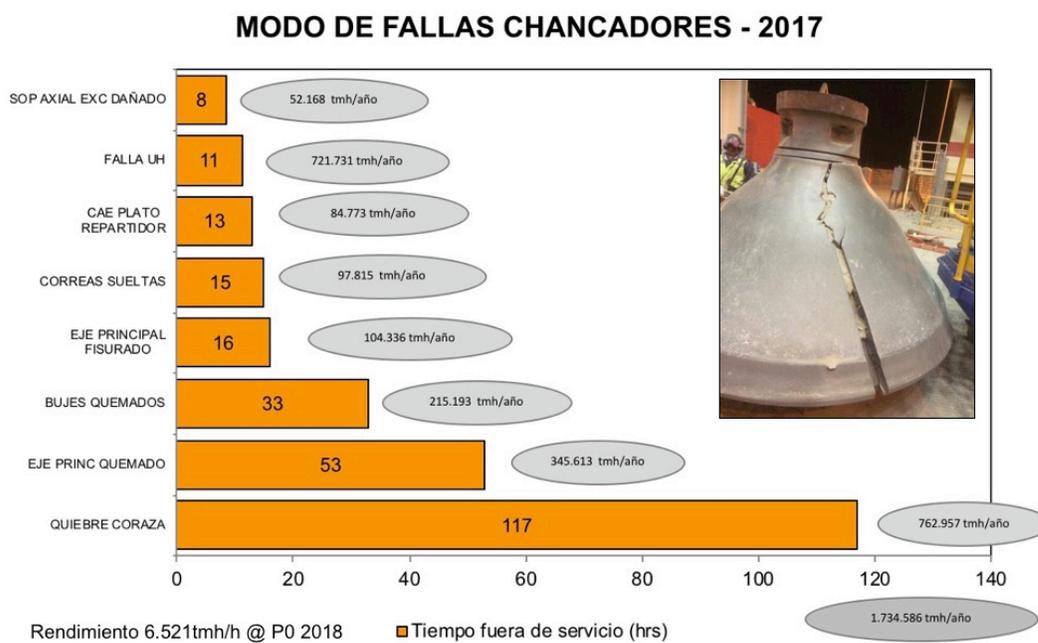


Ilustración 16: Modos de falla y su impacto en tonelaje

Todo lo plasmado y ejemplificado anteriormente, hace necesario implementar una nueva estrategia de confiabilidad, que no solo abarque a los chancadores sino a todos los activos presentes en la planta.

3 APLICACIÓN METODOLOGÍA DE GESTIÓN C+

C+ es el nombre que tomó el concepto “**MEJORAMIENTO CONTINUO**”, basado en la filosofía Kaizen la cual entrega las herramientas básicas “5S” (organización, reducir búsquedas, limpiezas, estandarización-simplificación en los procesos y disciplina) para lograr que todos los participantes de una organización lleguen a ser Lean.

Kaizen es Mejoramiento Continuo y se logra a través de mejoras pequeñas con resultados sucesivos. Es una de las herramientas que sustenta los resultados de **Lean**.

¿Por qué decidimos aplicar Kaizen en CODELCO?

- Porque nuestros procesos necesitaban ser mejorados **para que sean efectivos y eficientes**.
- Porque la incorporación de la innovación, **la modificación de los procesos** y nuevas formas de trabajo **no son suficientes** por si solos.
- Porque finalmente son los **equipos humanos** quienes deben gestionar estos procesos de cambio.

El sistema de gestión C+ consiste en cuatro subsistemas que se implementan a todo nivel



Ilustración 17: Sistema de gestión C+

1. **Definir un objetivo común** resultante de las necesidades del negocio y optimización de costos.
2. **Generar un sistema de mejora continua** que permita detectar brechas que atentan contra el objetivo común y eliminarlas a través de resolución de problemas.
3. **Establecer procesos eficientes** a un nivel muy granular adhiriéndose a ellos y mejorándolos continuamente para mejorar rendimientos, reducir costos y aumentar productividad.
4. **Establecer el desarrollo de personas** al entrenar y compartir mejores prácticas apoyando al equipo a superar las brechas existentes.

3.1 Objetivo Común

Como objetivo común se define que cada uno de los integrantes del equipo de trabajo Gerentes, Superintendentes, Jefes Funcionales, Ingenieros, Analistas y Operadores colabore desde su puesto de trabajo con una meta y dirección única cuyo fin entregar a la planta la disponibilidad, utilización y rendimientos de los activos necesarios, para dar cumplimiento al mapa estratégico divisional.



Ilustración 18: Sub Sistema C+ "Objetivo Común"

3.1.1 Mapa Estratégico

El mapa estratégico de la División Gabriela Mistral en el año 2017 proyectaba apilar un total de 41 millones de toneladas, obteniendo un total 41,3 millones de toneladas con una Disponibilidad de 83,4%, Utilización Efectiva (BD) de 90% y un Rendimiento de 6.274tmh/h. Para el año 2018 las metas de Producción son mucho más exigentes teniendo como meta u objetivo apilar 43,3 millones de toneladas con una Disponibilidad de 81,3%, Utilización Efectiva (BD) de 93% y un Rendimiento de 6.521tmh/h.

Mapa Estratégico División Gabriela Mistral (2017 - 2030)



Propuesta de Valor

Crear y capturar el mayor valor económico del Recurso Minero y de los Activos Disponibles gestionados por los integrantes de División Gabriela Mistral, con Seguridad, Eficiencia y de manera Sustentable, conforme a lo convenido con la Corporación.

Fase I

Consolidación Divisional y Preparación para el Desarrollo

Fase II

Desarrollo y Crecimiento que extienda la Vida Útil de la División

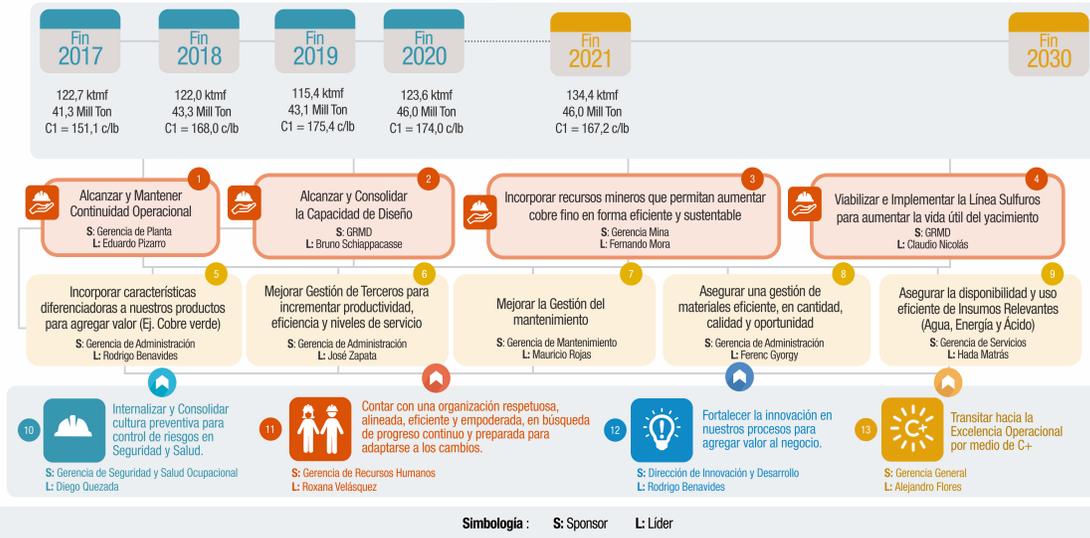


Ilustración 19: Plan estratégico DGM

Considerando lo anterior el foco estratégico se centrará en:

- Asegurar la producción, disminuyendo las fallas en el área de chancado.
- Implementar una Estrategia de Mantenimiento basado Excelencia.
- Cambio Cultural en la Organización (Personas).

Cada uno de estos puntos son de suma importancia para conseguir dar cumplimiento al plan estratégico divisional, por lo que esta tesis abordará los actores principales involucrados en la confiabilidad.

3.2 Mejora Continua

La mejora continua se define como una estrategia de largo plazo que tiene como objetivo una mejora en la empresa, tanto de procesos como de la manera en que se trabaja, impulsando así mayor productividad este método abarca más allá que encontrar una solución para un problema específico, sino que es un compromiso continuo para mejorar los niveles de rendimiento.

Entre los beneficios de la mejora continua podemos destacar que fomenta a nivel cultural constantes cambios que aportan dinámicas de mejoras constantes, aumentando la productividad y eficiencia de los procesos. Además, permite obtener soluciones sencillas para obtener mejor calidad de productos o procesos, debido a

que esta filosofía, tiene como efecto un incremento en la moral y en la motivación de los trabajadores.

En la etapa de Mejora continua se considera como objetivo principal el eliminar las fallas crónicas y agudas, mediante su análisis y metodología RdP (resolución de problemas) la cual es equivalente a un ACR (Análisis Causa raíz) en donde aplicamos distintas metodologías tales como 5 porqués, Pilares de la Confiabilidad y Ishikawa.



Ilustración 20: Sub Sistema C+ "Mejora Continua"

El proceso de mejora continua considera 4 etapas claramente definidas

1. **Identificación de problemas:** En esta etapa se deberán identificar problemas que generan desviaciones en KPI (Key Performance Indicator o medidor de desempeño) mediante el registro formal que deberá cuantificar el impacto del problema.
2. **Priorización de problemas:** Se deberá priorizar los problemas de más alto impacto de acuerdo a la complejidad de su resolución y el nivel de impacto. Además de definir un responsable y tiempo para su resolución.
3. **Resolución de problemas:** Identificar la causa raíz de los problemas y generar planes de acción, mediante la recopilación de información objetiva,

identificando ideas de solución para finalmente establecer un plan de acción PIT (Plan de Implementación Táctico).

4. **Seguimiento de planes de acción:** Asegurar la implementación a tiempo y con efectividad de las soluciones a los problemas, mediante el seguimiento del PIT, validando la efectividad de las soluciones y estandarizando dichas soluciones.

Por otra parte, el proceso de RdP es mas detallado y cuenta con 8 pasos

1. **Definición de problema:**

- Articular el problema de forma sencilla y basada en hechos comprobados.
- Cuantificar el impacto del problema para comunicar claramente la brecha a resolver.
-

2. **Desglose del problema:**

- Documentar la información contextual relevante para el problema.
- Desagregar el problema en partes que puedan ser resueltas en forma independiente.

3. **Definición de objetivos:**

- Priorizar la resolución de las partes del problema con mayor impacto.
- Establecer objetivos específicos de mejora en un plazo definido.

4. **Identificación de causas directas:**

- Establecer hipótesis tempranas de causas directas y confirmar con datos, observación en terreno y/o juicio experto.

5. **Identificación de causas raíces:**

- Encontrar las causas raíces de las causas directas identificadas en el paso 4 a través de preguntarse por qué las veces que sea necesario.

6. **Definición del plan de acción (PIT):**

- Identificar acciones que atacan las causas directas y raíces identificadas.
- Priorizar las acciones a ejecutar según su impacto y factibilidad.

7. **Seguimiento del plan de acción (PIT):**

- Notificar a todos los responsables de ejecutar las acciones y realizar seguimiento del avance.
- Verificar en forma temprana la efectividad de las acciones definidas.

8. Estandarización de procesos exitosos:

- Extender las soluciones a otros procesos o equipos que se ven expuestos a problemas similares o causas raíces comunes.

3.2.1 Metodología Rdp - Cinco porqués

La técnica de los cinco porque fue desarrollada originalmente por Sakishi Toyoda siendo esta implementada en la organización Toyota Motor Corporation como una evolución de sus tecnologías de fabricación, transformando esta metodología en la base para determinar las causas raíces, encontrando la naturaleza del problema como su solución, esta metodología es ampliamente utilizada por varias industrias.

La metodología de los 5 porqués corresponde a una técnica sistemática de preguntas utilizadas en una fase de análisis de incidentes para determinar sus causas principales, la técnica consiste en que el grupo de investigación se pregunte porque al menos 5 veces sin embargo si así lo requiriera podrían ser mas de 5 preguntas hasta alcanzar la causa raíz, es importante destacar que cada respuesta debe ser la base para la siguiente pregunta.

En su aplicación podemos encontrar una amplia gama de beneficios como descubrir la información más relevante de manera sistemática, analizar las causas ocultas, identificar y priorizar mejoras potenciales, puede ser aplicada a cualquier problema de la organización, además descubre la relación entre diferentes problemas y sus causas raíces, lo que permite aplicar soluciones eficientes.

Entre sus pasos podemos destacar:

- A. Se identifica el problema, la oportunidad de mejora y la situación anómala.
- B. Debe preguntarse el porqué de estos problemas.
- C. Ahora debe preguntarse el porqué de la respuesta dada en el paso B.
- D. Preguntas del porqué de las respuestas del paso C y así sucesivamente hasta llegar a una solución certera.

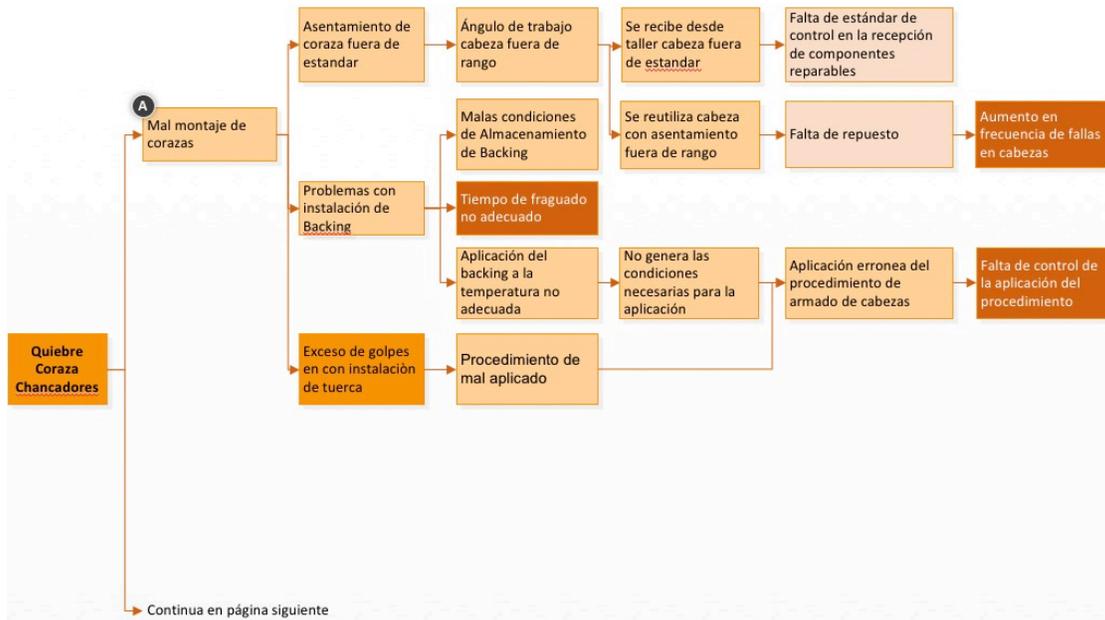


Ilustración 21: 5 Porqués (Parte I)



Ilustración 22: 5 Porqués (Parte II)

3.2.2 Metodología Rdp - Pilares de la Confiabilidad

La Confiabilidad Operacional se compone de 5 ejes llamados Pilares de la Confiabilidad, sobre los cuales se debe actuar íntegramente para lograr que una instalación opere de manera confiable durante todo el ciclo de vida de las instalaciones, de acuerdo a lo definido durante su concepción.

Estos Pilares son:

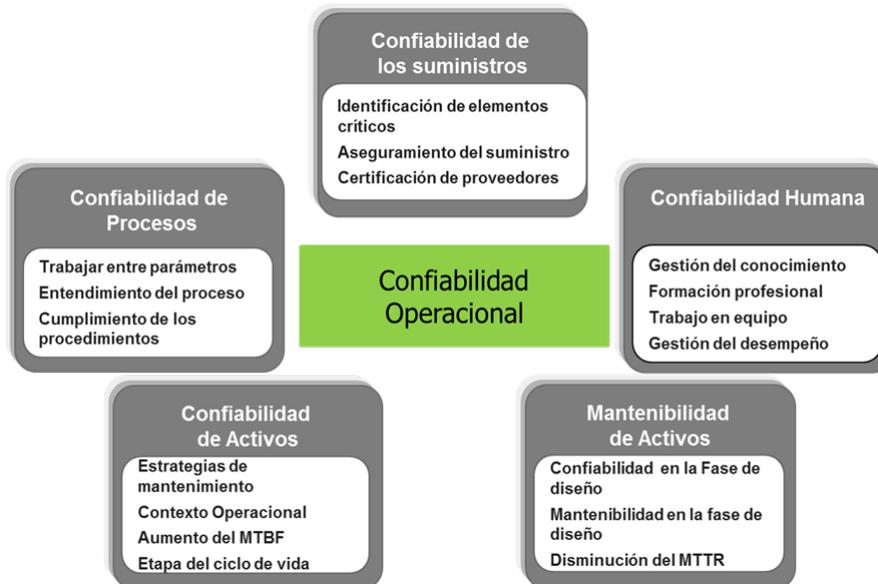


Ilustración 23: Pilares de la confiabilidad

(Arata, Ingeniería de la confiabilidad, 2013)

Confiabilidad humana: Es el conjunto de factores, propios de las competencias laborales, que se relacionan con la predicción, análisis y reducción del error humano, focalizándose sobre el rol de la persona en el diseño, operación, mantenimiento y gestión de un sistema. Son parte de ella elementos como la gestión del conocimiento, la formación profesional, el trabajo en equipo y la gestión del desempeño.

Confiabilidad de los procesos: Se asocia con la sintonía que existe entre el proceso y los procedimientos utilizados para operar las instalaciones, entre los parámetros operacionales definidos, de manera de respetar las condiciones establecidas y cumplir con los procedimientos especificados.

Confiabilidad de los suministros: Se refiere a la integración entre los distintos procesos o unidades internas, como operación, mantenimiento, abastecimiento y desarrollo; con los proveedores de insumos, energía, bienes o servicios de modo de asegurar el suministro en términos de cantidad, calidad, oportunidad y costo, a

través de procesos establecidos que faciliten la logística de entrada y permitan cuando corresponda la gestión de terceros certificados, la administración eficiente de contratos y el análisis de la oferta.

Confiabilidad de los activos: Se relaciona con las estrategias de operaciones y mantenimiento para el aumento de su tiempo entre detenciones de los equipos y su impacto sobre el sistema durante todo el ciclo de vida de los equipos y las instalaciones.

Mantenibilidad de los activos: Se vincula con el diseño de los equipos y los sistemas, y con la gestión y el apoyo logístico para la disminución de los tiempos necesarios para intervenir los equipos de forma de reducir los impactos sobre la operación.

3.2.3 Metodología Rdp – Ishikawa

El diagrama Ishikawa o diagrama de espina de pescado, analiza las causas y los efectos de los posibles factores que contribuyen directa o indirectamente en la causas raíces otorgándole una forma gráfica y sencilla de interpretar.

Esta herramienta permite explorar, identificar, mediante un gráfico detallado, las causas primarias y secundarias que determinan la ocurrencia de un evento, que se le denomina como “problema” enfocándose en las “6 m” que son; mano de obra, método, material, maquina, medio ambiente, medición, que permiten identificar las causas principales que provocan el problema raíz.

Una vez que se identifican las causas se determina si no existieran causas que no se han logrado pesquisar en una primera instancia, y considerar los cambios y mejoras que sean necesarias. Posteriormente se seleccionan las causas más probables y se valora el grado de incidencia que tiene a nivel global, lo que permitirá aportar soluciones y controlar lo estudiado.

Finalmente, para esquematizar los conceptos, se presenta un diagrama denominado “espina de pescado”.

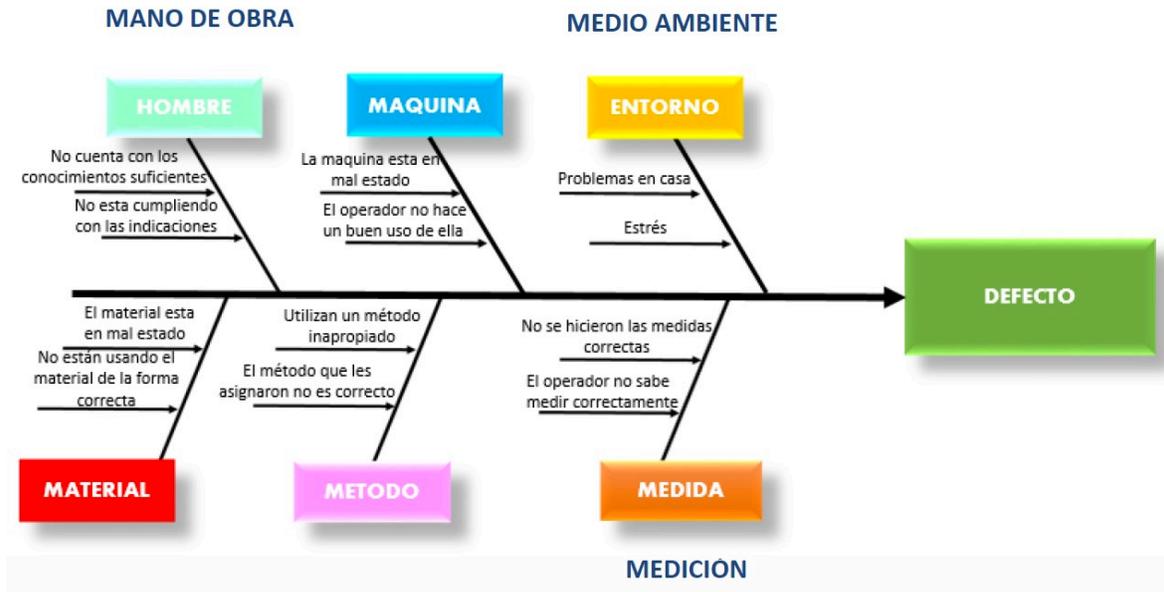


Ilustración 24: Diagrama Ishikawa

3.2.4 RCM (Mantenimiento centrado en la confiabilidad)

El RCM es una herramienta desarrollada por la industria aeronáutica que posteriormente fue aplicada en los sistemas militares debido al éxito de esta herramienta en el sector de la aviación lo que ha permitido que actualmente distintos sectores tales como de la industria de la minera, hayan adquirido esta filosofía en sus procesos operacionales, uno de los aspectos fundamentales de esta filosofía es que fomenta el desarrollo de nuevas tecnologías centradas en el mantenimiento lo que permite optimizar los procesos, aumentar la seguridad personal y el ambiente de los trabajadores, que causarían las posibles fallas operacionales. Esta herramienta tiene como propósito específico aumentar la confiabilidad y disponibilidad de los activos, con repercusiones positivas en los costos debido a que los activos no presentan averías.

Esta metodología nos permite establecer estrategias adecuadas que nos garanticen el cumplimiento óptimo de los procesos de producción, ya que implica una revisión sistemática de los elementos que forman parte de un proceso determinado.

El RCM está basado principalmente en la confección de análisis con un enfoque en las funciones realizadas por los equipos naturales de trabajo.

El RCM es un abordaje disciplinado para maximizar la productividad de los activos, y posee 4 características básicas

1. Preservar las funciones del sistema:

- Comprender las expectativas que se tienen del sistema.

- El sistema se considera funcional hasta el punto en que estas expectativas no se cumplen.
2. **Identificar modos de falla que puedan afectar las funciones:**
 - Conocer los componentes del sistema y cómo ciertas fallas específicas pueden conducir a la pérdida de funciones.
 3. **Priorizar las necesidades de las funciones:**
 - Categorizar el riesgo asociado con los modos de falla.
 - Asignar prioridades basadas en los criterios de criticidad adoptados por la empresa.
 4. **Seleccionar tareas para el plan matriz efectivas y aplicables:**
 - Cada tarea debe ser determinada en forma, Aplicable (prevenir, detectar, mitigar el inicio de la falla) y Efectiva.

Una vez definido y descrito el sistema a ser analizado, el análisis RCM requerirá de 8 pasos para ser ejecutado.

1. **Identificar funciones:** Identificar las funciones del sistema como por ejemplo “entregar entre 16 y 20 toneladas de combustible por hora”
2. **Determinar fallas funcionales:** Determinar por qué el sistema no puede cumplir las funciones “Entrega de menos de 16 toneladas de combustible/hora”.
3. **Identificar modos de falla:** Identificar modos de falla de los componentes clave que podrían llevar a fallas funcionales el sistema.
4. **Identificar causa:** Identificar mecanismos de degradación.
5. **Establecer características de fallas:** Establecer las características de las fallas derivadas de los mecanismos de degradación.
6. **Determinar riesgo:** Determinar el riesgo de cada mecanismo de degradación.
7. **Definir estrategia de mantenimiento:** ¿Qué podemos hacer para prevenir las fallas?, ¿Qué podemos hacer si no se puede prevenir la falla?
8. **Planear e implementar:** Planificar e implementar acciones de mitigación.

3.2.5 PIT- Plan de Implementación Táctico

Los planes de implementación táctico (PIT) es una herramienta implementada la tiene como objetivo asegurar la implementación a tiempo y con efectividad de las soluciones a los problemas (Planes de Acción), asignando tareas, recursos, fechas y responsables, dichos planes de acción generados para eliminar la causa raíz del problema deben tener objetivos del tipo SMART.

Los **objetivos SMART** son objetivos eficaces o inteligentes, que ayudan a que sigamos unas pautas para definirlos correctamente y que nos ayuden a alcanzar lo que deseamos.

Para que un objetivo sea Eficaz debe seguir estos requisitos.

Specific (Específico): El objetivo debe ser lo más concreto posible. Cualquier persona que sepa tu objetivo debe saber que es exactamente lo que pretendes hacer y cómo.

Medible (Measurable): EL objetivo debe ser medible, por lo que ha de ser una meta cuantificable. En algunos casos es complicado, pero debe poder ser medible para poder analizar nuestras estrategias.

Alcanzable (attainable): El objetivo debe ser ambicioso, un reto para nosotros, pero posible. Hay que dar la posibilidad de reajustar los objetivos si hay cambios en el entorno.

Realista (Realist): Debemos tener objetivos dentro de nuestras posibilidades (tanto por nuestros recursos disponibles, como por nuestra motivación por lograr dicho objetivo).

Tiempo (Timely): Hay que tener establecido una línea de temporalidad, cada objetivo debe estar definido en el tiempo, ya que nos ayudara a marcar las distintas etapas que nos permitirán llegar a la meta propuesta.

3.3 Procesos Eficientes

Los procesos eficientes son de gran importancia para el crecimiento de una organización debido a que permite optimizar tiempos y recursos, además nos ayuda en la prevención como reducción de errores en los procesos, brindándonos mayor valor a 3 elementos esenciales, clientes, accionistas y trabajadores, mediante la estandarización de procesos que actúa como un factor de cambio en las organizaciones, lo que puede llevarse a cabo, de manera sencilla, teniendo en cuenta ciertas claves.

- a) Establecer cuáles son las prioridades, determinando procesos críticos que requieren corrección.
- b) Estandarizar los procesos, todos los procesos deben estandarizarse respetando una metodología establecida, que cuenta con una descripción del trabajo que se realiza como los resultados de esta.

- c) Documentar procesos, generar diagrama de flujo que cuenten con responsables, y fechas de entrega, esto permite identificar oportunidades de mejora.
- d) Implementar una metodología, según la información recopilada con los pasos anteriores se podrá aplicar una metodología, que tenga mayor éxito en su intervención, permitiendo entre otras cosas, ajustes y capacitaciones a los trabajadores.



Ilustración 25: Sub Sistema C+ "Procesos Eficientes"

3.3.1 Ciclo T-22

El ciclo T nace debido a la necesidad de estandarizar el proceso de Identificación, planificación y ejecución del mantenimiento, se basa en el ciclo de mantenimiento corporativo y recibe su nombre T-22 indicando que faltan 22 días para el inicio de la mantención.

El proceso de Mantenimiento Planificado considera 5 etapas con sus respectivos estándares.

T-22 y T-21: En este proceso el área de Confiabilidad es responsable de identificar y priorizar las actividades necesarias para asegurar la confiabilidad de los activos,

la priorización se realiza mediante la metodología AMEF, determinando Severidad, Probabilidad y Detectabilidad.

- Estándar de criterios de identificación y priorización de trabajos (hallazgos, plan matriz, etc.)

T-19 y T14: En este proceso el área de Planificación es responsable debe determinar en base a las actividades priorizadas y la disponibilidad de recursos las actividades a ser realizadas durante la detención.

- Estándar de cuantificación de demanda de trabajos (T-21).
- Estándar de control y seguimiento de backlog de trabajos.
- Estándar de balance de carga (T-14).
- Estándar de ingreso de trabajos emergentes, inclusión de matrices de seguridad, procedimientos específicos.
- Estándar de seguimiento de trabajos excluidos
- Estándar de entrega de inputs y output del proceso

T-8: En este proceso el área de Confiabilidad es responsable de establecer el orden y la secuencia de realización de actividades optimizando los recursos y tiempos.

- Estándar de confección y distribución del programa de trabajos.
 - ❖ Preparativos
 - ❖ Inspección
 - ❖ Ejecución MP
- Estándar de solicitud de personal adicional.
- Estándar de tareas de apoyo (layout de repuestos, plan de equipos y residuos, posicionamiento de equipos y supervisores, focos de seguridad).

T-7 a T-0: En esta etapa se comienza con la preparación y ejecución en donde asegurar la difusión de las tareas y procedimientos y la disponibilidad en terreno de repuestos, equipos, herramientas, etc.

- Estándar de control y seguimiento de avance de preparativos (T-7 a T-1)
- Estándar de notificación de órdenes de trabajos (PL y NP)
- Estándar de seguimiento de programa de trabajos en terreno (T-0)

T+2: Esta etapa es posterior al mantenimiento y tiene como objetivo evaluar el desempeño e identificar oportunidades de mejora.

- Estándar de reunión de post mantenimiento

3.3.2 VSM (Value Stream Mapping)

El llamado Análisis de la Cadena de Valor es una metodología que permite:

- Identificar oportunidades de mejora en las actividades de los procesos.
- Evaluar, establecer y hacer seguimiento a los indicadores de desempeño.
- Clarificar acciones y beneficios.
- Capacitar a las personas.
- Evaluar o establecer formas alternativas para realizar el trabajo (Rediseño)
- Disminuir el problema (síntoma) de lo que es la causa raíz.
- Duro con el problema suave con las personas.

En nuestra división en particular el VSM se ha utilizado ampliamente en disminuir los tiempos de mantenimiento de equipos identificando mudas (Desperdicios) haciendo el proceso más eficiente, algunos casos de éxito de VSM se ilustran a continuación.

<p>Cambio de cinta correa 23</p> <ul style="list-style-type: none">▪ Reducción de 37 a 28 horas 	<p>Cambio de brazo direccional rotopala</p> <ul style="list-style-type: none">▪ Reducción de 12 a 5 días 
<p>Cambio de poste a chancado primario</p> <ul style="list-style-type: none">▪ Reducción de 52 a 24 horas 	<p>Cambio de polea motriz correa 3</p> <ul style="list-style-type: none">▪ Reducción de 14,5 a 10 horas 

Ilustración 26: Ejemplos VSM

3.3.1 Metodología 5s

La herramienta de las 5s es una metodología, creada a mediados del siglo XX en Japón, como una metodología de mejora y planificación, se ideó con el fin de lograr una eliminación de ineficiencias en los procesos que se caracterizaban por ser repetitivos o en cadena. La empresa Toyota fue una de las pioneras en aplicar esta metodología, en sus lugares de trabajo con el objetivo de aumentar la productividad a través de puestos más limpios y ordenados, lo cual es aplicable a diferentes sectores productivos.

3.3.1.1 1s – Separar (Seiri)

Debemos identificar, eliminar y separar aquellos elementos que sean innecesarios en nuestras labores diarias, durante esta primera fase debemos examinar y analizar todos los materiales y herramientas como equipos que se encuentran en el lugar físico del puesto de trabajo y definimos según nuestras necesidades su utilidad, el despejar no significa descartar los elementos que se no se ocuparan en un futuro, significa dejar solo lo esencial, una de las formas para llevar a cabo este proceso es poniendo tarjetas rojas o marcas llamativas en los elementos que no se ocuparan.

3.3.1.2 2s – Situar e identificar necesarios (Seiton)

La segunda etapa de esta metodología consta de poder definir los elementos de manera que el acceso a estos sea rápido y expedito en caso de requerirlos, no importa que tan bien puedan ser ordenados los elementos, ya que, si no tienen un fácil acceso, el efecto del método tendrá escaso impacto. Antes de ordenar debemos descartar los elementos no necesarios, antes de llevar a cabo el orden de los objetos, se debe realizar una limpieza del espacio físico, cada elemento debe tener un lugar donde su ubicación sea fácil, para que tanto su utilización y regreso al lugar sea rápido, por ejemplo, en actividades productivas se debe minimizar el gasto innecesario de tiempo y energía de los trabajadores en búsquedas de elementos.

Una vez que los elementos de los puestos de trabajo quedan libres de los elementos inútiles, se deben clasificar de acuerdo a su utilidad, mejorando el desorden, el ambiente laboral físico, dicha clasificación se lleva a cabo haciendo preguntas básicas como “que”, “donde” y “cuando”.

3.3.1.3 3s – Suprimir la suciedad (Seiso)

La tercera fase de esta metodología es consolidar el procedimiento de limpieza, implica el retiro sistemático de agentes como el polvo, tóxico, grasa y cualquier

suciedad, para convertir el lugar de trabajo en un área limpia y agradable para las personas de la organización, logrando así un funcionamiento óptimo. Detectando las fuentes de suciedad, puede lograr que los trabajadores tengan mayor autoestima y destinar su energía en el aumento de la productividad.

La limpieza debe basarse en algunas reglas que los trabajadores deben seguir de manera metódica como:

- a) determinar que deben limpiar.
- b) Asignar quien debe limpiar
- c) Determinar cómo se debe limpiar
- d) Preparar los elementos para la limpieza
- e) Realizar la limpieza

Terminando estas tres fases de la metodología tenemos como resultados ambientes físicos limpios y despejados, lo que tiene como resultados trabajadores más motivados.

3.3.1.4 4s – Señalizar (Seiketsu)

El objetivo de esta cuarta fase es tener bajo control a las otras tres fases anteriores, para ello se deben estandarizar las diferentes medidas de los aspectos de limpieza, clasificación y orden, en los puestos de trabajo, de manera que sean parte de una estrategia de carácter preventivo y no correctivas.

En resumen, lo que se genera con la implementación de este método hasta esta cuarta fase es:

- a) Eliminar los elementos innecesarios, se vuelve a verificar después de las implementaciones de las primeras fases si existe algún elemento que sea innecesario.
- b) Eliminar el desorden.
- c) Eliminar la suciedad, verificando la ausencia de elementos como polvos, aceites, en el ambiente físico.

3.3.1.5 5s – autodisciplina (Shitsuke)

La última fase de esta metodología consiste en llevar a cabo una serie de controles y auditorias planificadas cada cierto periodo de tiempo, cuyo objetivo es mantener y consolidar los logros obtenidos hasta el momento, por medio del hábito y la

disciplina de manera que los trabajadores puedan mejorar constantemente su puesto de trabajo.

Una vez que la organización logra el éxito es necesario mantener aquellos resultados, donde se podrá observar una ganancia en el espacio para realizar las tareas diarias en el trabajo, después de cumplir con los acuerdos logrados en las negociaciones grupales, cumpliendo dichos compromisos, teniendo claro cuáles son las conductas específicas que mantendrá funcionando esta metodología, teniendo en cuenta el principio básico del respeto por uno mismo, debido a que si un trabajador no puede acatar una resolución de la cual él fue parte activa de la creación de la misma puede ser contraproducente para grupo y para el mismo. Esta autodisciplina se puede realizar:

- a) Depositando los elementos innecesarios en los lugares correspondientes.
- b) Ubicar las herramientas por medio de sus distintivos y una vez usados dejarlos en el mismo lugar.
- c) No ensuciar y dejar igual de despejado su lugar físico de trabajo.
- d) Vigilar que sus compañeros cumplan las mismas normas

Beneficios:

Entre los que podemos destacar son que a nivel organización permitirá mantener la competencia de la organización, debido a que su aplicación permite disminuir los desperdicios, daños y fomentar hábitos diarios positivos para los trabajadores. Además de reducir los gastos extras en stocks de elementos que son innecesarios, y ahorrando espacio que estaría destinado a dichos elementos, permitiendo disminuir los posibles accidentes laborales que puedan tener como causa un ambiente de trabajo sucio y desordenado.

3.3.2 Poka Yoka

Es una herramienta de origen japonés que tiene como significado “A prueba de Errores” la cual tiene como objetivo lograr un diseño de los procesos que tenga como consecuencia tanto evitar como eliminar cualquier tipo de equivocación o error independiente de su origen humano o automatizado. Este sistema está diseñado para prevenir los errores y en sus pilares fundamentales podemos encontrar:

1. **Función de Control:** en este caso el objetivo es impedir que los errores ocurran, por lo mismo se utilizan formas y colores sobre cómo deben desarrollarse idealmente los procesos o como deben ensamblar las piezas en un ensamblaje.
2. **Función de advertencia:** En este caso se asume que existe una probabilidad de que el error puede ocurrir, por lo tanto, se diseña un dispositivo que logre una reacción cuando se produzca la falla, de esta manera por ejemplo un operador puede darse cuenta de que debe corregir ciertos aspectos del proceso.

Entre las ventajas que podemos considerar son que se logran erradicar el riesgo de cometer errores de forma repetitiva o en actividades que debido al error humano como por desconocimiento podrían ocurrir, de esta forma podemos darle mayor énfasis a las operaciones que nos otorguen más valor, en lugar de destinar recursos a comprobaciones de prevención de errores o corrección de los mismos, lo que nos permite tomar medidas sobre la fuente del error en lugar de reparaciones posteriores eliminando el reproceso a través de soluciones que son simples y fáciles de implementar.

Un ejemplo claro de Poka Yoke es el puerto USB y su conector, el cual debido a la confección de las piezas solo permite una forma de ensamblaje, eliminando las probabilidades de errores para los usuarios.

3.4 Desarrollo de Personas

El desarrollo de personas se encuentra estrechamente relacionado con la educación y una orientación a largo plazo, se refiere principalmente al desarrollo de características y rasgos de personalidad que permiten una adaptación y mejora en interpretar el entorno, donde el principal foco está en el crecimiento del individuo como persona, y su carrera hacia el futuro. Este enfoque se diferencia principalmente al de capacitaciones es que este tiene como eje principal el entrenamiento hacia el presente, a las demandas del puesto actual, por lo que se propone mejorar dichas habilidades y competencias asociadas al presente inmediato, mientras que el desarrollo de personas pone como eje principal las habilidades que podrían proporcionar un desempeño adecuado para los puestos futuros de los trabajadores, para que logren un desarrollo de actitudes, competencias, conocimientos con las exigencias de largo plazo.

El enfoque de personas se caracteriza principalmente porque los procesos de capacitación forman parte de una acción organizacional planificada, en este caso el pilar fundamental del desarrollo de personas es formular una estrategia de carrera profesional, entre los cinco factores esenciales para que los trabajadores se desempeñen en la organización son:

- a) **Igualdad de oportunidades:** que todos los trabajadores de la organización cuenten y perciban las mismas oportunidades de ascender y desarrollarse.
- b) **Apoyo del jefe inmediato:** los empleados deben sentir el apoyo de los supervisores quienes deben jugar un papel activo en el desarrollo profesional a través de la retroalimentación oportuna.
- c) **Conocimiento de las oportunidades:** la organización debe contar con un sistema de comunicación que permita informar oportunamente a todos sus integrantes.

- d) **Interés del empleado:** los trabajadores necesitan conocer distintos niveles de información y grados de interés.
- e) **Satisfacción personal:** dependiendo de la edad y ocupación laboral, la satisfacción varía según diferentes elementos. (Guizar, 2013)



Ilustración 27: Sub Sistema C+ “Desarrollo de Personas”

3.4.1 Confirmación de Rol y Procesos

La confirmación del rol y procesos: Por definición se establece que el “rol” les corresponde a profesionales que pertenecen al proyecto, independientemente de su nivel jerárquico en la organización, solo deben cumplir ciertas características y competencias que le ayudaran a implementar la gestión productiva como tarea complementaria a las que son inherentes a su puesto. Estos líderes son los responsables de llevar la gestión de la productividad como “mini proyectos” en sus respectivas áreas, siguiendo el principio de mejora continua, para lo cual son capacitados para ejercer su rol de manera adecuada,

Es importante destacar que son las áreas de RRHH como de gestión, quienes deben seleccionar a las personas que desempeñen un papel de influencia en la gestión de la productividad, dependiendo principalmente de sus características de trabajo.

El método de la implementación de quién deba ejercer el rol de liderazgo, deberá seguir una pauta para la monitorización de las mejoras y generar un clima organizacional adecuado para el cambio, es esencial por lo tanto que estas personas tengan competencias entre las que podemos destacar capacidad para la comunicación, resolución de problemas, y la más importante un liderazgo que sea capaz de influir y motivar la movilización de todos los recursos de los equipos laborales.

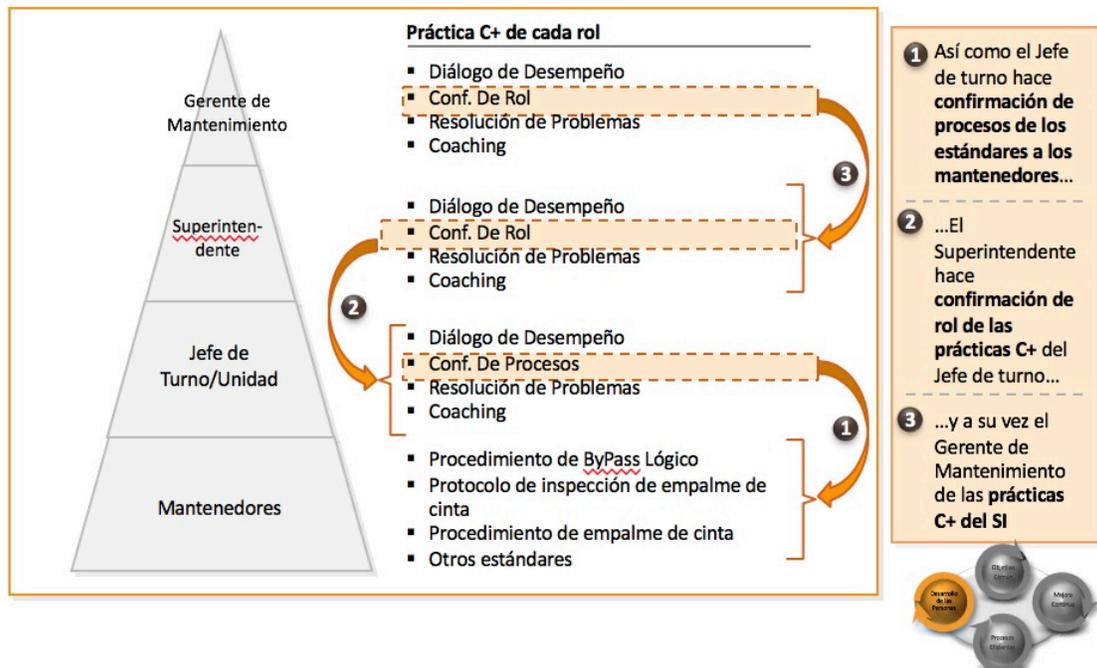


Ilustración 28: Diagrama confirmación de rol

3.4.2 Desarrollo de competencias

Podemos definir las competencias como la capacidad para responder exitosamente a una demanda compleja o llevar a cabo una actividad o tarea, en un contexto particular a través de la movilización de recursos que incluyen aspectos tanto cognitivos como no cognitivos como características de Personalidad, manifestadas en Comportamientos, que generan un desempeño adecuado en un Puesto de trabajo

El desarrollo de competencias se caracteriza por tener la ventaja de poner en primer plano las demandas personales y sociales a las que se enfrentan los individuos, en otras palabras, son una conceptualización de estructuras mentales internas, en el sentido de habilidades, capacidades o disposiciones en el individuo, que se caracterizan por:

- a. Son sólo observables en acciones reales tomadas por los individuos en situaciones particulares. Un punto para tener en cuenta es que una competencia no puede ser observada directamente, puede ser inferida por el comportamiento de una persona.
- b. Las demandas externas, las capacidades o disposiciones individuales, y contextos son parte de la naturaleza compleja de las competencias.
- c. Son adquiridas y desarrolladas a través de la vida y pueden ser aprendidas y enseñadas en una variedad de instituciones y otros ambientes.

Podemos destacar y distinguir principalmente tres tipos de competencias:

- a. **Básicas:** Es el nivel de desempeño requerido para el logro exitoso de las expectativas laborales. Son un intento de especificar las mejores prácticas en un sector de trabajo particular, siendo el patrón con el cual se evalúa, se certifica y se orienta a la persona para su desarrollo profesional.
- b. **Conductuales (genéricas):** son actitudes, conducta, valores, preferencias, específicamente son lo que aquellas personas que manifiestan un alto desempeño están más dispuestas a hacer en forma continua, que les permite producir resultados superiores.
- c. **Funcionales (técnicas):** Capacidad de una persona para desempeñar las actividades que componen una función laboral según los estándares y calidad esperados por el sector productivo como conocimientos técnicos específicos de una ocupación laboral.

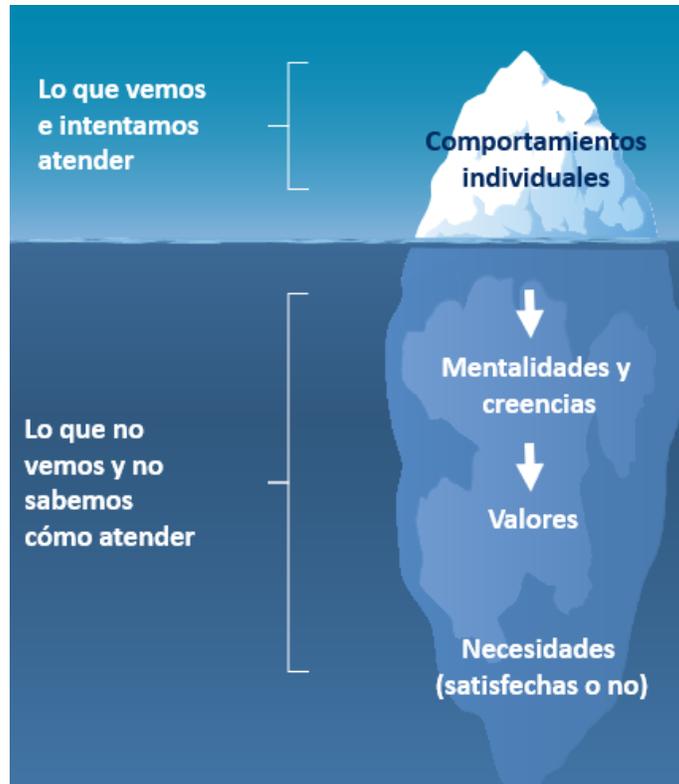


Ilustración 29: Modelo del Iceberg

Cuando hablamos de competencias debemos tener en cuenta que existen características en las personas como las habilidades y conocimientos que son necesarias para desarrollar un trabajo, también existen otras características como los rasgos, motivaciones, etc. Sin embargo, debemos tener en cuenta que gran parte de lo que una persona muestra es una parte mínima, lo que se representa en la metáfora del iceberg, donde lo que se mantiene bajo la superficie está oculto a simple vista, y es precisamente esta parte oculta en la que hay que poner atención para identificar una competencia.

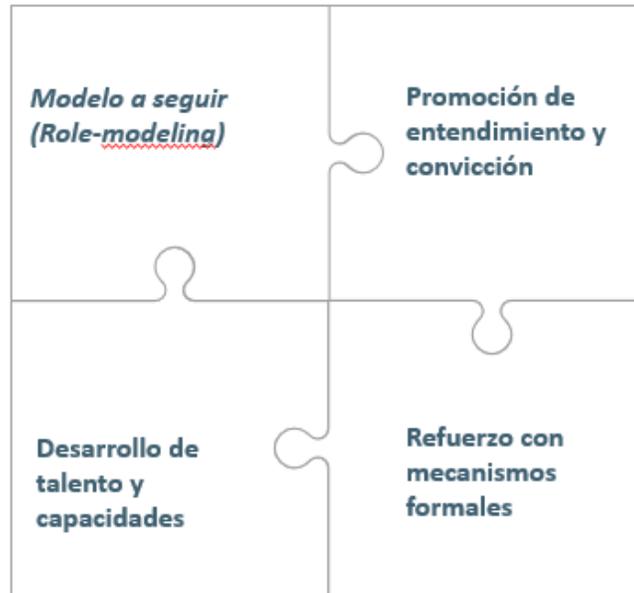


Ilustración 30: Modelo de Influencia

Uno de los modelos para intervenir en las competencias es centrarse en modificar las mentalidades y creencias, los modelos más utilizados son:

- a) **Modelo a seguir (role modeling):** si los líderes, otras personas y mis compañeros actúan distinto, existe una probabilidad de que el comportamiento del trabajador comience a ser similar, debido a que las personas tienden a repetir modelos que observa en otros.
- b) **Conviction (promover la convicción):** si se le explica al trabajador la nueva visión u objetivos de la organización y lo que se espera de él, existe la probabilidad que le haga sentido y la acepte e incluso ayude en promover tal visión.
- c) **Skills (desarrollar talento y habilidades):** si el trabajador recibe las capacitaciones para adquirir los conocimientos necesarios y habilidades, las pondrá en práctica cuando tenga la oportunidad de llevarlas a cabo, por el contrario, si no se siente preparado, es fundamental que pueda recibir la formación para desarrollar los nuevos comportamientos.
- d) **Reinforcing (refuerzo con mecanismo formales):** si el trabajador percibe que los incentivos, retroalimentación y reconocimiento son acordes al cambio que se le pide, terminara adoptando y aceptando el cambio mucho más fácil.

4 SOMA (SISTEMA OPERATIVO DE MANTENIMIENTO)

4.1 ¿Qué es el SOMA?

- El SOMA o Sistema Operativo de Mantenimiento es un conjunto de estándares y procesos que apuntan a optimizar la gestión de activos

4.2 ¿Cuál es el objetivo?

- El objetivo del SOMA es generar valor a Codelco a través de los activos, asegurando el cumplimiento de estrategias de mantenimiento que optimicen su rendimiento

4.3 ¿Cuál es el alcance?

- El SOMA contempla la descripción y da temporalidad a las etapas más relevantes del ciclo de gestión de activos, desde la definición de la estrategia de mantenimiento de equipos hasta el análisis de fin de vida del activo

CONFIABILIDAD	PLANIFICACIÓN	EJECUCIÓN
<ul style="list-style-type: none">• Levantamiento Criticidad de Equipos• Revisión Estrategia Equipos Críticos• Revisión Planes Matrices Equipos Críticos	<ul style="list-style-type: none">• Creación de Estándar Planificación Mediano y Largo Plazo• Establecer e implementar estándar SOMA de quiebre de plan y programa con registro histórico• Definir e implementar estándar de administración del backlog	<ul style="list-style-type: none">• Creación estándares de ejecución• Estándar de revisión de Hojas de Ruta de órdenes de trabajo a ejecutar• Implementar estándar SOMA programa con registro histórico

Ilustración 31: Resumen general SOMA por áreas

4.4 Estructura en capas SOMA

El SOMA posee una estructura de capas, que permite guiar al usuario a través de diferentes niveles de profundidad entre las que podemos destacar:

4.4.1 Capa 0: Política de Mantenimiento.

Con el propósito de asegurar la confiabilidad de sus activos, maximizar los coeficientes de marcha y dar sustentabilidad a los planes de producción, Codelco requiere desarrollarse hacia un mantenimiento proactivo mediante la implementación de estándares y el desarrollo de planes de mejora en los ámbitos de procesos, sistemas, personas y cultura, a través de un sistema operativo que

permita asegurar el correcto funcionamiento y adopción del modelo corporativo de mantenimiento.

4.4.2 Capa 1: Fases del Sistema Operativo.

El sistema operativo se compone de 8 fases que conducen a lograr los objetivos de la corporación

- a) **Fase de inversión Proyectos:** Participar en análisis de nuevos proyectos de inversión de activos garantizando la definición óptima de parámetros de diseño.
- b) **Estudio de criticidad y metas de desempeño:** Realizar análisis de criticidad de los activos de la división, utilizando el estándar corporativo, Definir la tolerancia al riesgo de fallo de cada equipo comprometiendo niveles de confiabilidad de los activos.
- c) **Plan estratégico y plan matriz:** Desarrollar una estrategia a nivel equipo en base a la criticidad para mantenimiento basado en el impacto al negocio, Optimizar las variables producción, costo de mantenimiento y vida útil del activo, plasmando la nueva estrategia en planes de mantenimiento activos en plataforma SAP.
- d) **Ciclo de Mantenimiento:** Planificar y ejecutar la carta de actividades previamente identificadas y de acuerdo a la estrategia definida con adherencia y optimización de los recursos, fomentando la interacción eficaz y coordinada entre las partes interesadas, y buscando la mejora continua de todo el sistema, Registrar de forma estandarizada las mejoras continuas a aplicar.
- e) **Decisiones de fin de vida útil:** Tomar decisiones sobre el momento óptimo para finalizar la vida de un equipo v/s mantenerlo en funcionamiento asumiendo mayores costes.
- f) **Sinergias con áreas relacionadas:** Asegurar la participación de áreas relacionadas al mantenimiento en las diferentes fases del SOMA buscando la mejora continua, eficiencia y eficacia del ciclo de gestión de activos
- g) **Sistemas de gestión, estructura organizacional y competencias:** Asegurar la estructura organizacional correcta y las adecuadas capacidades de sus profesionales, Medir y gestionar el desempeño en cada nivel y función, activando el ciclo de mejora continua, garantizando la estandarización de los procesos y el desarrollo de los equipos.

- h) **Análisis de desempeño:** Utilizar herramientas y procesos de análisis de desempeño de equipos que permitan optimizar el mantenimiento.

4.4.3 Capa 2: Ciclo de mantenimiento.

Está formada por 5 procesos secuenciales.

- a) **Identificación y priorización:** Recopilar los requerimientos de trabajo provenientes de SAP a ser realizados durante el ciclo de mantenimiento con el objetivo de generar un listado de actividades priorizadas y desafiadas en base al nivel de riesgo presente.
- b) **Planificación:** Asignar los recursos necesarios a la lista de actividades entregada por la priorización, distribuyendo la carga de horas disponibles y gestionando la disponibilidad efectiva de los recursos, siendo todo esto plasmado en un Plan de Mantenimiento.
- c) **Programación:** Traducir el plan de mantenimiento en un programa secuenciado de forma de optimizar la ejecución de lo planificado, Asegurar los recursos en terreno necesarios para la ejecución y Manejar el ciclo de reprogramación.
- d) **Ejecución:** Ejecutar el programa de mantenimiento establecido según el plan, respetando procedimientos y calidad, Gestionar las emergencias y hallazgos encontrados en el día a día, Revisar y cerrar las órdenes de trabajo ejecutadas durante el ciclo.
- e) **Post Mantenimiento:** Analizar las oportunidades, brechas y fortalezas del ciclo de mantenimiento con el fin de incentivar la mejora continua y estandarizar mejores prácticas.

4.4.4 Capa 3: Proceso.

Cada proceso se compone de un flujograma que detalla las etapas. Esta capa tiene como objetivo Integrar las actividades priorizadas en un plan de mantenimiento el cual que cuente con los recursos para ser ejecutado mediante un flujo de planificación.

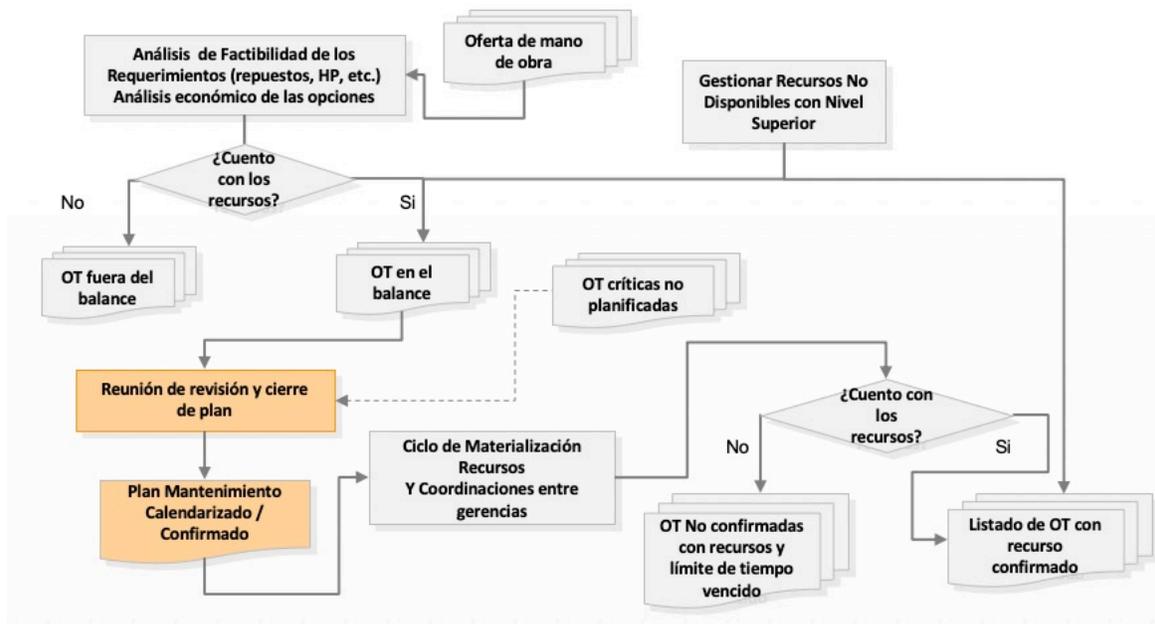


Ilustración 32: Flujo de Planificación

4.4.5 Capa 4: Estándar.

Las etapas más relevantes de cada proceso están normadas. A continuación, se expone un estándar de ejemplo.

a) Participantes:

- Jefe o representante de unidad planificación: Prepara, convoca y lidera.
- Supervisor de planificación: Participa
- Jefe o representante de unidad confiabilidad: Participa
- Jefe o representante de unidad ejecución: Participa
- Jefe o representante de unidad operaciones: Participa
- Equipo de abastecimiento: Participa
- Superintendentes: Firman plan y confirman rol.
-

b) Objetivos y/o temas a tratar:

- Planificación entrega una propuesta de plan de mantenimiento en base a la disponibilidad de recursos, que debe ser aprobada por las áreas.
- Se presentan las actividades que quedaron fuera de la planificación de mantenimiento.
- Última instancia de ingreso de adicionales críticos a planificación

c) Reglas de la reunión:

- Puntualidad para el inicio de la reunión

- El foco de la reunión es la entrega de información; por ningún motivo se debe profundizar en detalles.
- Pedir la palabra para hablar.
- Mantener una única conversación – evitar conversaciones paralelas.
- Llegar preparado a la reunión
- NO usar celular ni computadora.

d) Agenda y duración aproximada:

- Presentación y asistencia
- Reflexión sobre seguridad
- Entrega de propuesta de plan de mantenimiento para N-2 (de acuerdo con el análisis de factibilidad y las iteraciones con criticidad)
- Presentación de actividades que no quedan en plan (última instancia de apelación)
- Aprobación de todos los integrantes (firma de superintendentes)
- Cierre formal.

e) Agenda y duración aproximada:

- Balance consolidado (análisis de factibilidad de las OTs) realizado por planificación.
- Plan de mantenimiento semanal propuesto.

f) Outputs (entregables/ resultados):

- Plan de mantenimiento semanal formalizado y comprometido.

5 HERRAMIENTAS DE GESTIÓN DE VULNERABILIDADES

5.1 Herramientas de gestión visual

Los seres Humanos recogen información principalmente por el sistema visual en aproximadamente en un 83% de la información, auditivo 11%, olfato 3,5%, tacto 1,5% y gusto 1%.

Debido a lo anterior que la gestión visual debe ser una de las herramientas prioritarias debido a que la mayoría de la información que recibimos es visual, teniendo un impacto directo en las personas, es por eso por lo que la gestión visual nos permite comunicar de forma precisa y orientar sobre la toma de decisiones a los trabajadores a través de señales.

Es importante determinar la información que queremos que los trabajadores conozcan, además el lugar debe ser adecuado, como visible y fácil de leer, como

por ejemplo a través de indicadores diarios, semanales etc. o relacionados con la seguridad estandarización de operaciones, acciones preventivas y avisos.

En el área de confiabilidad se desarrolló una herramienta de gestión llamada estándares de equipos, por medio de la cual se dividió el activo en sus principales componentes y subcomponentes, asignando límites permisibles tanto de seguridad y operatividad, las que finalmente se traduce en un %, el porcentaje final es un promedio ponderado asignando un mayor peso a elementos de mayor criticidad.

Para hacer mucho más amigables los estándares de equipos y tomando en cuenta la Gestión Visual, se desarrolló una herramienta de gestión llamada “Mapa de Calor” el cual sigue la lógica del layout de la planta, determinando distintos colores y porcentajes rangos “dentro estándar”, “en seguimiento”, “administrable” y “crítico” y con ello ayudar a administrar de mejor manera las vulnerabilidades de los activos.

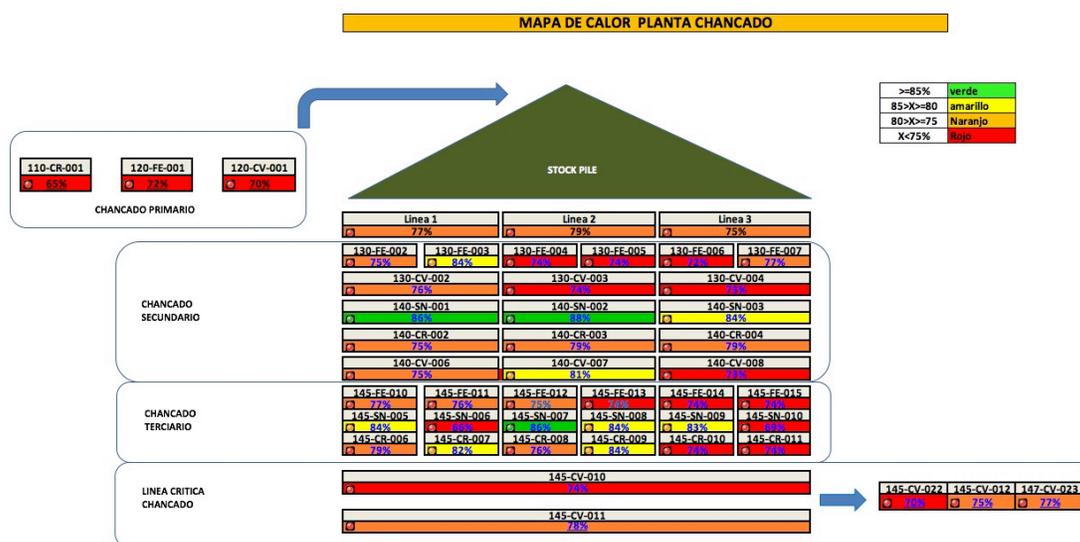


Ilustración 33: Mapa de Calor

Entre otros de componentes o elementos de la gestión visual podemos destacar el Waterfall o gráfico de cascada, el cual es una herramienta que se caracteriza por estar compuesta por actividades secuenciales, agrupadas en ciclos de tiempo, considerado el programa de producción establecido e identificando las pérdidas (Rojo) y sobre cumplimientos (Azul).

Existen numerosas fallas de corta duración, pero de alta repetición llamadas fallas crónicas, muchas de estas fallas no cuentan con planes asociados de prevención o de corrección lo que dificulta su control y erradicación. Debido a esto se implementó el método grafico de cascada para lograr aplicar un plan de acción a estas fallas considerando responsables y horizonte de planificación o normalización.

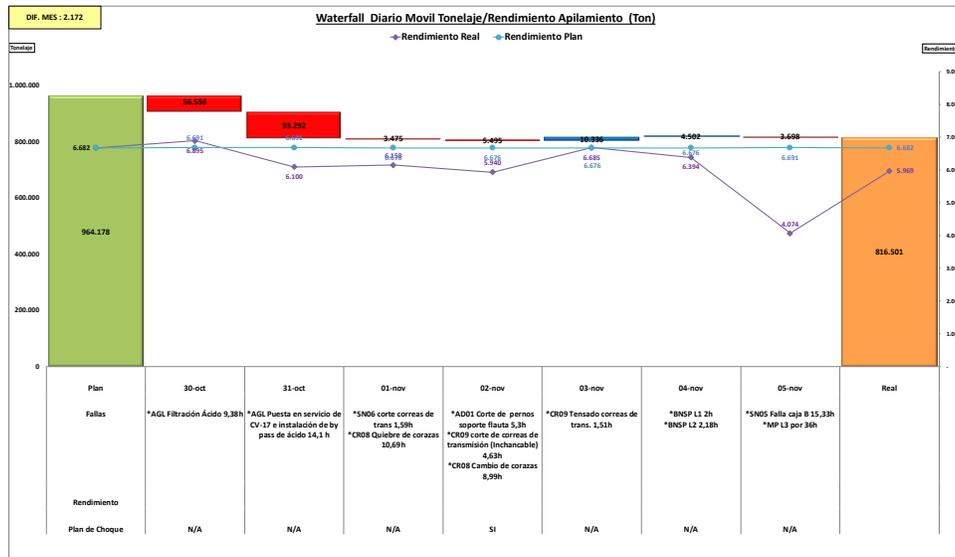


Ilustración 34: Waterfall diario

5.2 Metodología AMEF

De sus siglas AMEF Análisis de modos y efectos de falla es una metodología que permite identificar las formas por las cuales un proceso o producto puede llegar a fallar, permitiendo con ello generar acciones de prevención antes que el evento se desencadene.

Esta metodología tiene sus inicios en la década de los 40s, siendo desarrollada por organizaciones militares en los EE. UU., llegando a ser utilizada por la NASA en lo que refiere a diseño y producción de transbordadores espaciales, teniendo como objetivo anticipar lo que podría ser un mal diseño o proceso que antes que se pierdan recursos útiles en desarrollarlo.

Esta metodología se creó con el propósito de evaluar confiabilidad de los equipos, identificando fallas en procesos, sistemas, productos, clasificando de forma precisa efectos y causas, para evitar que se repitan, y documentando la prevención.

En el año 1988 se publicó por medio de la Organización Internacional de Estandarización (ISO), una serie de normas ISO 9000 para la gestión y la calidad, lo que llevo a organizaciones a desarrollar sistemas de gestión con un enfoque puesto en los requerimientos, necesidades y expectativas del cliente.

La metodología AMEF puede ser considerada un método de análisis estandarizado para la detección y eliminación de problemas y fallas de forma sistemática, este método ha sido utilizado en diversos sectores económicos, desde la industria automotriz hasta la minería, su utilización es de amplio espectro, siendo utilizado incluso en el ámbito de administración y servicios.

El proceso AMEF se utiliza para el análisis de procesos de instalación, ensamblaje y fabricación teniendo como enfoque principal los errores y defectos:

Control: Es una herramienta que se utiliza para el análisis, haciendo un seguimiento a un punto específico del proceso, con el objetivo de determinar posibles fallas o errores que repercutan en los resultados, comparando los resultados actuales con los planes, para tomar medidas correctivas necesarias.

Seguimiento: se propone seguir y tener un control sobre la ejecución del proyecto, a nivel financiero, físico, institucional, objetivos, etc.

El aseguramiento de la calidad de los procesos por medio de esta metodología, con auditorías y controles de los procesos, permitirán generar un cambio positivo en cuanto a calidad, y fomentar una cultura preventiva como la mejora constante de los procesos, eliminando costos, errores, satisfaciendo a los clientes

5.3 Análisis de Criticidad

El análisis de criticidad es una metodología que nos permite establecer la jerarquía de priorización entre instalaciones, sistemas, equipos y componentes de un equipo teniendo como eje principal el impacto que estas tuvieran en el negocio, de acuerdo al producto de la frecuencia de fallas por la gravedad de su ocurrencia, sumándole el impacto que pudiese tener en la población, trabajadores, producción, medio ambiente, etc.

Esta herramienta nos permite apoyar y orientar la toma de decisiones que nos permita priorizar los esfuerzos de la gestión del mantenimiento, cada organización fija sus propios rangos de criticidad Baja, Media o Alta, de acuerdo a la definición de ocurrencia o impacto.

5.4 Curva PF

El mantenimiento predictivo es una serie de acciones y tareas que tienen como objetivo de obtener información, para la realización de un diagnóstico y detección prematura de fallas potenciales, que faciliten tomar decisiones y acciones antes de la pérdida de la función, este tipo de mantenimiento predictivo se basa específicamente en el monitoreo permanente, entre sus ventajas:

- a) Reduce los tiempos de parada de los equipos
- b) Permite optimizar la ejecución del mantenimiento preventivo
- c) Permite el monitoreo y la evolución de las fallas
- d) Permite optimizar la asignación de personal
- e) Permite la verificación de los equipos.

Es en este tipo de mantenimiento, se destaca la curva PF, que es una herramienta analítica que se utiliza especialmente en este tipo de planes de mantenimiento, basado principalmente en la fiabilidad y estándares RCM. Teniendo en cuenta que ningún equipo industrial tiene una duración ilimitada, ni está libre de fallas, es esencial una estrategia de mantenimiento centrada en la confiabilidad, mantener disponibles y confiables por largos periodos de tiempos los equipos de acuerdo con sus características y diseños, optimizando recursos.

En esta curva “P” se refiere a cuando la falla puede ser detectada, cuando esta no se detecta y no se toman medidas correctivas esta se deteriora, hasta ser considerada una falla funcional “F”.

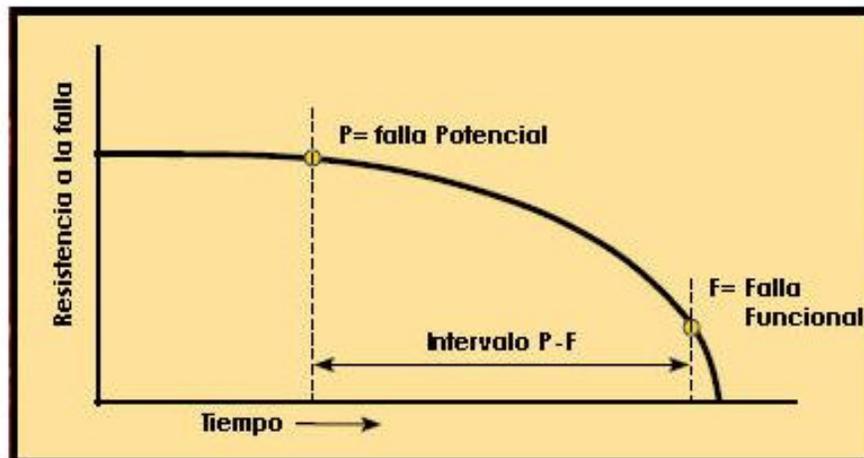


Ilustración 35: Curva PF

Esta mejora tiene como objetivo detectar en forma temprana condiciones fuera de parámetros normales de operación o diseño que puedan provocar potenciales fallas, permitiendo tomar acciones anticipadas (Preparación de repuestos, Cambios de Aceite, inspecciones periódicas, etc.)

5.5 Controles de calidad QAQC

Los aseguramientos y controles de calidad son los procesos que las organizaciones usan para asegurar que el producto, y la calidad mejoran, y que los errores se reducen o eliminan. Los servicios QAQC son procedimientos que aseguran una calidad global controlando y supervisando las operaciones que se requiera.

Es la capacidad de garantizar la confiabilidad de resultados en una medición aplicando los factores que le dan a los valores medidos trazabilidad según las referencias establecidas, logrando la cuantificación adecuada de la incertidumbre de la medición y demostrando que dicha incertidumbre total se encuentra en las especificaciones aceptables.

Los instrumentos al ser susceptible de cometer errores en la medición debido a su construcción y desgaste, es por ello por lo que es importante conocer el error del instrumento debido a que puedo precisar el nivel de confianza del proceso, es por esto por lo que se necesita asegurar y controlar la calidad de las mediciones, porque las mediciones confiables permitir un uso correcto y eficiente de los procesos eliminando y controlando los errores.

5.6 Quick Wins

Son las denominadas victorias rápida o ganancias tempranas, específicamente se refiere aquellas acciones que, en el marco de un proyecto de largo plazo, pueden implementarse de forma instantánea o rápidamente al tener poca complejidad, al estar al alcance, basan su importancia en que son esenciales debido a que tienden a estimular a otros trabajadores involucrados en el proyecto, propiciando las condiciones para futuras acciones similares.

En un proyecto u operación, existen múltiples tareas muchas de ellas quedan pendientes, algunas necesitaran ser abordadas según criterios de preferencia, cuando se analiza la situación y todas las tareas son importantes se debe dar preferencia a tareas que se puedan llevar a cabo con acciones rápidas, que podrían tener un efecto rápido e inmediato en los resultados, es a estos resultados, a estos se les denomina “Quick Wins” son pequeños logros instantáneos, que ayudan a mejorar los resultados como recursos.

6 IDENTIFICACIÓN DE BRECHAS – BENCHMARK

Benchmarking es el proceso sistemático de investigar, identificar, comparar y aprender de las mejores prácticas de otras organizaciones, sean del mismo sector o no, analizando ordenadamente el conjunto de factores que inciden en el éxito de estas, aprender de sus logros y aplicarlos en nuestros propios procesos de mejora. En este aspecto se definieron 5 dimensiones de análisis a ser medidas con otras empresas similares, en este caso divisiones de Codelco.

Medición de procesos Mantenimiento – Identificación de brechas División Gabriela Mistral.

Dimensión diagnosticada	DGM %	Brecha identificada
Criticidad y Estrategia	83	- Metodología de criticidad - Metas de desempeño
Identificación y priorización	90	- Input de identificación
Planificación y programación	97	- Coordinación con áreas de interés - Horizonte de planificación
Ejecución	89	- Tratamiento de hallazgos - Coordinación con áreas de interés - Notificación y cierre
Post Mantenimiento	76	- Input del proceso - Frecuencia de realización - Disciplina

Ilustración 36: Brechas DGM

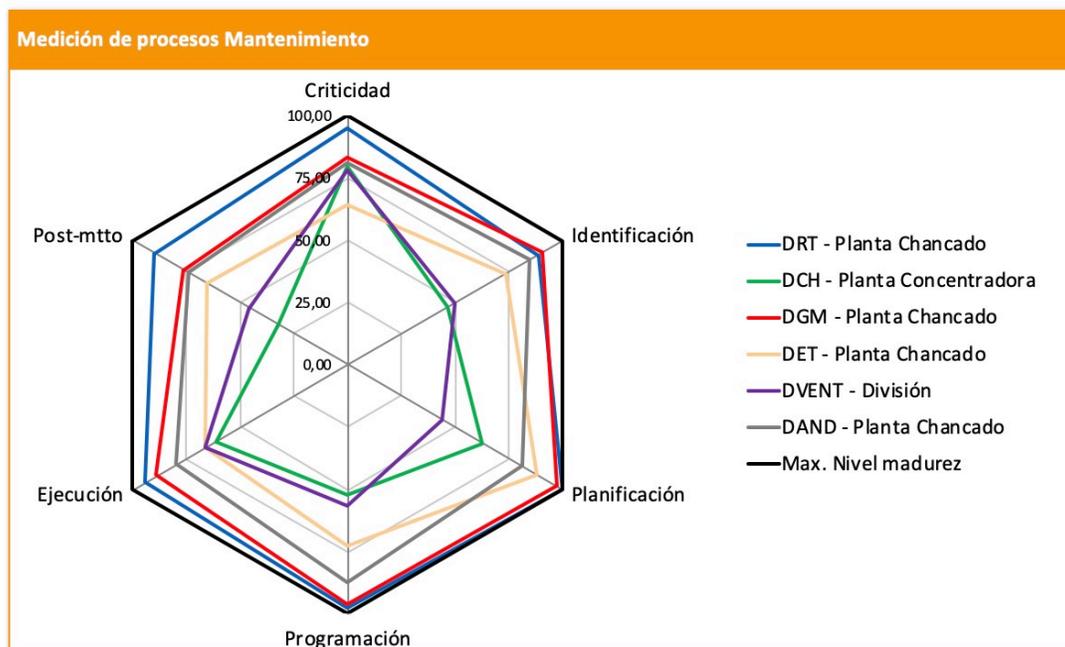


Ilustración 37: Benchmarking Divisiones Codelco

Comparando los resultados se puede observar que la planta de chancado de la División Gabriela Mistral se encuentra bajo el nivel de madurez ideal, encontrando brechas importantes en la Identificación, Criticidad, Ejecución y post. mantenimiento, sin embargo, en relación a otras divisiones se encuentra entre las de mayor rendimiento.

7 ESTRATEGIA DE CONFIABILIDAD

Uno de los aspectos principales es seleccionar el tipo de mantenimiento a utilizar, basado en las características de las fallas que se espera que puedan ocurrir, podemos clasificar las fallas en 3 categorías, la falla repentina que se refiere cuando ocurre en un tiempo corto y las fallas de desarrollo progresivo que pueden dividir en intervalo de tiempo uniforme y aleatorio. Los principios tanto del mantenimiento preventivo como predictivo se basan en que la falla se desarrolla progresivamente, el mantenimiento preventivo conlleva intervalos regulares de intervención, mientras que el mantenimiento predictivo asume un desarrollo progresivo de la falla, lo que justifica el concepto de tendencia.

Existen situaciones donde el mantenimiento preventivo regular es la estrategia adecuada, cuando el deterioro de los elementos de la máquina tiene un desarrollo progresivo uniforme a pesar de las distintas situaciones que hacen más adecuada ciertos tipos de mantenimiento la tendencia general hacia una estrategia basada en la condición de la máquina. Sin embargo, debemos tener en cuenta que la estrategia de mantenimiento óptima será un equilibrio entre el desarrollo combinado y ponderado de un programa correctivo, preventivo, predictivo.

Por otra parte, es importante considerar en el desarrollo de una estrategia de confiabilidad el factor económico, debemos considerar si es económicamente ventajoso la estrategia propuesta según el costo/beneficio, uno de los enfoques para intentar evaluar la estrategia de mantenimiento, es determinar los equipos o familia de equipos que causaron mayores detenciones producidas durante el 2017, eliminar o mitigar fallas de manera insipiente (planificadas) permite el ahorro de costos.

Para llevar acabo los objetivos planteados se confecciono una estrategia de confiabilidad mixta, que consiste en una combinación de técnicas y herramientas de confiabilidad para la optimización de los procesos industriales. El diseño y la implementación de este tipo de estrategia implicó la aplicación de herramientas de diagnóstico como de aplicación entre las cuales podemos destacar: OEE, Jack Knife, C+, SOMA, RCM, RCA o RdP, AMEF, Benchmarking, KPIs, y mejora continua, entre otros. (Amendola, 2018)

A continuación, se presenta un esquema de aplicación del modelo de confiabilidad mixta propuesto.



Ilustración 38: Modelo de Confiabilidad Mixto de Confiabilidad

8 EVALUACIÓN ECONÓMICA DE ESTRATEGIA

La estrategia descrita en esta tesis se ha extendido a una mayor cantidad de activos del área de chancado durante el año 2017, obteniendo resultados a partir del año 2018 en el cual, se evidencia una tendencia a la baja de los costos reales v/s presupuesto en componentes principales tales como chancadores, harneros y correas transportadoras, sin embargo no se consiguieron las metas de acuerdo a presupuesto en elementos de desgaste tales como corazas de chancadores, placas guías y mallas de harneros.

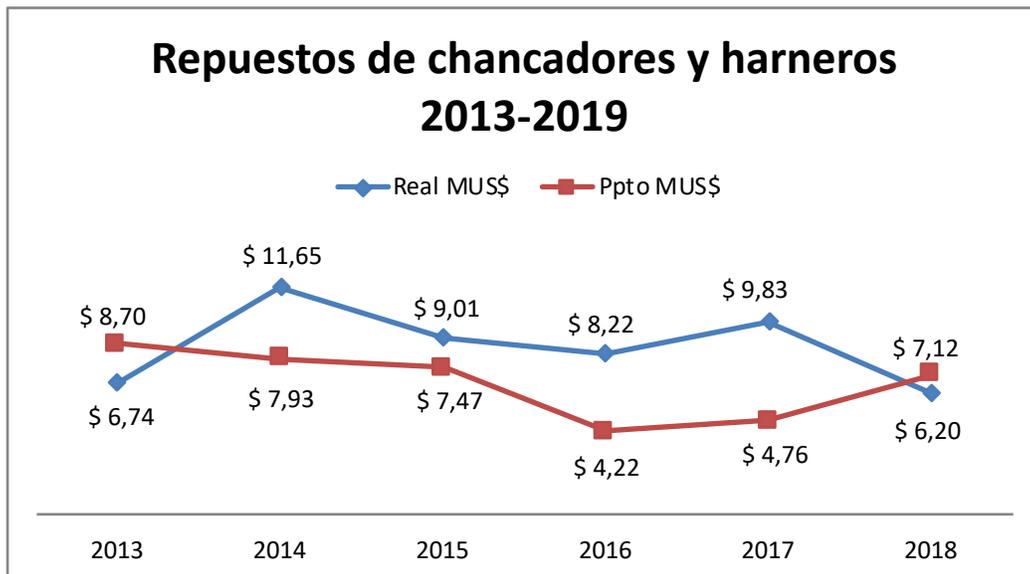


Ilustración 39: Costo Repuestos Chancadores y Harneros

En este gráfico podemos apreciar a nivel global durante el periodo 2013-2018 una fluctuación en el gasto real, registrando su mayor valor en el año 2014. En lo que

respecta al periodo 2017 al 2018, donde se puso en marcha la estrategia se observa una tendencia hacia la baja, logrando una reducción de \$9,83 a \$6,20, lo cual concuerda con las expectativas de esta tesis, debido a que la aplicación de la estrategia de confiabilidad se obtuvo una disminución aproximada del 37,1% en el valor real, teniendo como referencia el 2017. Lo anterior debido principalmente a estandarización de procesos (Hojas de Ruta), capacitación de personal, aplicación de la estrategia 5S en el área e implementación de la estrategia de confiabilidad propuesta.

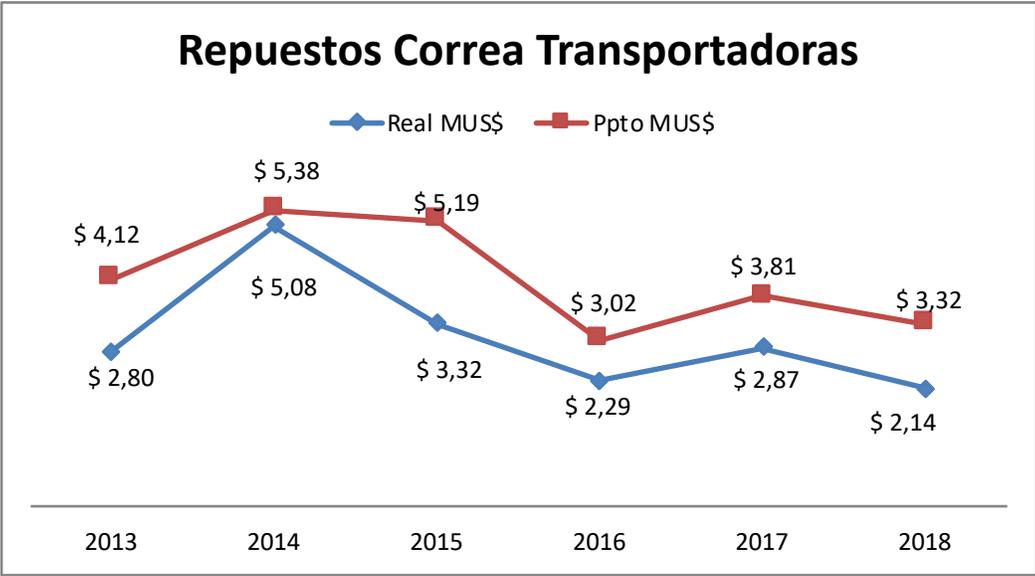


Ilustración 40: Costo repuestos Correos Transportadoras

En la gráfica de repuestos de correa transportadores para el periodo 2013-2018 podemos observar una fluctuación en el costo real alcanzando su mayor alza en el año 2014 cayendo sostenidamente durante los años 2015 y 2016, luego para el año 2017, se aprecia una pequeña tendencia al alza, para posteriormente tender hacia la baja para el periodo 2018, logrando una disminución del 25.4% en el valor real tomando como referencia el año 2017. Lo anterior gracias a la estrategia aplicada, como por ejemplo estandarizaciones de procesos (Empalmes), capacitaciones de personal y aplicación de C+ y de la estrategia en general.

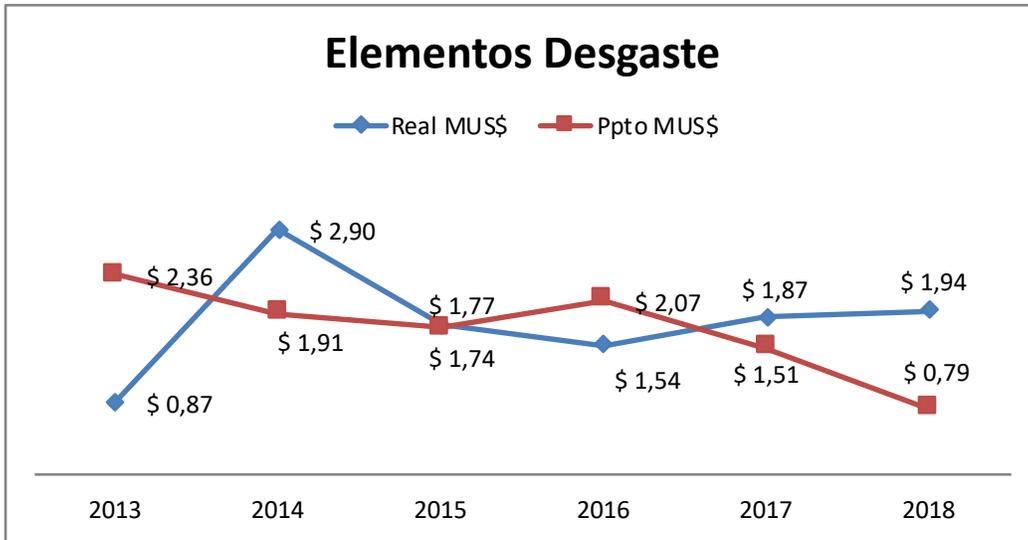


Ilustración 41: Costos Elementos de desgaste

En la gráfica elementos de desgaste para el periodo 2013-2018 se observa un alza en el costo real en el 2014 llegando a su punto máximo durante el mismo, posteriormente para el año 2017 hacia el 2018 se aprecia un pequeña tendencia hacia el alza del 3,74% periodo donde se llevó a cabo la estrategia, lo cual indica que en esta área no se logró el objetivo de disminuir los costos reales, una posible explicación a este resultado en esta área podría ser, debido al repotenciamiento de líneas, planes de producción más exigentes (Tonelaje Pasante) por las líneas y en el caso de las corazas mayor ajuste de chancadores (Setting) de 16 a 15mm lo que ha incrementado la tasa de desgaste aumentando la frecuencia de cambio de estos componentes. Lo que podría implicar que el tratamiento para disminuir los costos reales en esta sección deba ser abordados trabajando en una estrategia de confiabilidad y rendimiento de desgaste mejorando por ejemplo las aleaciones de los componentes de desgaste, o realizando protocolos de pruebas de elementos de desgaste con otros proveedores.

En resumen, durante el año 2017 se obtiene un costo real de elementos principales de MUS\$ 14,57 y en el año 2018 se aprecia costo de MUS\$ 10,28 logrando una disminución de MUS\$ 4,29 lo que equivale a una baja porcentual del 29,44%.

9 RESULTADOS EN DISPONIBILIDAD DE LA ESTRATEGIA

La disponibilidad es el porcentaje de horas nominales en que los activos estuvieron en condiciones mecánicas y/o eléctricas, etc., de ser operados (%)

La disponibilidad se calcula mediante la siguiente formula:

$$\text{Disponibilidad (\%)} = \frac{\text{Tiempo Nominal} - \text{Tiempo Fuera de Servicio}}{\text{Tiempo Nominal}}$$

Para calcular la disponibilidad se deben considerar ciertos criterios descritos en la norma ASARCO (American Smelting & Refining CO) la cual es un marco de referencia para definición de conceptos y distribución de los tiempos en el que los activos incurren durante la operación, esta norma nos proporciona indicadores de comportamiento y del rendimiento de los equipos.



Ilustración 42: Norma ASARCO

Definición de tiempos

Nominal: Espacio de tiempo en que se produce la medición, corresponde generalmente al año calendario.

Disponible: Tiempo en que el equipo está habilitado y en buenas condiciones para cumplir con su función de diseño.

Fuera de servicio: Tiempo en que el equipo no está en condiciones de operar
Programado: tiempo para Mantenciones Programadas
No Programado: tiempo donde el equipo no se encuentra disponible debido a fallas propias e inherentes a la unidad
Excluido: tiempo donde el equipo no se encuentra disponible para la operación debido a fallas no propias del equipo (ej.: accidentes).

Reserva: Tiempo en que el equipo, estando en condiciones mecánicas de operación, no es utilizado en labores productivas por falta de operador, condiciones climáticas.

Operativo: Tiempo en que el equipo se encuentra con operador, habilitado para cumplir su función de diseño y con una tarea asignada.

Efectivo: Tiempo en que el equipo se encuentra desarrollando las actividades específicas de diseño para los cuales ha sido adquirido.

Demora Programada: Tiempo de ineficiencias propias del proceso productivo de las cuales se conoce su duración máxima. Esta categoría está compuesta por: cambio de turno, colación, tronadura y combustible.

Detención No Programada: Tiempo de ineficiencias del proceso productivo de las cuales no se conoce su ocurrencia ni duración. Ejemplo: baño, obstrucción de vía, cambio de sitio, limpieza de frente, etc.

Pérdidas Operacionales: Tiempo en que el equipo no puede cumplir con su función debido a ineficiencias de los ciclos operativos. Esta categoría está compuesta por: camión espera en equipo de carguío o descarga, pala espera por camión, chancado espera por camión, etc.



Ilustración 43: Disponibilidad Planta

Una vez conceptualizado el cálculo de la disponibilidad y evaluando la estrategia de confiabilidad propuesta e implementada, podemos observar que dicho indicador o KPI nos indica un alza en la disponibilidad a partir del año 2017 tomando como base

el año 2016, lo que evidencia una tendencia alcista que proyecta mejores resultados en los años futuros. Durante el periodo de implementación se consiguió una disponibilidad de 83,29% alcanzando el 83,54% durante el año 2018.

10 CONCLUSIÓN

El mantenimiento es parte fundamental de la seguridad y la confiabilidad de los equipos. Debido a las fluctuaciones del precio del cobre, baja ley media de yacimientos y condiciones cada vez más exigentes, hace pertinente destinar mayores esfuerzos al desarrollo de estrategias en el área de mantenimiento.

Tomando en consideración el análisis de la data histórica de fallas mediante diversas herramientas tales como OEE, Pareto y Jack Knife se logró determinar que el principal equipo que impacto con las mayores pérdidas de tonelaje en el año 2017 fueron los chancadores con un total de 2.301.931 tmh/año, aportando negativamente en el global de costos de la gerencia de mantenimiento.

Para corregir los factores responsables se implementaron nuevas políticas corporativas de estandarización en los procesos de mantenimiento tales como, C+, el Sistema Operativo de Mantenimiento SOMA, desarrollo de herramientas de gestión de vulnerabilidades propias de la división que conllevan a una nueva estrategia como la propuesta, que permita disminuir costos en el área de Mantenimiento en la División Gabriela Mistral - CODELCO.

La estrategia de confiabilidad mixta proporciona a través de un proceso global que la totalidad de los subprocesos involucrados sean confiables disminuyendo la probabilidad de fallas.

Mediante la implementación de esta estrategia se puede intervenir tempranamente los síntomas de la falla a través de monitoreo de variables operacionales de los equipos, lo que nos permite anticipar o evitar consecuencias negativas en los indicadores finales.

El Benchmarking de la madurez del mantenimiento nos ha permitido conocer las brechas existentes respecto a otras divisiones y mejorar factores responsables o agravantes de las brechas tales como, estandarización de los procesos, identificación y priorización de vulnerabilidades, post. Mantenimientos.

Los beneficios de esta estrategia permiten integrar distintas herramientas y técnicas, tanto de diagnóstico como de análisis, gestión, estandarización de procesos y determinación de causas raíces, de acuerdo a los requerimientos de área de chancado, entre otros beneficios podemos destacar:

- Mejora del desempeño económico.
- Mejora la toma de decisiones basado en la información.

- Asegurar el desempeño de los activos.
- Mejora la sostenibilidad relacionada a los efectos de corto y largo plazo.
- Logro de los objetivos organizacionales.
- Sistematización del Mantenimiento
- Adquisición de competencias

Como resultado de la aplicación de la estrategia tuvo un impacto positivo en el negocio y consideramos el periodo de inicio de la implementación (Año 2017) versus el año de consolidación 2018. Durante el año 2017 se obtuvo un costo real de elementos o componentes principales de MUS\$ 14,57, mientras que en el año 2018 se aprecia costo de MUS\$ 10,28 logrando una disminución de MUS\$ 4,29 lo que equivale a una baja porcentual del 29,44%.

Otro resultado importante fue el impacto de la disponibilidad donde podemos observar un alza a partir del año 2017, tomando como base el año 2016, lo que evidencia una tendencia alcista que proyecta mejores resultados en los años futuros. Durante el periodo de implementación se consiguió una disponibilidad de 83,29% alcanzando el 83,54% durante el año 2018.

En resumen, la estrategia de confiabilidad tiene un impacto directo tanto en las personas, como en los activos, ya que la disciplina, desarrollo de competencias y estandarización, etc., permiten sostener un crecimiento integral en la organización, obteniendo resultados positivos tanto a nivel individual como global, debido a que estos elementos, se potencian mutuamente, este tipo de enfoque es recomendable para empresas que se propongan objetivos a mediano y largo plazo.

11 BIBLIOGRAFÍA

- Arata, A. (2005). *Manual de gestión de activos y mantenimiento*.
- Arata, A. (2009). *Ingeniería y gestión de la confiabilidad operacional en plantas industriales*.
- Arata, A. (2013). *Ingeniería de la confiabilidad*.
- Moubray, J. (2004). *Mantenimiento centrado en la confiabilidad*.
- Pascual, R. (2009). *El arte de mantener*.
- Crespo, A. (2015). *Ingeniería en mantenimiento y fiabilidad aplicada en la gestión de activos*.
- Primera, E. (2017). *Ingeniería de confiabilidad*.
- Windmuller, A. (2017). *Manual de confiabilidad operacional*.
- Vallés, L. (2014). *Fundamentos de la ingeniería de la confiabilidad*.
- Codelco. (2018). *Sistema operativo de mantenimiento (SOMA)*.
- Codelco. (2013). *Manual para la gestión del mantenimiento*.
- Codelco. (2016). *Curso Corporativo Kaizen*.
- Codelco. (2017). *Curso Corporativo Academia C+*.
- Codelco. (2018). *Taller de Mantenimiento Corporativo DGM*.
- Amendola, L. (2018). *Modelos mixtos de confiabilidad*. Valencia: PMM Institute for learning.
- Guizar, R. (2013). *Desarrollo Organizacional*. Mexico.
- Arata, A., & Alessio, A. (2013). *Ingeniería de la confiabilidad*. Ril editores.