UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

VALPARAISO – CHILE

"ESTUDIO DE REINGENIERÍA EN EL DISEÑO DE PLAN ESTRATÉGICO DE MANTENIMIENTO DE PLANTA PREPARACIÓN DE CARGA DE EMPRESA MINERA BASADO EN MODELOS DE MANTENIMIENTO Y CENTRADO DE CONFIABILIDAD"

CARLOS IGNACIO ARAVENA ROSAS

MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL MECÁNICO

PROFESOR GUÍA: MBA. ING. RENÉ VALDENEGRO OYANEDER

PROFESOR CORREFERENTE: DR. ING. PEDRO SARIEGO PASTÉN

ENERO - 2020

DEDICATORIA

Para ustedes:

Papá,
porque desde que nací has trabajado duro para darme lo mejor,
porque me has enseñado a crecer apoyandome día a día,
porque muchos de mis logros te los debo a ti.
gracias por haberme forjado como la persona que soy.

Mamá,
fuiste tú la que me trajo a este mundo,
pasaste como una estrella fugaz en nuestras vidas,
pero tu luz brillará por siempre en nuestro corazones,
todo para ti.

Los amo.

RESUMEN

En el presente trabajo de título se generó un informe que documentará la realización de una propuesta óptima de mantenimiento en el marco de *Planta Preparación de Carga* de la Fundición y Refinería perteneciente a la División Ventanas de Codelco. Esta tuvo lugar de aplicación según jerarquización de equipos dado su nivel de criticidad.

La propuesta consta en rediseñar estratégicamente los planes de mantenimiento actualmente llevados a cabo, en sintonía con las metas corporativas de la empresa.

Para esto, en primera instancia fue necesario comprender el funcionamiento de los activos en el contexto operacional que esta inmersa la problemática principal, levantando información técnica desde sistema SAP PM y del propio personal del área para así luego complemetarla con manuales de mantenimiento. En esta etapa del trabajo se hizo indispensable elaborar diagramas funcionales en paralelo a la estandarización de base de datos.

Luego se procedió a jerarquizar los activos presentes mediante análisis de criticidad para de este modo poder optimizar recursos y adquirir conocimiento según indicadores de desempeño.

Finalmente, para determinar las acciones de mejora el trabajo de fundamentó en Reliability Centred Maintenance, aportando con la implementación del Sistema Operativo de Mantenimiento mediante la propuesta piloto *Estrategia Òptima de Mantenimiento* que especifica a 8 equipos críticos y 24 semi-críticos, en definitiva con foco a instaurar el mantenimiento proactivo en la División.

ABSTRACT

In this title work, a report was generated that documented the realization of an optimal maintenance proposal within the framework of *Planta Preparación de Carga* of the Smelting and Refining inside División Ventanas of Codelco. This took place according to the hierarchy of equipment given its level of criticality.

The proposal consists in strategically redesigning the maintenance plans currently carried out, in line with the corporate goals of the company.

For this, in the first instance it was necessary to understand the operation of the assets in the operational context that is immersed in the main problem, gathering technical information from the SAP PM system and the area's own personnel, and then complementing it with maintenance manuals. At this stage of the work it became essential to develop functional diagrams in parallel to the database standardization.

Then we proceeded to rank the assets present through criticality analysis in order to optimize resources and acquire knowledge according to performance indicators.

Finally, to determine the improvement actions, the work based on Reliability Centred Maintenance, contributing with the implementation of the Maintenance Operating System through the pilot proposal Optimal Maintenance Strategy that specifies 8 critical teams and 24 semi-critical teams, ultimately with focus to establish proactive maintenance in the Division.

GLOSARIO

CH: Chancador rotatorio Hidrocono, Planta Preparación de Carga.

CB: Chancador de mandíbula Blake, Planta Preparación de Carga.

46A: Correa transportadora 46A, Planta Preparación de Carga.

4b7: Correa transportadora 4b7, Planta Preparación de Carga.

4b8: Correa transportadora 4b8, Planta Preparación de Carga.

HP: Harnero primario, Planta Preparación de Carga.

HS: Harnero vibratorio secundario, Planta Preparación de Carga.

HT: Harnero vibratorio terciario, Planta Preparación de Carga.

DVEN: División Ventanas.

GFURE: Gerencia Fundición y Refinería.

SIM: SuperIntendencia de Mantenimiento.

ERP (Enterprise Resource Planning): Conjunto de sistemas de información que permite la integración de operaciones en la empresa.

OT: Orden de Trabajo.

SOMA: Sistema Operativo de Mantenimiento.

PRECA: Planta de Preparación de Carga.

ART: Documento que indica Análisis de Riesgo de la Tarea a realizar.

CT: Convertidor Teniente.

CPS: Convertidor Pierce Smith.

MPA: Máquina Preparadora de Ánodos.

PAS: Planta Ácido Sulfúrico.

EPP: Equipo de Protección Personal.

UT's: Ubicaciones Técnicas.

KPI (Key Performance Indicator): Indicador clave de rendimiento. Métricas claves de la organización que definen en concreto los objetivos más relevantes de cada nivel asegurando su alineación con las metas.

C+: Forma en que Codelco ha adaptado y denominado a la metodología Lean. Por lo tanto, es la marca que engloba la iniciativa Lean en la corporación.

SAP: Software que permite organizar la información de la corporación mediante una base de datos.

MTBF (Mean Time Between Failures): Tiempo medio entre reparaciones realizadas al ítem frente a una avería.

MTTR (Mean time to repair): Tiempo medio utilizado en la reparación del ítem ante una avería.

Confiabilidad: Capacidad de un ítem para cumplir su función específica bajo ciertas condiciones y con un rendimiento definido durante un período de tiempo determinado. Herramienta que puede se expresada como la probabilidad de que funcione orrectamente en las condiciones operativas de diseño durante un determinado período de tiempo.

Mantenibilidad: Facilidad con la que puede realizarse una intervención de mantenimiento. Se puede expresar como la probabilidad de que un ítem averiado pueda ponerse de nuevo en su estado operativo en un período de tiempo dado, cuando el mantenimiento se realiza en condiciones determinadas y se efectúa con los medios y procedimientos establecidos.

Disponibilidad: Capacidad de un ítem para efectuar su función en un determinado momento, o bien durante un determinado período de tiempo, bajo ciertas condiciones y con un rendimiento definido. La disponibilidad de un ítem no implica necesariamente que esté funcionando, sino que se encuentre operativo.

Tiempo disponible (UT, Up-Time): Período de tiempo en que un ítem está en condición admisible de utilización, independiente de que se utilice o no.

Tiempo no disponible: (DT, Down-Time) Período de tiempo en que un ítem no esta en condición admisible de utilización a causa de una avería.

Tasa de falla: Número de averias de un ítem por una unidad de tiempo.

Criticidad: Es un indicador proporcional al riesgo que permite establecer la jerarquía o prioridades del ítem, creando una estructura que facilita la toma de decisiones acertadas y efectivas, y permite direccionar el esfuerzo y los recursos a las áreas donde es más importante y/o necesario mejorar la confiabilidad y administrar el riesgo.

Jerarquización: Ordenamiento de tareas de acuerdo con su prioridad.

Prioridad: La importancia relativa de una tarea en relación con otras tareas.

Contexto Operacional: Conjunto de factores relacionados con el entorno; incluyen el tipo de operación, impacto ambiental, estándares de calidad, niveles de seguridad y existencia de redundancias.

Consecuencia: Resultado de un evento. Puede exitir una o más consecuencias de un evento, las cuales sean expresadas cualitativa o cuantitativamente, Por ello, los modelos para el cálculo deben considerar los impactos en seguridad, ambiente, producción, costos de reparación e imagen de la empresa.

Activo Físico: Conjunto de ítems de carácter permanente que una empresa utiliza como medio de explotación.

Averia: Incapacidad de un ítem para realizar su función específica. Equivalente al término Falla.

Curva de la bañera: Representación gráfica característica que relaciona la Tasa de Fallas de un ítem con su Tiempo de Operación.

RCM (Reliability Centred Maintenance): Proceso utilizado para determinar que se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional actual.

Ciclo de vida: Tiempo durante el cual un ítem conserva su capacidad de utilización. El período abarca desde su adquisición hasta que es sustituido o es objeto de restauración.

Componente: Unidad perteneciente a un conjunto, que generalmente no es funcional por si mismo, y esta formado por piezas.

Conjunto: Unidad funcional independiente que forma parte de un ítem y está formado a su vez por componentes.

Elementos: Partes constituyentes de un componente. Equiale al término Pieza.

Equipo: Unidad compleja de orden superior integrado por conjuntos, componentes y elementos, agrupados para formar un sistema funcional. Equivale el término Máquina.

Parada general: Situación de un conjunto de ítems al que se efectúan períodicamente revisiones y reparaciones concentradas y programadas de un determinado período de tiempo. Equivale el término Reparación General cuando éste se refiere a una Planta y tiene carácter períodico.

Historial de falla: Registro de incidentes, averías, reparaciones y actuaciones en general que conciernen a un determinado ítem.

Ítem: Sistema, sub-sistema, instalación, planta, máquina, equipo, estructura, edificio, conjunto, componente, elemento que pueda ser considerada individualmente y que admita su revisión o prueba por separado.

Mantenimiento: Conjunto de actividades técnicas y administrativas cuya finalidad es conservar, o restituir, un ítem enlas condiciones que le permitan desarrollar su función.

Política de mantenimiento: Estrategia que rige las decisiones de la dirección de una organización de mantenimiento.

Planta: Sistema integrado de ítems que forman una unidad funcional de producción o servicios.

Tiempo de operación: Período de tiempo en el que un activo esta realizando su función.

Tiempo de parada: Período de tiempo en el que un activo no esta en operación.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA I

RESUMEN II

ABSTRACT III

GLOSARIO IV

1. INTRODUCCIÓN 1

2. OBJETIVOS 3

3. CONTEXTO DEL ESTUDIO 5

3.1 ANTECEDENTES GENERALES DE CODELCO 5
3.2 CODELCO DIVISIÓN VENTANAS 8
3.2.1 HISTORIA DE LA REFINERÍA Y FUNDICIÓN VENTANAS 9
3.2.2 CONTEXTO ACTUAL DE LA DIVISIÓN VENTANAS, CODELCO 12
3.2.2.1 Ubicación 12
3.2.2.2 Proyectos e inversiones medio ambiental 13
3.2.2.3 Abastecimiento 14
3.2.2.4 Producción actual 15
3.3 SUPERINTENDENCIA DE MANTENIMIENTO 16

4. PROCESO PRODUCTIVO DE FUNDICIÓN Y REFINERÍA VENTANAS 19

4.1 PROCESO DE FUNDICIÓN 20
4.1.1 UNIDAD DE RECEPCIÓN Y MEZCLA 20
4.1.2 UNIDAD FUNDICIÓN 21
4.1.3 UNIDAD DE LIMPIEZA DE GASES (PRODUCCIÓN ACIDO) 22
4.1.4 UNIDAD DE REFINO FUEGO (RAF) 22
4.2 PROCESO DE REFINERÍA 23
4.2.1 UNIDAD PRODUCTOS METALÚRGICOS 23
4.2.2 UNIDAD REFINERÍA ELECTROLÍTICA 24

5. DEPARTAMENTO RECEPCIÓN Y ALMACENAMIENTO DE MEZCLAS. (PLANTA PREPARACIÓN DE CARGA) 26

5.1 MISIÓN. 27
5.2 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA. 27
5.2.1 MANEJO Y PREPARACIÓN DE MATERIALES. 28
5.2.1.1 Manejo Concentrados. 28
5.2.1.2 Manejo de Circulantes. 29
5.2.2 PLANTA DE SECADO. 31

5.2.2.1 Descripción del Proceso. 31
5.3 DESCRIPCIÓN PRINCIPALES EQUIPOS. 34
5.3.1 CHANCADOR HIDROCONO. 34
5.3.1.1 Definición. 34
5.3.1.2 Componentes principales 35
5.3.2 CHANCADOR DE MANDÍBULA. 36
5.3.2.1 Definición. 36
5.3.2.2 Componentes principales 37
5.3.3 HARNERO VIBRATORIO. 38
5.3.3.1 Definición. 38
5.3.3.2 Componentes principales 39
5.3.4 CORREA TRANSPORTADORA. 40
5.3.4.1 Definición. 40
5.3.4.2 Componentes principales. 41
5.3.4.3 Comparación con otros medios de transporte de material. 44
5.4 RESUMEN. [9] 45

6. METODOLOGÍA 46

6.1 LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN 47
6.2 SITUACIÓN ACTUAL EQUIPOS 47
6.3 JERARQUIZACIÓN DE EQUIPOS Y EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO 48
6.3.1 ESTÁNDAR CORPORATIVO DE CRITICIDAD 48
6.3.1.1 Frecuencia de falla 49
6.3.1.2 Consecuencia de falla 49
6.3.2 EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO DE EQUIPOS CRÍTICOS 52
6.3.2.1 Indicadores a evaluar 52
6.4 PLANES ESTRATÉGICOS 54
6.4.1 MANTENIMIENTO BASADO EN RCM 54
6.4.2 ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO 56
6.5 REUNIONES DE PRESENTACIÓN Y AVANCES 58

7. LEVANTAMIENTO Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN 58

7.1 ACTUALIZACIÓN DE UBICACIONES TÉCNICAS 59
7.1.1 INFORMACIÓN DISPONIBLE. 59
7.1.2 REVISIÓN Y VALIDACIÓN DE INFORMACIÓN. 59
7.1.3 PROPUESTA DE UT'S 61
7.2 DIAGRAMAS DE PROCESO 61
7.3 ANÁLISIS DE CRITICIDAD (SOMA) 61
7.3.1 EVALUACIÓN DE LAS VARIABLES 62
7.3.2 EQUIPOS CRÍTICOS 63
7.3.2.1 Características de los equipos críticos 64
7.4 UTILIZACIÓN DE INDICADORES SEGURIDAD FUNCIONAMIENTO. 70
7.4.1 INFORMACIÓN DISPONIBLE. 70
7.4.2 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN. 71

7.4.3 ESTIMACIÓN DE LOS PARÁMETROS WEIBULL. 72
7.4.4 CONFIABILIDAD MODELADA. 79
7.4.5 MANTENIBILIDAD MODELADA. 86
7.4.6 TASA DE FALLA MODELADA. 92
7.4.7 DISPONIBILIDAD. 101
7.5 ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO BASADAS EN RCM 104
7.5.1 INFORMACIÓN DISPONIBLE. 104
7.5.2 ANÁLISIS. 104
7.6 METAS DE DESEMPEÑO. 106

8. CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS 109

8.1 CONCLUSIONES 109
8.2 SUGERENCIAS 111

9 REFERENCIAS 114

ÍNDICE DE FIGURAS

ILUSTRACIÓN 1: RANKING DE LOS PRINCIPALES PAÍSES PRODUCTORES DE COBRE A NIVEL MUNDIAL EN 2018. FUENTE: ES.STATISTA.COM [17] 7
ILUSTRACIÓN 2: UBICACIÓN DE DIVISIONES EN CODELCO Y SU CASA MATRIZ. FUENTE: WWW.CODELCO.COM 8
ILUSTRACIÓN 3: VISTA GENERAL DE CODELCO DIVISIÓN VENTANAS. FUENTE: MINERÍA CHILENA, WWW.MCH.CL 8
ILUSTRACIÓN 4: UBICACIÓN DE CODELCO DIVISIÓN VENTANAS Y LAS DIFERENTES EMPRESAS DEL SECTOR INDUSTRIAL VENTANAS. FUENTE:WWW.ELDESCONCIERTO.CL 13
ILUSTRACIÓN 5: ORGANIGRAMA GERENCIA FURE DVEN. FUENTE: CODELCO-VENTANAS 16
ILUSTRACIÓN 6: ORGANIGRAMA SIM DVEN. FUENTE: CODELCO DVEN 18
ILUSTRACIÓN 7: ESQUEMA PRODUCCIÓN DE FUNDICIÓN Y REFINERÍA CODELCO DVEN. FUENTE: CODELCO-VENTANAS 20
ILUSTRACIÓN 8: UNIDADES PRODUCTIVAS PRINCIPALES DIVISIÓN VENTANAS. FUENTE: SIGESSO, DEPARTAMENTO DE REFINO A FUEGO 25
ILUSTRACIÓN 9: SUBSISTEMA SECADO EN PLANTA PREPARACIÓN DE CARGA CODELCO VENTANAS. FUENTE: CODELCO. [9] 26
ILUSTRACIÓN 10: PRINCIPALES SUBÁREAS DE PRECA CODELCO VENTANAS. FUENTE: CODELCO. [9] 28
ILUSTRACIÓN 11: ETAPAS DEL MANEJO DE CONCENTRADOS CODELCO VENTANAS. FUENTE: PROPIA. 29
ILUSTRACIÓN 12: ILUSTRACIÓN DE LA GENERACIÓN DE CIRCULANTES EN FUNDICIÓN CODELCO VENTANAS. FUENTE: CODELCO. [9] 30
ILUSTRACIÓN 13: ILUSTRACIÓN DEL MANEJO DE CIRCULANTES CODELCO VENTANAS. FUENTE: CODELCO. [9] 31
ILUSTRACIÓN 14: ILUSTRACIÓN PLANTA DE SECADO CODELCO VENTANAS. FUENTE: CODELCO.[9] 33
ILUSTRACIÓN 15: COMPONENTES PRINCIPALES CHANCADOR HIDROCONO. FUENTE: SANDVIK. 35
ILUSTRACIÓN 16: FUNCIONAMIENTO BÁSICO CHANCADOR MANDÍBULA TIPO BLAKE. FUENTE: SANDVIK. 37
ILUSTRACIÓN 17: COMPONENTES PRINCIPALES CHANCADOR MANDÍBULA BLAKE. FUENTE: CODELCO 37
ILUSTRACIÓN 18: COMPONENTES PRINCIPALES HARNERO VIBRATORIO. FUENTE: RIVET. 39
ILUSTRACIÓN 19: COMPONENTES PRINCIPALES DEL SISTEMA DE CORREA TRANSPORTADORA. FUENTE: ROTRANS. 42
ILUSTRACIÓN 20: FLUJO DE ANÁLISIS DE CRITICIDAD DEFINIDIO EN SOMA. FUENTE: SISTEMA OPERATIVO DE MANTENIMIENTO CODELCO. 48
ILUSTRACIÓN 21: PASOS DE EJECUCIÓN DE RCM SEGÚN SOMA. FUENTE: CODELCO DVEN. 55
ILUSTRACIÓN 22: CHANCADOR HIDROCONO PLANTA PREPARACIÓN DE CARGA CODELCO DVEN. FUENTE: CODELCO DVEN. 64
ILUSTRACIÓN 23: CHANCADOR BLAKE PLANTA PREPARACIÓN DE CARGA CODELCO DVEN. FUENTE: CODELCO DVEN. 65
ILUSTRACIÓN 24: CORREA TRANSPORTADORA 46A PLANTA PREPARACIÓN DE CARGA CODELCO DVEN. FUENTE: CODELCO DVEN. 66
ILUSTRACIÓN 25: CORREA TRANSPORADORA 4B7 PLANTA PREPARACIÓN DE CARGA CODELCO DVEN. FUENTE: CODELCO DVEN. 67
ILUSTRACIÓN 26: CORREA TRANSPORADORA 4B8 PLANTA PREPARACIÓN DE CARGA CODELCO DVEN. FUENTE: CODELCO DVEN. 68
ILUSTRACIÓN 27: HARNERO PRIMARIO PLANTA PREPARACIÓN DE CARGA CODELCO DVEN. FUENTE: CODELCO DVEN. 69

ILUSTRACIÓN 28: HARNERO SECUNDARIO PLANTA PREPARACIÓN DE CARGA CODELCO DVEN. FUENTE: CODELCO DVEN. 69
ILUSTRACIÓN 29: HARNERO TERCIARIO PLANTA PREPARACIÓN DE CARGA CODELCO DVEN. FUENTE: CODELCO DVEN. 70
ILUSTRACIÓN 30: PROYECCIÓN SOMA QUE APALANCA LAS DIMANESIONES ESTRATÉGICAS. FUENTE: CODELCO VENTANAS.[26] 107

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Producción Anual Cobre Electrolítico DVEN. Fuente: Codelco DVEN, Programa de producción 15
Tabla 2: Producción disponible de Ácido Sulfúrico DVEN. Fuente: Codelco DVEN, Programa de producción 16
Tabla 3: Clasificación Circulantes de Cobre CODELCO. Fuente: CODELCO. [9] 29
Tabla 4: Comparación de sistemas de transporte de materiales. Fuente: Elaboración propia. 44
Tabla 5: Indicador de frecuencia en análisis de criticidad definidio en SOMA. Fuente: Sistema Operativo de Mantenimiento CODELCO. 49
Tabla 6: Evaluación de impacto en análisis de criticidad definidio en SOMA. Fuente: Sistema Operativo de Mantenimiento CODELCO. 50
Tabla 7: Indicador de consecuencia en análisis de criticidad definidio en SOMA. Fuente: Sistema Operativo de Mantenimiento CODELCO. 51
Tabla 8: Índice de criticidad definidio en SOMA. Fuente: Sistema Operativo de Mantenimiento CODELCO. 51
Tabla 9: Características básicas de RCM según SOMA. Fuente: CODELCO DVEN. 54
Tabla 10: Listado puestos de trabajo CODELCO DVEN. Fuente: CODELCO DVEN. 57
Tabla 11: Cuantificación equipos según nivel criticidad Planta Preparación de Carga CODELCO DVEN. Fuente: Elaboración propia. 63
Tabla 12: Equipos críticos Planta Preparación de Carga CODELCO DVEN. Fuente: Elaboración propia. 63
Tabla 13: Parámetros de distribución Weibull chancador hidrocono respecto a tiempos de buen funcionamiento. Fuente: Elaboración Propia. 73
Tabla 14: Parámetros de distribución Weibull chancador blake respecto a tiempos de buen funcionamiento. Fuente: Elaboración Propia. 73
Tabla 15: Parámetros de distribución Weibull correa 46A respecto a tiempos de buen funcionamiento. Fuente: Elaboración Propia. 73
Tabla 16: Parámetros de distribución Weibull correa 4B7 respecto a tiempos de buen funcionamiento. Fuente: Elaboración Propia. 74
Tabla 17: Parámetros de distribución Weibull correa 4B8 respecto a tiempos de buen funcionamiento. Fuente: Elaboración Propia. 74
Tabla 18: Parámetros de distribución Weibull harnero primario respecto a tiempos de buen funcionamiento. Fuente: Elaboración Propia. 74
Tabla 19: Parámetros de distribución Weibull harnero secundario respecto a tiempos de buen funcionamiento. Fuente: Elaboración Propia. 75
Tabla 20: Parámetros de distribución Weibull harnero terciario respecto a tiempos de buen funcionamiento. Fuente: Elaboración Propia. 75
Tabla 21: Parámetros de distribución Weibull chancador hidrocono respecto a tiempos para reparar. Fuente: Elaboración Propia. 76
Tabla 22: Parámetros de distribución Weibull chancador blake respecto a tiempos para reparar. Fuente: Elaboración Propia. 77
Tabla 23: Parámetros de distribución Weibull correa 46A respecto a tiempos para reparar. Fuente: Elaboración Propia. 77
Tabla 24: Parámetros de distribución Weibull correa 4B7 respecto a tiempos para reparar. Fuente: Elaboración Propia. 77
Tabla 25: Parámetros de distribución Weibull correa 4B8 respecto a tiempos para reparar. Fuente: Elaboración Propia. 78

TABLA 26: PARÁMETROS DE DISTRIBUCIÓN WEIBULL HARNERO PRIMARIO RESPECTO A TIEMPOS PARA REPARAR. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. 78
TABLA 27: PARÁMETROS DE DISTRIBUCIÓN WEIBULL HARNERO SECUNDARIO RESPECTO A TIEMPOS PARA REPARAR. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. 78
TABLA 28: PARÁMETROS DE DISTRIBUCIÓN WEIBULL HARNERO TERCIARIO RESPECTO A TIEMPOS PARA REPARAR. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. 79
TABLA 29: CONFIABILIDAD POR EQUIPO SEGÚN TIEMPO DE FUNCIONAMIENTO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. 79
TABLA 30: MANTENIBILIDAD POR EQUIPO SEGÚN TIEMPO DE REPARACIÓN. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. 86
TABLA 31: TASA DE FALLA POR EQUIPO RESPECTO DEL TIEMPO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. 92

ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1: CONFIABILIDAD CHANCADOR HIDROCONO V/S TIEMPO BUEN FUNCIONAMIENTO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. 81
GRÁFICO 2: CONFIABILIDAD CHANCADOR BLAKE V/S TIEMPO BUEN FUNCIONAMIENTO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. 82
GRÁFICO 3: CONFIABILIDAD CORREA 46A V/S TIEMPO BUEN FUNCIONAMIENTO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. 82
GRÁFICO 4: CONFIABILIDAD CORREA 4B7 V/S TIEMPO BUEN FUNCIONAMIENTO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. 83
GRÁFICO 5: CONFIABILIDAD CORREA 4B8 V/S TIEMPO BUEN FUNCIONAMIENTO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. 83
GRÁFICO 6: CONFIABILIDAD HARNERO PRIMARIO V/S TIEMPO BUEN FUNCIONAMIENTO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. 84
GRÁFICO 7: CONFIABILIDAD HARNERO SECUNDARIO V/S TIEMPO BUEN FUNCIONAMIENTO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. 84
GRÁFICO 8: CONFIABILIDAD HARNERO TERCIARIO V/S TIEMPO BUEN FUNCIONAMIENTO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. 85
GRÁFICO 9: MANTENIBILIDAD CHANCADOR HIDRCONO V/S TIEMPO DE REPARACIÓN. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. 87
GRÁFICO 10: MANTENIBILIDAD CHANCADOR BLAKE V/S TIEMPO DE REPARACIÓN. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. 88
GRÁFICO 11: MANTENIBILIDAD CORREA 46A V/S TIEMPO DE REPARACIÓN. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. 88
GRÁFICO 12: MANTENIBILIDAD CORREA 4B7 V/S TIEMPO DE REPARACIÓN. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. 89
GRÁFICO 13: MANTENIBILIDAD CORREA 4B8 V/S TIEMPO DE REPARACIÓN. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. 89
GRÁFICO 14: MANTENIBILIDAD HARNERO PRIMARIO V/S TIEMPO DE REPARACIÓN. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. 90
GRÁFICO 15: MANTENIBILIDAD HARNERO SECUNDARIO V/S TIEMPO DE REPARACIÓN. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. 90
GRÁFICO 16: MANTENIBILIDAD HARNERO TERCIARIO V/S TIEMPO DE REPARACIÓN. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. 91
GRÁFICO 17: TASA DE FALLA CHANCADOR HIDROCONO V/S TIEMPO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. 96
GRÁFICO 18: TASA DE FALLA CHANCADOR BLAKE V/S TIEMPO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. 97
GRÁFICO 19: TASA DE FALLA CORREA 46A V/S TIEMPO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. 97
GRÁFICO 20: TASA DE FALLA CORREA 4B7 V/S TIEMPO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. 98
GRÁFICO 21: TASA DE FALLA CORREA 4B8 V/S TIEMPO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. 98
GRÁFICO 22: TASA DE FALLA HARNERO PRIMARIO V/S TIEMPO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. 99
GRÁFICO 23: TASA DE FALLA HARNERO SECUNDARIO V/S TIEMPO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. 99
GRÁFICO 24: TASA DE FALLA HARNERO TERCIARIO V/S TIEMPO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. 100

1. INTRODUCCIÓN

Al remontarse a lo largo de la historia de Chile, es posible apreciar que la minería en sí ha estado presente prácticamente desde siempre, dado los yacimientos minerales que posee el país. En las útltimas décadas la industria minera ha escalado a constituir un pilar fundamental en la economía del país explotando recursos minerales metálicos dentro de los cuales destaca el cobre, que por su nivel de producción ubica a Chile actualmente como principal productor a nivel mundial.

A su vez dentro de la minería chilena destaca Codelco como principal actuador en faenas de extracción de cobre, donde es bien sabido los retos que deben enfrentar sus equipos para cumplir por un lado metas de producción operando a menudo con plena carga y por otro superar los ambientes extremos en los cuales están insertos.

Las exigencias ligadas presentan un cierto nivel de riesgo asociado el cual debe estar controlado, es por esto que el concepto de *mejora continua* debe estar presente en la optimización de los procesos productivos mineros, impactando en los KPI más relevantes involucrados, como lo son la confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad.

El riesgo mencionado puede verse controlado mediante el mantenimiento, donde su objetivo es presevar el ítem a fin que este pueda llevar a cabo sus funciones, evitando pérdidas operacionales e inversiones en nuevos activos.

Para que una empresa sea sostenible en el tiempo ésta debe irse ajustando a la normativa constántemente, donde es imprescindible ser amigable con el medio ambiente y comunidad del entorno, además de poseer la seguridad adecuada para sus trabajadores. Es por esto que los recursos utilizados deben ser correctamente dirigidos mediante la identificación procesos críticos prioritarios traduciéndose en valorables indicadores en seguridad de funcionamiento.

Particularmente Codelco, se encuentra en proceso de cambio hacia un nuevo sistema operativo de mantenimiento a nivel corporativo, pretendiendo migrar a un

mantenimiento proactivo el cual da énfasis en las estrategias de mantenimiento. En la actualidad Fundición y Refinería Ventanas no cuenta con planes matrices estratégicos adecuados al contexto operacional al que se someten los equipos, específicamente por falta de indicadores, lo que implica no contar con un sistema óptimo de gestión de información para las labores a ejecutar. Por consiguiente en el presente trabajo de título, se decide rediseñar e implementar estrategias en el plan de mantenimiento basándose en RCM, en marco del mejoramiento continuo para División Ventanas, y así abordar de esta manera las problemáticas actuales y cumplimiento de normativa para minimizar las consecuencias de falla potencialmente críticas.

Se desprende y destaca que las correas trasportadoras constituyen mas del 50% de los activos que integran el proceso productivo global de las faenas de Codelco, es decir, es imprescindible dirigir este trabajo de título a la *Planta Preparación de Carga* de la División en cuestión por poseer en su gran mayoría este tipo de equipos.

2. OBJETIVOS

Como **objetivo general** se busca realizar un estudio de reingeniería enfocado al diseño estratégico de los planes matrices de mantenimiento actuales aplicados a la Planta Preparación de Carga de Codelco Ventanas utilizando metodología RCM (mantenimiento centrado en confiabilidad) con el fin de obtener mayor confiabilidad y disponibilidad en los procesos que engloban la *recepción y preparación de mezcla, chancado y transporte de material* en la División. Junto con lo anterior, se deberá incluir a los planes rediseñados los recursos y procedimientos de seguridad inherentes a la actividad.

Con el fin de cumplir el objetivo general se tienen los siguientes **objetivos específicos**.

i. Identificar el contexto operacional y oportunidades de mejora de la organización.

ii. Identificar los equipos involucrados de la planta a fin de generar una estructura adecuada de los que se encuentren en servicio en la División. Junto a esto conocer el estado actual de las estructuras de activos presentes en el software de planificación y además su nivel de uso respecto a los procesos de mantenimiento.

iii. Estandarizar diagrama funcional y estructura de ubicaciones técnicas de equipos en el software de planificación, a modo de reflejar las condiciones en que se encuentra actualmente la planta en estudio y así poder utilizar esta plataforma para facilitar y asegurar una correcta gestión del mantenimiento.

iv. Evaluar la criticidad de los activos involucrados mediante un método estandarizado y así establecer jerarquía de equipos**.** Luego de esto realizar un análisis basado en RCM a los equipos críticos para determinar las acciones de

mejora al plan de mantenimiento actual. Junto a esto establecer indicadores de seguridad de funcionamiento por equipo en cuanto a confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad para posteriormente evaluar el potencial de desempeño.

v. Establecer la estrategia óptima de mantenimiento respecto a las variables producción, costo de mantenimiento y vida útil del activo, para posteriormente plasmarla a los planes matrices en el software de planificación, sin dejar de lado todos los aspectos relacionados con el HSEC.

3. CONTEXTO DEL ESTUDIO

En esta sección se dará a conocer en primera instancia los aspectos generales de la empresa en estudio, identificando las características principales y su posición actual a nivel mundial, para posteriormente focalizarse en los aspectos más precisos y relevantes de la División referente al estudio, haciendo un recorrido preliminar histórico de la División, para luego finalizar analizando el contexto actual en cual se desenvuelve.

3.1 Antecedentes Generales de Codelco

La Corporación Nacional del Cobre de Chile (Codelco), es una empresa autónoma propiedad del Estado de Chile, de giro minero, comercial e industrial la cual fue creada el 1° de abril de 1976 por el Decreto Ley N°1.350, con el fin de ejercer los derechos del Estado en los yacimientos de la Gran Minería, nacionalizados en 1971 **[15]**. La empresa se especializa en explorar, explotar y comercializar los recursos mineros del cobre refinado y sus subproductos.

Los productos producidos y comercializados son los siguientes [**16] :**

- Refinados: cátodos de cobre con 99,9% de pureza, que se obtienen en los procesos de electrorrefinación y electroobtención.
- No-refinados: concentrados de cobre, concentrados de cobre tostados, ánodos y blíster (material metálico con una pureza de alrededor de 99,5%, que se usa como materia prima para la elaboración de cátodos de cobre).
- Subproductos: molibdeno, como principal subproducto, un insumo clave en la fabricación de aceros especiales; ácido sulfúrico, que tiene la propiedad de disolver varios tipos de metales y sustancias; oro, plata y renio.

- Semielaborados: alambrón de cobre.

En general la misión de Codelco es generar excedentes para el Estado de Chile con el fin de optimizar el uso de los recursos disponibles, concentrándose en reducir los costos de operación en energía, mantenimiento, maquinarias, repuestos y equipos, entre otros. De este modo desde los orígenes en 1971 hasta 2018 se han generado excedentes consolidados por US$116 mil millones para el Estado de Chile. **[16]**

En cuando a la producción, actualmente CODELCO es el mayor productor de cobre en el mundo, cerrando el 2018 con una producción de 1.806.000 toneladas métricas de cobre fino, lo que equivale al 9% de la producción de cobre de mina a nivel mundial y a un 31% a nivel nacional. También CODELCO destaca actualmente por ser el segundo productor de molibdeno en el mundo y el primero en Chile con una producción total de 24 mil tmf en 2018, que equivale a 40% de la producción nacional de molibdeno de mina. Junto a esto las ventas totales alcanzaron los US$ 14.253 millones y las ventas al exterior representaron del orden de 15% de las exportaciones chilenas en 2018, con el mercado asiático como principal destino, seguido por los mercados norteamericano, europeo y sudamericano. **[15].**

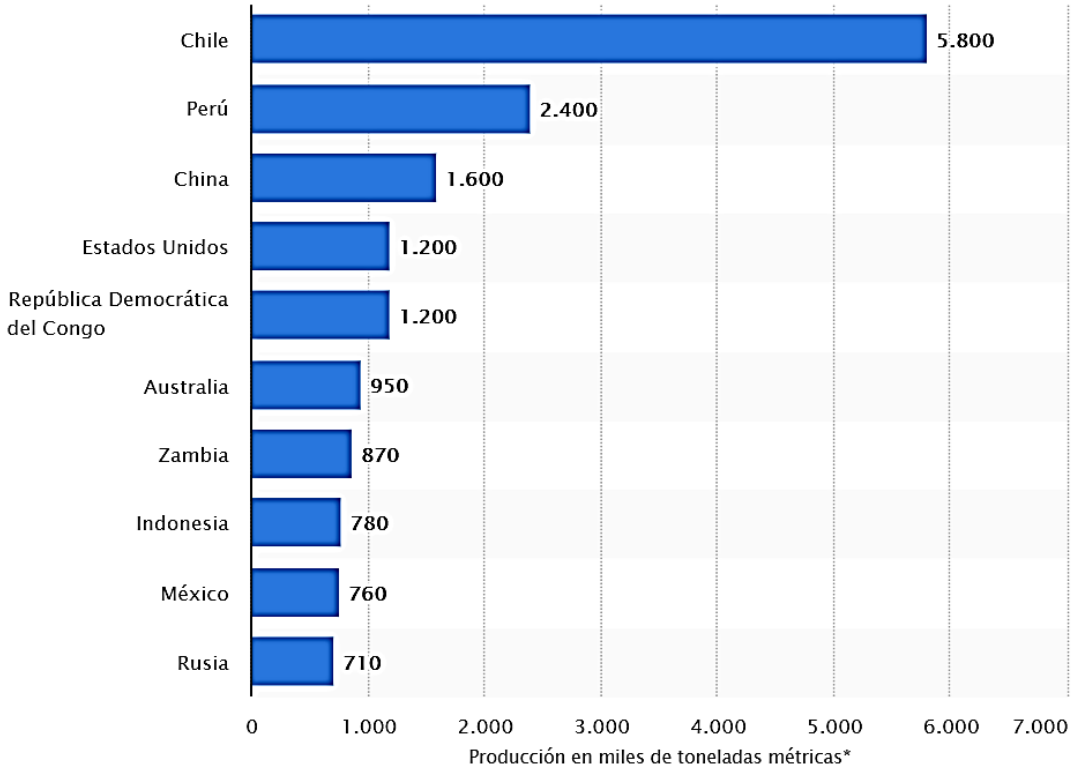


Ilustración 1: Ranking de los principales países productores de cobre a nivel mundial en 2018. Fuente: es.statista.com [17]

Hoy en día la empresa opera en ocho divisiones que se ubican desde la Región de Antofagasta hasta la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins, las cuales son Radomiro Tomic, Chuquicamata, Ministro Hales, Gabriela Mistral, Salvador, Andina, El Teniente y Ventanas**. [15]** Cabe destacar que todas las divisiones son mineras a excepción de la División Ventanas que se desempeña como Fundición y Refinería. La estrategia corporativa es coordinada y encabezada desde la Casa Matriz de la compañía que se localiza en la capital Santiago de Chile.

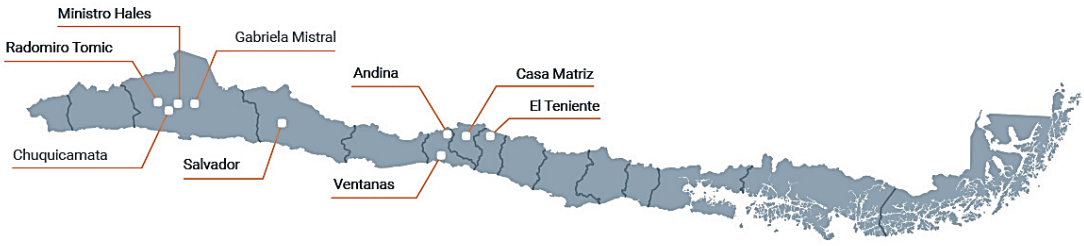


Ilustración 2: Ubicación de Divisiones en Codelco y su Casa Matriz.
Fuente: www.codelco.com

3.2 Codelco División Ventanas

A continuación, se presentarán los antecedentes generales de la División en estudio, haciendo un recorrido histórico desde la puesta en marcha formando parte de ENAMI hasta su traspaso a CODELCO, para finalizar mostrando el contexto actual en el cual se encuentra.



Ilustración 3: Vista general de Codelco División Ventanas.
Fuente: Minería Chilena, www.mch.cl

3.2.1 Historia de la Refinería y Fundición Ventanas

La Fundición y Refinería Ventanas (FURE DVEN), la mayor instalación industrial de la V Región de Valparaíso, fue construída en la década de los 60 luego que el Estado chileno decidiera tener una nueva fundición y refinería para exportar el cobre con un mayor valor agregado. En ese entonces Ventanas fue la segunda fundición perteneciente a la Empresa Nacional de Minería (ENAMI), época en cual la gran minería del cobre y sus fundiciones pertenecían a empresas extranjeras.

En 1960 Chile exportaba 512 mil toneladas de cobre, de las cuales 232 mil correspondían a cobre Blíster con 98,5 % de pureza, que debía ser refinado en el extranjero para lograr la ley más alta (99,99 %) y extraerle el oro y la plata contenidos en el metal. Por lo tanto, al explotar concentrado de cobre o cobre Blister, el país dejaba de percibir cuantiosos recursos económicos.

Al procesar y refinar el metal en Chile, se logró un producto de mayor valor y se fomentó el desarrollo industrial y el empleo, mejorando los ingresos del sector minero de pequeña y mediana escala.

Los estudios preliminares para ubicar la nueva fundición consideraron opciones entre Rancagua y Coquimbo, escogiendo finalmente Ventanas por su cercanía a los puertos de Quintero y Valparaíso, por contar con un abastecimiento seguro de agua desde el río Aconcagua, y la equidistancia con centros y proyectos mineros de la época. Además, se tomó en cuenta el interés de los habitantes y autoridades de la zona, que defendieron la instalación de una gran industria en la región.

La obra, que comenzó en 1960, estuvo a cargo de la empresa Klochner-Humboldt-Deutz y fue inaugurada el 30 de septiembre de 1964, bajo el gobierno del Presidente Jorge Alessandri Rodríguez. Paralelamente, en 1963, se contrató con Ferrostaal A.G. y Hochtieg A.A.G., la construcción de una refinería electrolítica, la que fue inaugurada el 11 de noviembre de 1966 por el Presidente Eduardo Frei Montalva. En conjunto, el proyecto demandó una inversión de US$ 45 millones de la época.

Con la puesta en marcha de Ventanas, se fue desarrollando un importante polo de aprendizaje y desarrollo de conocimiento profesional chileno en torno a las fundiciones, una reserva de capital humano que contribuyó posteriormente a superar el desafío nacional que significó la nacionalización de la gran minería del cobre y sus instalaciones.

La Fundición inició sus operaciones con un horno tipo Reverbero de 37 metros de largo por 8 de ancho y dos convertidores Pierce Smtih de 8 metros de largo por 3 de diámetro. Su principal equipo de fusión era el Reverbero, una gran construcción de ladrillos refractarios donde quemadores de petróleo generaban 1.400 grados Celcius de temperatura permitiendo la fusión de 450 toneladas diarias. Este horno dejó de operar en febrero de 1998, luego que el Proyecto de Modernizaciones lo reemplazara por el Convertidor Teniente como unidad de fusión principal.

El cobre fino se purificaba en convertidores para obtener cobre blister de 98% de pureza, el cual se procesaba en refino a fuego para transformarse en ánodos de cobre que constituyen la materia prima en el proceso final de la refinería electrolítica. Esta última partió con tres circuitos de 336 celdas cada uno y una capacidad de 84.000 toneladas de cobre electrolítico. La planta de Metales Nobles, por su parte, producía 1.500 kilogramos de oro y 14.000 kilogramos de plata

La Refinería incorporó un cuarto circuito en 1979 y un nuevo horno de refino, con lo cual la producción se elevó a 160.000 toneladas anuales. En 1982, se aplicó inversión de corriente (PRC) en un circuito, elevándose la producción a 175.000 toneladas. Otras mejoras y la extensión del PRC a toda la refinería incrementaron la producción a 210.000 toneladas.

A fines de 1996 se materializó el aumento de la capacidad de la refinería en un 50 %, al incorporar dos nuevos circuitos de 335 celdas de electrólisis, lo que elevó su capacidad nominal a 327.000 toneladas anuales. El proyecto costó 36 millones de dólares y ubicó a Refinería de Ventanas entre las diez mayores del mundo.

Por otro lado, en 1990 debido a las problemáticas ambientales que comenzaron a apreciarse en la zona se redefinió la misión de ENAMI, estableciéndose que la compañía existía para "fomentar el desarrollo de la pequeña y mediana minería no ferrosa, participando armónicamente con los distintos actores en cualquiera de las etapas del negocio minero, *cautelando el equilibrio del medio ambiente*" **[22]**. En materia de inversiones se inauguraron en 1990 la planta de recuperación de ácido sulfúrico y la planta de Oxígeno, y en 1992 se instaló una red de monitoreo ambiental para medir la calidad del aire en las zonas aledañas a Ventanas. Este fue uno de los primeros pasos de los planes de descontaminación que serían aplicados para cumplir con las normas ambientales dictadas a partir de 1990 **[22].**

Para inicios de los años 2000, no obstante, la situación de la empresa había desmejorado notoriamente. Al alto endeudamiento, que le generaba significativas pérdidas anuales (por inversiones medio ambientales y crédito fiscal) se sumaba el bajo precio del metal que mantenía activos a no más de cuatrocientos productores pequeños a lo largo del país. En este contexto predominaban las visiones terminales de la Empresa y de reconversión de los disminuidos productores mineros, generándose una relación con el sector marcada por el conflicto frente a una empresa en crisis, no sólo financiera, sino también de legitimidad como instrumento del Estado para el fomento de la pequeña y mediana minería**. [22]**

Luego de un extenso estudio en el Congreso Nacional, se escogió el traspaso de la Fundición y Refinería de Enami a Codelco como la opción de menor costo social y económico para el Estado, de este modo el proyecto se convirtió en la Ley 19.993 el 4 de enero del año 2005 **[23]**. La venta de la fundición y refinería Ventanas a Codelco le aseguraron a Enami su saneamiento financiero y la posibilidad de invertir en la renovación de sus planteles de beneficio, así como disponer de la capacidad de tratamiento que requerían en esas instalaciones para atender a la pequeña y mediana minería nacional, mientras que por otro lado la Ley garantizaba que Ventanas mantendría su capacidad para fundir y refinar.

Esta incorporación permitió a Codelco reforzar el complejo de fundiciones y refinerías, de esta forma agregando valor y autosuficiencia a toda la cadena de producción, procesando, entre otros productos, concentrados y ánodos de cobre provenientes de las Divisiones Andina y El Teniente. Para este entonces la División constaba de una capacidad instalada de 420 mil toneladas de concentrados al año; mientras que la refinería poseía una capacidad anual de 350 mil toneladas métricas finas de cátodos de cobre. **[23]**

3.2.2 Contexto actual de la División Ventanas, Codelco

División Ventanas es una fundición y refinería en donde se procesan los concentrados de cobre para producir principalmente ánodos y cátodos, producto que está considerado entre los tres mejores a nivel mundial, alcanzando una pureza de 99,99%, entregando de esta manera mayor valor agregado al principal recurso minero del país. Junto a ello, en División Ventanas se produce ácido sulfúrico aprovechando los gases emitidos en el proceso.

3.2.2.1 Ubicación

Sus operaciones se encuentran ubicadas en la zona costera de la región de Valparaíso, específicamente en carretera f-30 E 58270, Puchuncaví Las Ventanas, a unos 164 kilómetros de Santiago y a unos 50 kilómetros de Viña del Mar. Zona caracterizada por ser un sector industrial, en donde algunas de las empresas perteneciente a esta zona son ENAP, Terminal Gas Licuado Quintero (GNL), Gasmar, ENDESA, COPEC, etc.



Ilustración 4: Ubicación de Codelco División Ventanas y las diferentes empresas del sector industrial Ventanas. Fuente:www.eldesconcierto.cl

Este sector actualmente se encuentra altamente saturado en contaminación y junto a una comunidad altamente sensible a los impactos de carácter ambiental y social. Es por esto que hoy en día, cualquier incidente que afecte a al medio ambiente y la comunidad pone en riesgo la producción de la industria y por ende es un factor más que relevante al momento de realizar un estudio en la División.

3.2.2.2 Proyectos e inversiones medio ambiental

El esfuerzo principal del 2018 para las fundiciones se centró en ejecutar los proyectos para cumplir con las normas de emisión del Decreto Supremo (DS) 28 del Ministerio de Medio Ambiente que el Estado chileno promulgó en 2013, el cual en su artículo 1° declara: “La presente norma de emisión para fundiciones de cobre y fuentes emisoras de arsénico tiene por objeto proteger la salud de las personas y el medio ambiente en todo el territorio nacional. Como resultado de su aplicación se reducirán las emisiones

al aire de material particulado (MP), dióxido de azufre (SO2), arsénico (As) y mercurio (Hg).” **[19]**

Esta norma implica en resumen que para las operaciones ya activas la fuente emisora debe capturar y fijar más del 95% del azufre y arsénico, mientras que para las operaciones futuras, la norma es más estricta aun requiriendo una captura y fijación del 98% para el azufre y arsénico como mínimo **[19].**

Debido a esto las empresas se vieron obligadas a invertir en operaciones, con el fin de dar cumplimiento a los nuevos requerimientos y así cuidar el medio ambiente y la salud de la población del sector.

Actualmente Codelco División Ventanas se encuentra construyendo los más grandes proyectos ambientales de su historia, con una inversión que supera los US$160 millones, con el propósito de disminuir sus emisiones al ambiente y hacer más sustentable sus operaciones **[18].**

Entre la carpeta de proyectos ya finalizados, se cuentan: la edificación de un moderno centro de concentrado, la construcción de cerca de un kilómetro de cierres perimetrales, el aumento de captación de material particulado a través de un tercer campo de Precipitador Electroestático y un nuevo filtro de mangas del secador de concentrado, la alimentación de carga fría, entre otros **[18].**

Gracias a esto es que Codelco Ventanas cumple con los nuevos estándares impuestos por el DS 28 desde el 2016, por lo que su esfuerzo de centra en consolidar su captación de gases sobre el 95% exigido por la norma.

3.2.2.3 Abastecimiento

En lo que respecta al abastecimiento de concentrado para el proceso, este es proveniente en un 50% de pequeñas y medianas mineras ubicadas desde la IV hasta la

VI región, y la otra mitad es proveniente de la Gran Minería: Divisiones Andina, Teniente y Anglo American.

La empresa utiliza estos concentrados de cobre para procesos de fundición y refinería. En el proceso de fundición se producen ánodos de cobre con una pureza de 99,6%, mientras que en la refinería se producen cátodos de cobre con una pureza que llega al 99,99%.

3.2.2.4 Producción actual

División Ventanas actualmente tiene una capacidad anual de producción de 420.000 toneladas de concentrado en su fundición, 400.000 toneladas de cobre electrolítico en su refinería y 360.000 toneladas de ácido sulfúrico. **[21]**

A continuación, se muestra una tabla más detallada con la producción de cobre obtenidas desde el 2013 hasta el 2018, en donde el principal producto comercializado es el Cátodo de Grado A que corresponde al producto principal y de mayor calidad (99,99% cobre) , los demás productos corresponden a cátodo estándar, laminas, despuntes y cobre de electrowinning.

Tabla 1: Producción Anual Cobre Electrolítico DVEN.
Fuente: Codelco DVEN, Programa de producción

Producción [Ton]	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Grado A	371.069	374.304	370.231	376.010	382.310	385.030
Estandar	19.530	19.700	25.738	19.790	15.930	13.965
Total catodo comercial	390.599	394.004	395.969	395.800	398.240	398.995
Total Lám, Desp. y EW	7.450	7.601	7.113	8.462	8.385	7.785
Cu Electrolítico	**398.049**	**401.605**	**403.082**	**404.263**	**406.625**	**406.780**

En tanto la producción de ácido sulfúrico disponible de los últimos años se muestra a continuación.

Tabla 2: Producción disponible de Ácido Sulfúrico DVEN.
Fuente: Codelco DVEN, Programa de producción

Ácido Sulfúrico [Ton]	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Producción	321.089	331.484	355.321	339.193	364.679	327.163
Consumo	9.002	10.277	10.327	10.357	10.166	8.949
Disponible	**312.087**	**321.207**	**344.994**	**328.836**	**354.514**	**318.214**

3.3 Superintendencia de Mantenimiento

La Gerencia FURE (GFURE) considera 4 áreas de trabajo, dentro de las cuales se encuentra la Superintendencia de Mantenimiento (SIM), que es el área en donde se desarrolló el estudio.

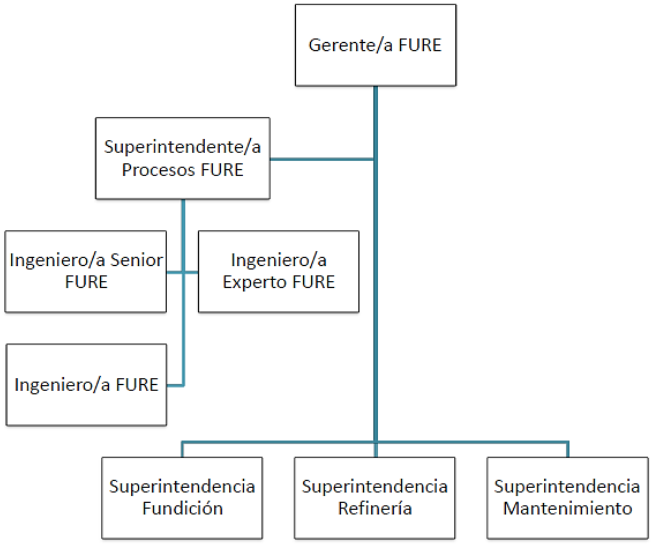


Ilustración 5: Organigrama Gerencia FURE DVEN.
Fuente: Codelco-Ventanas

Esta superintendencia es la responsable de mantener la continuidad del proceso a través de la gestión del mantenimiento, lo cual se logra en las distintas áreas a mediante la coordinación entre Operaciones y Mantenimiento.

Como SIM se siguen las siguientes estrategias de mantenimiento **[20]**:

- **Visión**

  Ser la Superintendencia de Mantenimiento referente dentro Codelco y convertirse en referente para la industria minera chilena.

- **Misión**

  Maximizar la confiabilidad de los equipos para sustentar una operación continua que habilite el cumplimiento de los compromisos productivos en el marco de seguridad, medio ambiente, calidad y costos.

- **Objetivos Estratégicos**:

  1. Trabajar con Seguridad y cuidado del Medio Ambiente
  2. Asegurar Disponibilidad
  3. Mejorar Estándar de Mantenimiento
  4. Mejorar Trabajo en Equipo y Empoderamiento

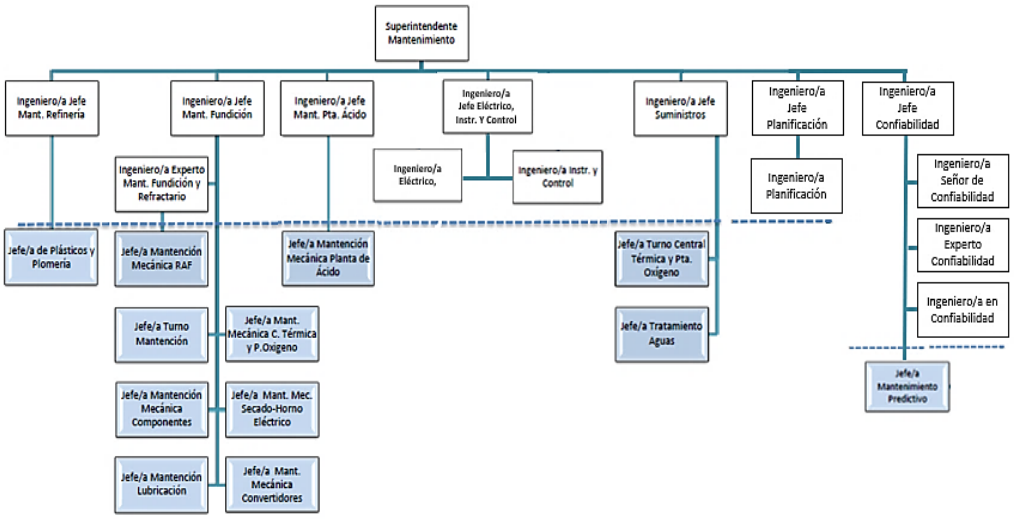


Ilustración 6: Organigrama SIM DVEN.
Fuente: Codelco DVEN

Actualmente la superintendencia de mantenimiento está en un proceso de adaptación, el cual busca basar su gestión se mantenimiento según el nuevo Sistema Operativo de Mantenimiento SOMA, que se está implementando paulatinamente en todas las divisiones. SOMA básicamente es un conjunto de estándares y procesos que apuntan a optimizar la gestión de activos, cuyo objetivo es generar valor a Codelco a través de los activos, asegurando el cumplimiento de estrategias de mantenimiento que optimicen su rendimiento.

De este modo Codelco busca desarrollarse hacia un mantenimiento proactivo mediante la implementación de estándares y el desarrollo de planes de mejora en el ámbito de procesos, sistemas, personas y cultura organizacional.

Debido a este cambio y la situación actual de la división es que lo principales desafíos de la SIM actualmente son:

- Tener “0” accidentes e incidentes ambientales.
- Cumplir la nueva normativa ambiental.
- Lograr caja mayor a “0”.
- Potenciar el proyecto transformacional.

Por lo que parte de la memoria se enfoca en aportar ordenando en una primera instancia la información relevante de las áreas en estudio para generar finalmente un plan estratégico de mantenimiento de los equipos críticos guiándose en estas prácticas, logrando mitigar las brechas existentes con SOMA y potenciando SAP-PM como principal sistema de gestión de mantenimiento de la división, generando un gran aporte en este proceso de cambio y en el cumplimiento de los desafíos a corto plazo de la SIM.

4. PROCESO PRODUCTIVO DE FUNDICIÓN Y REFINERÍA VENTANAS

Para tener una mejor comprensión asociada a la empresa es necesario conocer el proceso productivo referente al manejo y producción de cobre de la división en estudio. Como se ha podido apreciar, los procesos principales del área en estudio son la Fundición y Refinería, los cuales a su vez se pueden dividir en diferentes etapas que se verán más detalladamente en esta sección.

A continuación, se muestra un diagrama general que involucra los principales equipos del proceso productivo de la división tanto de la fundición como la refinería.

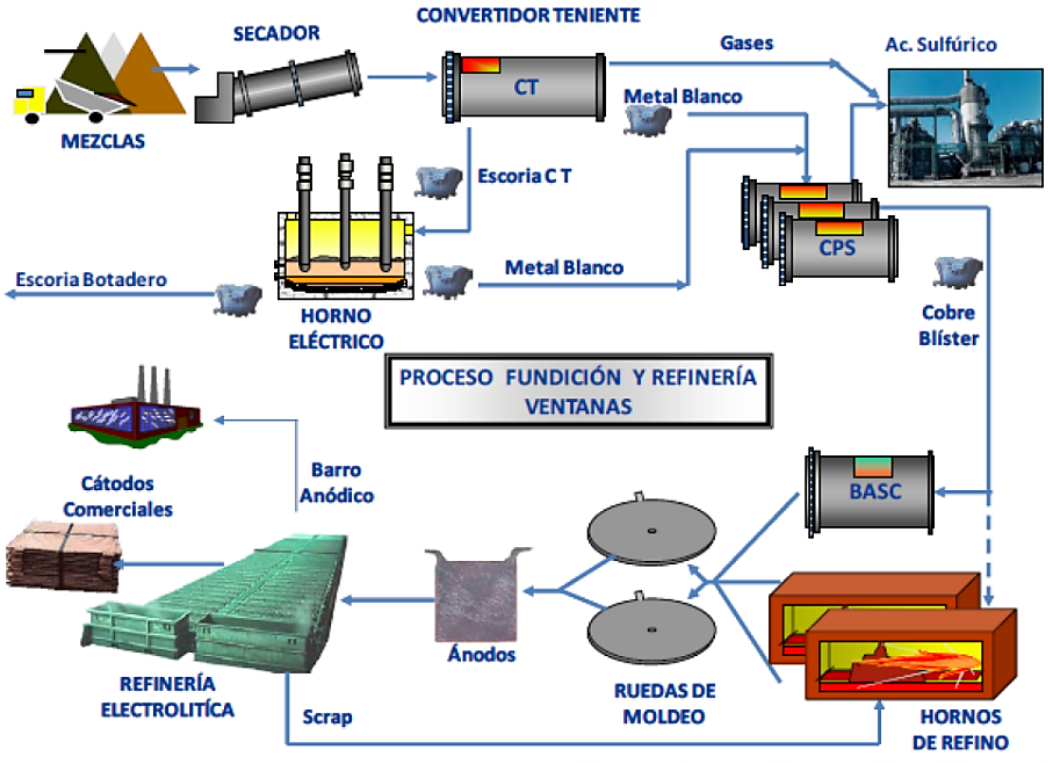


Ilustración 7: Esquema producción de Fundición y Refinería Codelco DVEN.
Fuente: Codelco-Ventanas

4.1 Proceso de fundición

La Fundición es un proceso que busca mediante altas temperaturas separar el cobre del material no útil, este proceso involucra una serie de etapas o unidades, en los cuales involucraremos desde la recepción de la materia prima, hasta la formación de ánodos mediante el moldeo del material, ánodos que son utilizados posteriormente en el proceso de refinación. A continuación, se explica este proceso dividiéndolo en 5 unidades.

4.1.1 Unidad de recepción y mezcla

- Proceso manejo de materias primas: Este es el proceso inicial de producción y consiste la recepción y almacenamiento de concentrado de cobre e insumos mineros en canchas de concentrado. Estos flujos son provenientes de proveedores externos, principalmente de las demás Divisiones de CODELCO. Además, debe distribuir materiales a los distintos procesos de fundición o también denominados centros de consumo y manejar los residuos físicos (circulantes) generados por estos.
- Proceso chancado y selección: Consiste en reducir los residuos físicos que aún son ricos en cobre, denominados circulantes, y enviados a manejo de materiales desde otros procesos internos, así como las rocas en bruto proveídas por pequeños mineros, denominadas gangas, a un tamaño milimétrico.
- Desde las canchas de almacenamiento se extrae el concentrado hacia el domo de mezcla, el cual tiene capacidad para varios días de operación, y se encuentra ubicado en las cercanías de la planta de secado. En el domo se preparan las mezclas homogéneas de concentrado.

4.1.2 Unidad Fundición

- Proceso secado (*Secador Rotatorio*): Procesa la mezcla de concentrado que viene húmeda, alrededor de un 8 a 10%, secándola y obteniendo una mezcla seca que bordea un 0,2% de agua y una ley de cobre de 30%.
- Proceso de fusión (*Convertidor Teniente*): Consiste en procesar la mezcla seca proveniente de Secado. [pg] Aquí el concentrado seco es sometido a altas temperaturas (1250 °C aproximadamente) para lograr el cambio de estado de solido a líquido. Al pasar al estado líquido, los elementos que componen los minerales presentes en el concentrado se separan, quedando lo más livianos en la parte superior del fundido (hierro y azufre, fundamentalmente), y en la parte baja se concentran los metales blancos, cuya ley de cobre oscila en 75%.

Además de esto como consecuencia se generan gases, tales como gases monóxidos y dióxidos producidos por el azufre, que juntos a otros gases son evacuados y enviados a la planta de ácido. También se obtiene un material denominado escoria, que es la parte más liviana del fundido, la cual está formada por las impurezas (otros metales, como hierro, magnesio, etc.) y cuya ley de cobre oscila en 8%. Este material es enviado a los hornos para recuperar parte del cobre.

- Proceso limpieza de escoria (*Horno Eléctrico*): Consiste en la recuperación de la mayor cantidad de cobre existente en la escoria generada en el proceso de fusión, ésta contiene aproximadamente una ley de cobre de 8%, de la cual se logra rescatar un 7,2%. Las salidas de este proceso son dos, metal blanco y escoria de descarte, esta última es un desecho que se almacena en el escorial.
- Proceso de conversión (Convertidor Pierce Smith): En esta etapa se continúa aumentando la pureza del concentrado. El metal blanco obtenido previamente desde conversión y limpieza de escoria pasa al CPS, para eliminar los restos de hierro, de azufre y de otras impurezas qué aún le quedan. Esta eliminación se produce en dos fases: “soplado de escoria” y “soplado de cobre”. De este modo se obtiene cobre blíster cuya ley de cobre bordea entre 98-99%. Junto a esto se emiten gases como parte del proceso que son enviados a la planta de ácido.

4.1.3 Unidad de Limpieza de Gases (producción acido)

- Producción de ácido (*Planta de Ácido Sulfúrico*): En esta etapa se tratan los gases emitidos por los procesos de fusión y conversión. De este procesamiento se obtiene ácido sulfúrico, que se provee al proceso de refinación.

4.1.4 Unidad de Refino Fuego (RAF)

- Proceso de refinación: En esta etapa se procesan tanto el cobre blister, como otros sólidos generados en los demás procesos, el cual se lleva a cabo al interior de la nave de hornos, en donde se sitúan dos tipos de hornos: *Hornos de Refino* (2 unidades) y *Horno Basculante.* En esta unidad se logra aumentar el grado de pureza del cobre blister, obteniéndose un cobre anódico listo para ser moldeado
- Proceso de moldeo: Consiste en dar forma a los ánodos de cobre. Consta de *Ruedas de Moldeo* que tienen una capacidad de moldear 50 [ton/h] aproximadamente, las cuales reciben el cobre anódico proveniente desde refino a fuego, se generan dos tipos de productos: *Ánodos Corrientes y Ánodos Hojas Madre,* los cuales son trasladados al proceso de refinación.

4.2 Proceso de refinería

Este es el segundo proceso principal vinculado directamente con la línea productiva, el cual busca generar un máximo valor de pureza de cobre, llegando al 99,99% de ley.

4.2.1 Unidad productos metalúrgicos

- Productos intermedios: En esta sección se encuentra la máquina preparadora de ánodos (MPA), la cual al corregir defectos de las planchas mejora la calidad física de éstos. Ánodos tanto propios del proceso productivo como provenientes de otras fuentes. También se almacenan y organizan los distintos insumos que son necesarios para los procesos de refinería y metales nobles. Por otra parte, en el lugar también se efectúan movimientos de maquinaria pesada, tales como tractores y horquillas, los cuales se emplean para la descarga de scrap y, a su vez, el carguío de ánodos desde la máquina

preparadora de ánodos (MPA) hacia la nave electrolítica para su electro refinación.

- Productos finales: Una vez retirados los cátodos de las celdas electrolíticas, estos pasan a la sección de *Productos Finales*, donde estos son pesados, lavados y se inspecciona mediante control de calidad. Se obtienen tres tipos de cátodos, los Grado A, Estándar y Rechazados. Los cátodos son empaquetados, enzunchados y entran a un programa de embarque o transporte terrestre hasta su destino Final. Los restos de ánodos de la Refinería Electrolítica (SCRAP) se devuelven al Refino a Fuego (RAF).

4.2.2 Unidad refinería electrolítica

- Proceso Obtención Láminas Iniciales: Las Hojas Madres -con un peso de 282 kgs. y un 99% de pureza- provienen de Fundición, específicamente de Refino a Fuego. Estas hojas madres se mantienen en patio de Productos Intermedios antes de ingresar a las piscinas electrolíticas. En estas piscinas se colocan entre dos Hojas Madres una placa de Titanio que, a través de la electrorefinación, sobre sus dos caras se forma una capa de cobre, las cuales se extraen y prensan en una planta para obtener así las Láminas Iniciales.
- Proceso obtención cátodos iniciales: Las láminas iniciales se prensan en la máquina preparadora de cátodos formándose así los Cátodos Iniciales que se depositan en las piscinas electrolíticas entre dos ánodos corrientes.
- Proceso obtención de cátodos comerciales: Los cátodos comerciales se obtienen por la electro- refinación de los cátodos iniciales entre dos ánodos corrientes. Estos tipos de ánodos -con un peso de 270 kgs y 99% de pureza- provienen de refino a fuego y posteriormente pasan a la máquina preparadora de ánodos (MPA). Después de este proceso, las láminas iniciales se siembran en cubas de electro- refinación llamados grupos. Cada grupo está compuesto de 819 láminas, las que se convierten en cátodos comerciales con un peso de

120 kgs y un 99,99% de pureza. Luego se da a lugar la etapa de cosecha, en donde se extraen los cátodos comerciales para ser llevados a productos finales, para su disposición a ser embarcados.

- Proceso planta electrolito: El electrolíto es una sustancia que disocia iones cuando se funde o disuelve, para producir un medio que conduce electricidad. La solución consiste en ácido sulfúrico y sulfato de cobre principalmente que se prepara en la planta de preparación de electrolito.

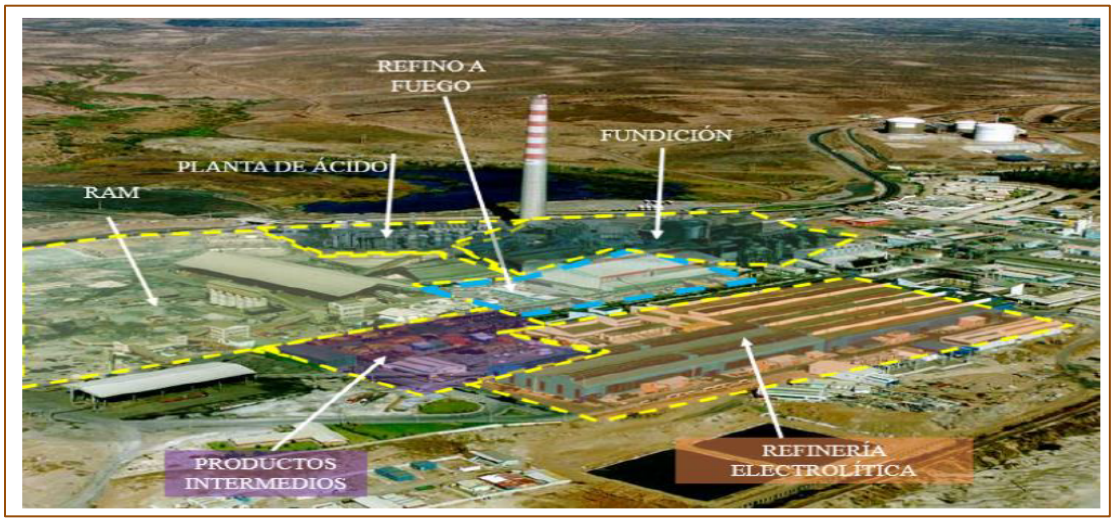


Ilustración 8: Unidades productivas principales División Ventanas.
Fuente: SIGESSO, Departamento de Refino a Fuego

Por último, se puede mencionar que las impurezas obtenidas en la refinación electrolítica forman el barro anódico que, al procesarlo en una planta de metales nobles, permite recuperar oro, plata y selenio. Actualmente la planta de metales nobles de la División Ventanas (Plamen) no está operativa a causa de medidas medio ambientales tomadas desde el 2012. Sin embargo, aún trata el barro anódico proveniente de la nave electrolítica y es comercializado al extranjero.

5. DEPARTAMENTO RECEPCIÓN Y ALMACENAMIENTO DE MEZCLAS. (PLANTA PREPARACIÓN DE CARGA)

El presente estudio de reingeniería se desarrolló específicamente en el área de Confiabilidad, sin embargo con foco de aplicación en el *Departamento de Recepción y Almacenamiento de Mezclas (RAM)* o más bien planta denominada *PRECA (Planta Preparación Carga).*

Este departamento está compuesto principalmente por la *Unidad de Recepción y Mezcla de Material* en su totalidad y por el subproceso de *Secado de la Unidad de Fundición.* A su vez en la práctica se clasifica en los siguientes subsistemas; Recepción de Mezclas (Comando 1 y 2), Planta de Chancado, Alimentación Centros Consumo (Horno Eléctrico, Convertidor Teniente y Convertidores Pierce Smith) y Planta de Secado. Cabe destacar que el estudio está focalizado a la *Unidad de Recepción y Mezcla de Material* excluyendo por consecuencia la Planta de Secado propiamente tal, dado que sólo se engloba hasta la alimentación de carga al horno de secado, sin embargo de igual forma se describirá dicho proceso para dejar en claridad la totalidad de este departamento. **[9]**

Los materiales que se transportan a lo largo de *PRECA* son: concentrado de cobre húmedo, concentrado de cobre seco, circulante de cobre, carbón y silice.

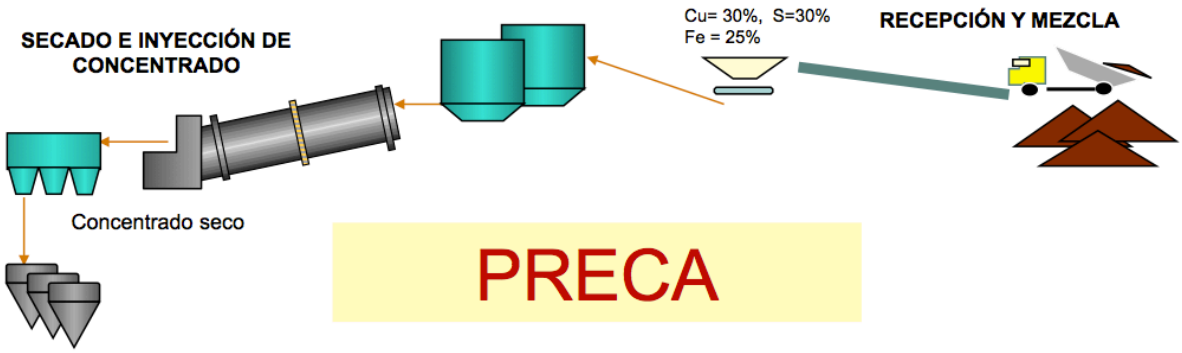


Ilustración 9: Subsistema Secado en Planta Preparación de Carga CODELCO Ventanas. Fuente: CODELCO. [9]

5.1 Misión.

Consta de lo siguiente: **[9]**

- Recepcionar concentrados y abastecer a fundición de una mezcla estandarizada.
- Manejar y clasificar los circulantes generados en las distintas etapas del proceso.
- Proporcionar a fundición los fundentes y reductores necesarios en la operación.
- Reducir la húmedad del concentrado con el fin de evitar el ingreso de húmedad al baño fundido (posibilidad de explosiones), como también evitar obstrucciones en toberas de alimentación del concentrado de Convertidor Teniente.

5.2 Descripción del área.

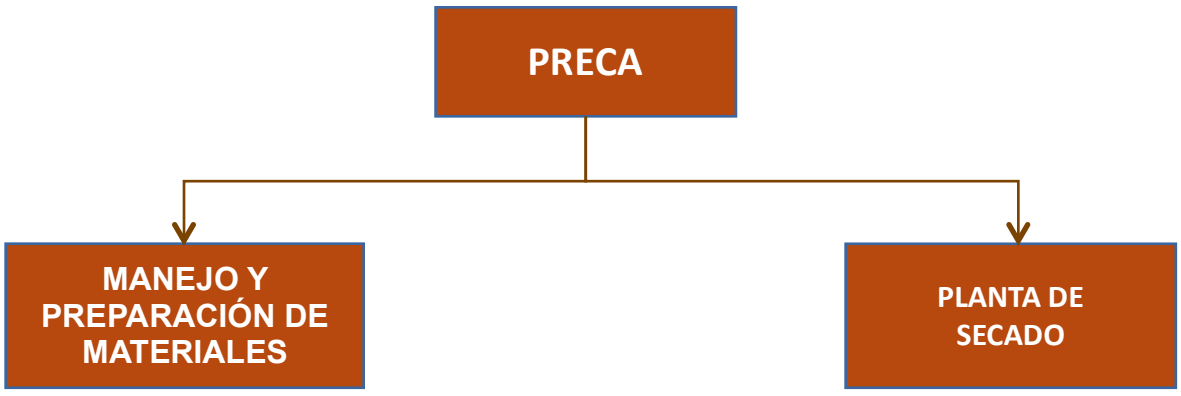


Ilustración 10: Principales subáreas de PRECA CODELCO Ventanas.
Fuente: CODELCO. [9]

5.2.1 Manejo y Preparación de Materiales.

5.2.1.1 Manejo Concentrados.

A División Ventanas ingresan concentrados de distintos proveedores, los cuales a su vez tienen distinta composición y leyes. Los camiones cargados con concentrado son pesados e identificados, determinándose su ubicación y número de conjunto asignado. Una vez que los camiones ingresan al área estos realizan la descarga del concentrado para lo cual existen 12 canchas de conjunto con capacidad de almacenamiento entre 2000 y 5000 [ton/h]. Se realiza una mezcla de los distintos concentrados con el objetivo de alimentar a fundición una mezcla lo más estandarizada posible, debiéndose determinar las características químicas de la mezcla que ingresará a la etapa de secado para alimentar posteriormente al Convertidor Teniente y Convertidores Pierce Smith.

Una vez identificada esta mezcla, los concentrados son transportados hasta las tolvas mediante correas transportadores, para lo cual existen 6 tolvas elevadas con capacidad de 500 toneladas de concentrado cada una.

Desde las tolvas elevadas el concentrado es transportado a través de correas transportadoras hasta las tolvas de húmedo de acuerdo a la mezcla requerida por fundición. Existen 2 tolvas de húmedo cuya capacidad aproximada es de 340 toneladas cada una, donde el concentrado continúa a la etapa de secado.

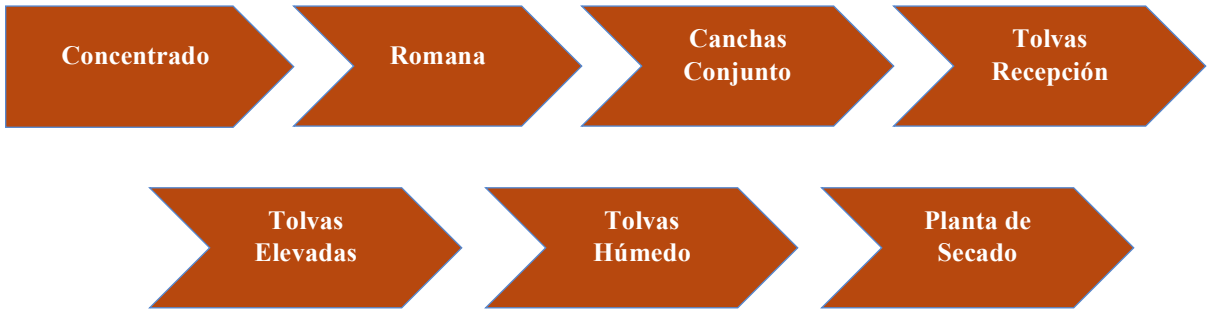


Ilustración 11: Etapas del manejo de concentrados CODELCO Ventanas.
Fuente: Propia.

5.2.1.2 Manejo de Circulantes.

Los circulantes se clasifican de la siguiente forma, considerando su generación.

Tabla 3: Clasificación Circulantes de Cobre CODELCO.
Fuente: CODELCO. [9]

BAJO CUCHARA	**POLVO CONVERTIDOR**	**CASCARÓN METAL BLANCO**	**ESCORIA CONVERTIDOR TENIENTE**	**CIRCULANTE SEC – REC**
POLVO MILJO CPS	**COBRE SUCIO FUNDICIÓN**	**ESCORIAS HR – CPS – HB**	**METAL BLANCO**	**POLVO MILJO HE**
MAZAMORRA	**FINOS**	**ESCORIA ANÓDICA**	**COBRE SUCIO RAF**	**GRANZA**

Su generación viene dada por la fundición RAF (Refino A Fuego), tal como muestra la siguiente ilustración:

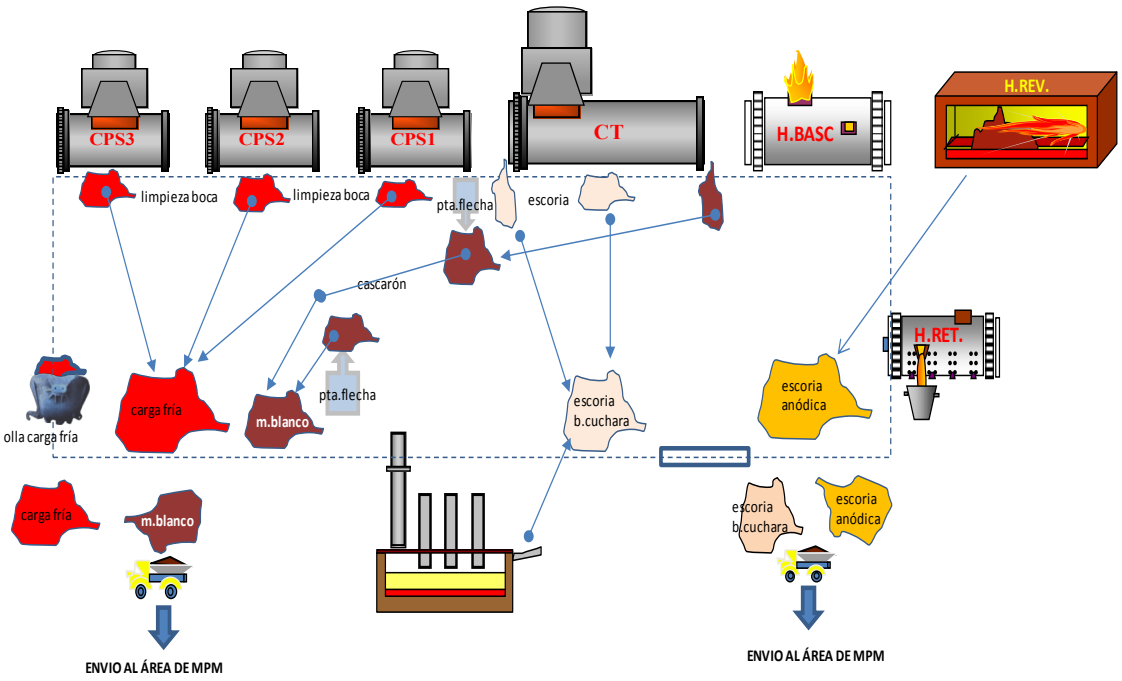


Ilustración 12: Ilustración de la generación de circulantes en fundición CODELCO Ventanas. Fuente: CODELCO. [9]

Los circulantes son vaciados sobre una parrilla de 5"x 5", la que se encuentra ubicada sobre las 3 tolvas de recepción para su ingreso a la planta de chancado. Los circulantes que poseen un diámetro superior a 25 [cm] se clasifican como "cobre sucio" y son adicionados directamente al CPS como carga fría, mientras que el circulante que cae a las tolvas se envía a un harnero vibrador primario, en donde las partículas finas se separan de las gruesas. Las partículas gruesas caen sobre el chancador de mandíbula tipo Blake con capacidad de 40 [ton/h], en tanto el material fino cae directamente a una correa transportadora para posteriormente juntarse con la descarga del chancador de mandíbulas. Todo este material se envía directo al harnero vibratorio secundario.

El sobretamaño de este harnero se transporta al chancador rotatorio Hidrocono, cuya capacidad es de 60 [ton/h]. La descarga del chancador Hidrocono y el harnero secundario se juntan y son transportadas hacia las cuatro canchas de acopio, desde

donde posteriormente se transporta el material mediante correas hasta las tolvas de circulantes en Horno Eléctrico y Convertidor Teniente.

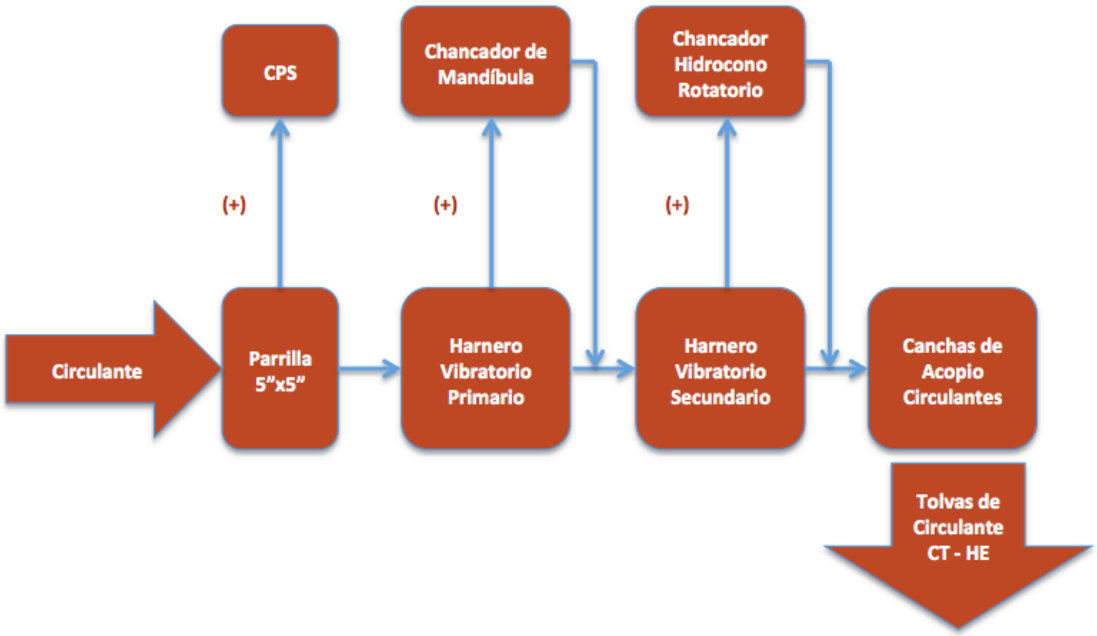


Ilustración 13: Ilustración del manejo de circulantes CODELCO Ventanas. Fuente: CODELCO. [9]

5.2.2 Planta de Secado.

El objetivo de la Planta de Secado es reducir la húmedad del concentrado con el fin de evitar obstrucciones en toberas de alimentación del concentrado en Convertidor Teniente. El concentrado luego ingresa a la planta con una húmedad de 8-10% para luego ingresar al Convertidor Teniente con una húmedad aproximada de 0.2%.

5.2.2.1 Descripción del Proceso.

El concentrado de las tolvas de húmedo es descargado a un sistema de correas transportadoras para posteriormente ingresar a través de un ducto por gravedad al cilindro del secador rotatorio, aproximadamente a 60 [ton/h].

Para lograr el secado del concentrado se tiene una cámara de combustión, la que tiene como objetivo producir gases calientes que permitan secar el concentrado en el cilindro rotatorio. El combustible utilizado normalmente es Gas Natural, pero cuenta con sistemas de Fuel Oil y Diesel como alternativas.

Los gases a la salida de la cámara de combustión tienen una temperatura de alrededor 500-550 ºC. Los gases de combustión, junto al material particulado de concentrado seco en suspensión son enviados a un filtro de mangas que tiene por objetivo retener las partículas de concentrado, las cuales se recuperan posteriormente por su parte inferior. (emisión de PM10 y azufre).

Luego el concentrado cargado en los vasos de transporte es enviado a la tolva de concentrado seco (500 toneladas de almacenamiento), cuyo objetivo es acumular suficiente material de modo que permita el proceso de inyección de concentrado a Convertidor Teniente opere en forma continua.

Los vasos de inyección transportan el concentrado desde la tolva de 500 toneladas hasta el Convertidor Teniente a través de toberas de inyección, para lo cual se dispone de tres vasos de inyección, dos de los cuales se encuentran operativos y un tercero de respaldo y para realizar mantención.

Los vasos de inyección operan en forma similar a los vasos de transporte, en forma alternada y automatizada. Se carga desde la tolva de 500 toneladas por gravedad hasta que se alcanza una masa de 5000 kg.

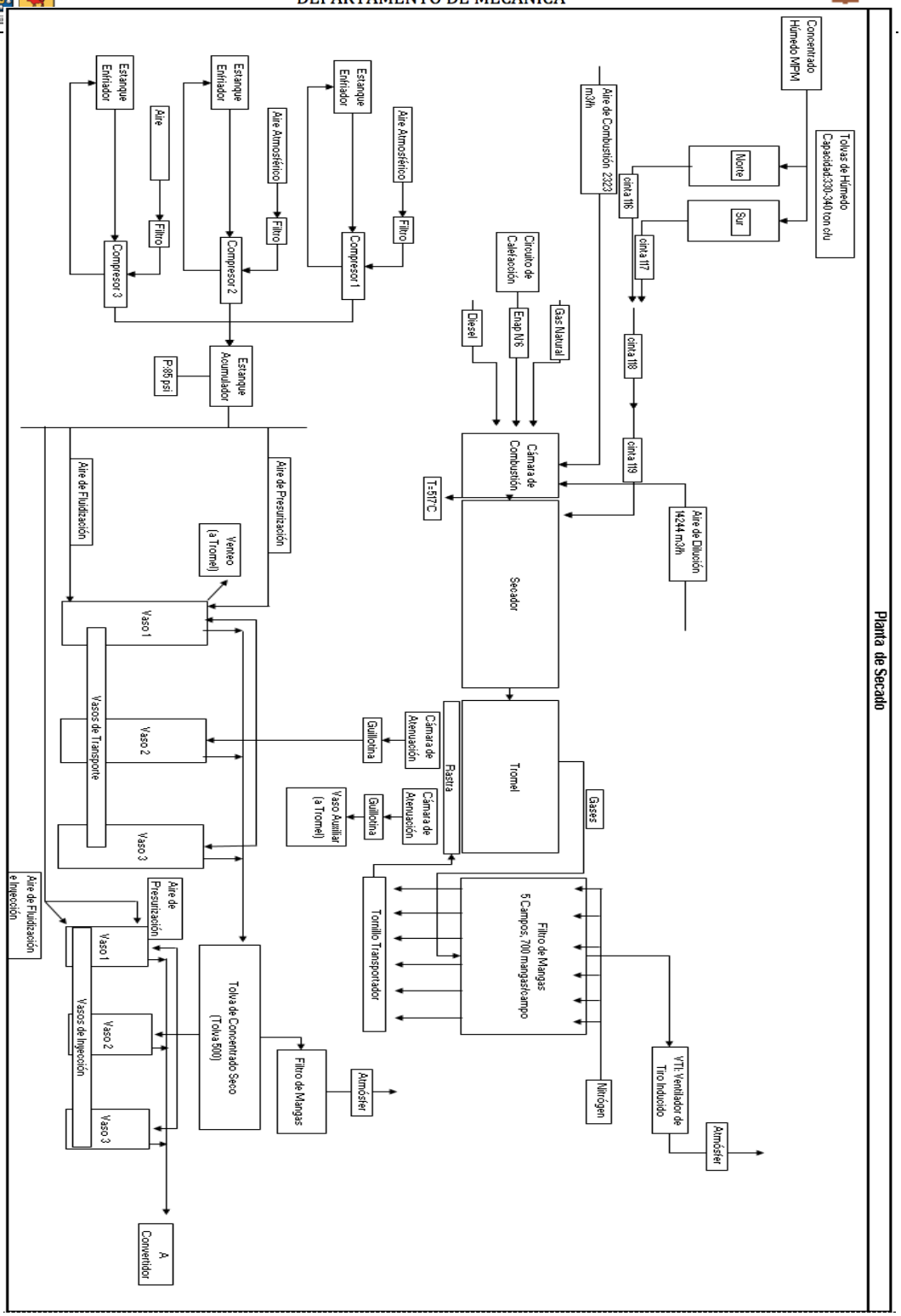


Ilustración 14: Ilustración Planta de Secado CODELCO Ventanas.
Fuente: CODELCO.[9]

5.3 Descripción Principales Equipos.

A continuación se darán a conocer aspectos relevantes acorde a componentes de los principales equipos presentes en *Planta Preparación de Carga, CODELCO DVEN* de manera general y genérica. Es importante tener conocimiento del funcionamiento mecánico y elementos que componen el correcto cumplimiento de las funciones primarias y secundarias para lo cual fueron diseñados estos equipos.

Cabe destacar en sí, que la planta posee una variedad de equipos que no se mencionarán en detalle dada su menor importancia como aporte en la producción.

5.3.1 Chancador Hidrocono.

5.3.1.1 Definición.

En la planta sólo se posee un ejemplar de chancador rotatorio cónico, el cual realiza tareas de chancado secundario donde el material a procesar es triturado entre dos superficies rígidas. El movimiento de la superficie móvil es independiente de la carga del chancador. La trituración se logra por medio de un movimiento excéntrico del eje principal. Los fragmentos individuales del material a procesar son apretados, comprimidos y triturados entre el manto y el cóncavo.

El accionamiento del eje principal es a través de transmisión mecánica piñon-corona, el cual a su vez es accionado por un motor eléctrico acoplado al eje piñon. Este equipo el que esta equipado con un sistema hidráulico para ajustar la posición vertical de operación del eje principal y asi regular granulometría o evitar atascamiento, además posee sistemas de lubricación con refrigeración mediante ventilador y la mayor complejidad en cuanto a instrumentación electrónica en la planta, por lo tanto

es posible monitorear con mayor facilidad el funcionamiento y posibles futuras averías.

5.3.1.2 Componentes principales

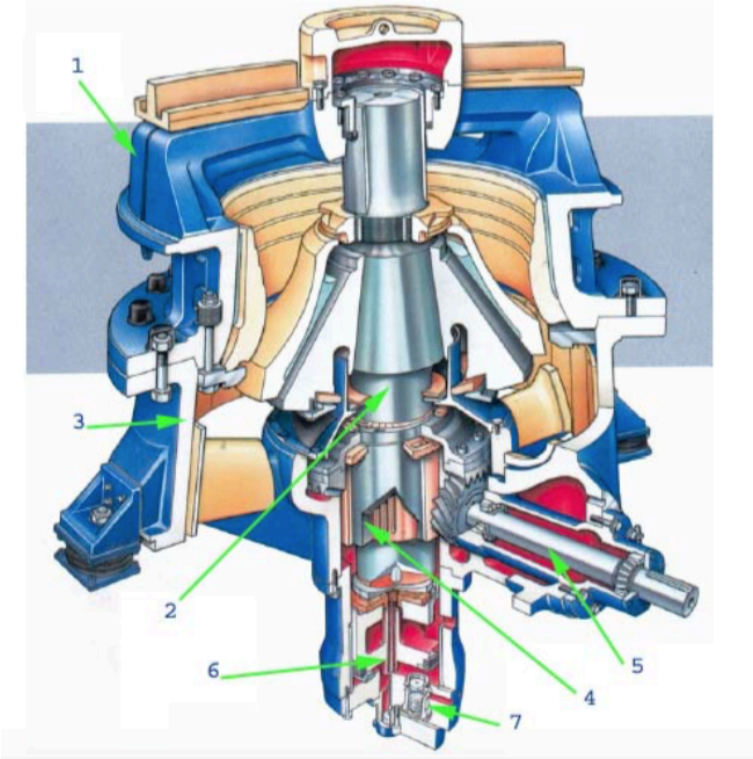


Ilustración 15: Componentes principales chancador hidrocono.
Fuente: Sandvik.

1. Carcasa superior y araña: Su función principal es sostener el eje principal.

2. Eje principal: Realiza el chancado de mineral por medio de la presión ejercida entre las planchas de revestimiento del cono y cóncavo.

3. Carcasa inferior: Soporta los conjuntos de excéntrica, eje piñon e hydroset.

4. Excéntrico: Elemento que da giro excéntrico al eje principal.

5. Eje-piñon: Entrega el torque al excéntrico proveniente del motor eléctrico.

6. Hydroset: Determina la altura de poste con la cual se realizará el chancado de mineral.

7. Sistema lubricación: Provee de lubricante al conjunto completo.

8. Motor eléctrico: Provee de torque excéntrico y eje principal.

5.3.2 Chancador de Mandíbula.

5.3.2.1 Definición.

Dentro de los chancadores primarios se encuentra en la planta también como único ejemplar el chancador de mandíbula. Es un equipo de trabajo pesado, utilizado para reducir el mineral tal y como se extrae de la mina hasta un tamaño apropiado de transporte y de alimentación del chancador secundario.

La forma característica de esta clase de chancadores son dos placas (mandíbulas), formando un ángulo agudo entre ellas, que se abren y cierran. El material alimentado dentro de las mandíbulas es alternativamente triturado y liberado para descender continuamente dentro de la cámara de trituración, cayendo finalmente por la abertura de descarga. Los chancadores de mandíbula se clasifican por el método para apoyar la mandíbula móvil. En este caso particular es tipo Blake, donde la mandíbula esta apoyada en la parte superior y de ese modo tiene una abertura de alimentación fija, y una abertura de descarga variable como se observa en la Ilustración 16.

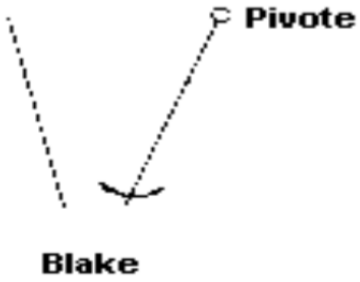


Ilustración 16: Funcionamiento básico Chancador Mandíbula tipo Blake.
Fuente: Sandvik.

Se destaca que el movimiento es generado por un motor eléctrico el cual transmite el movimiento a una de las poleas mediante una correa, donde la otra polea actúa como volante de inercia.

5.3.2.2 Componentes principales

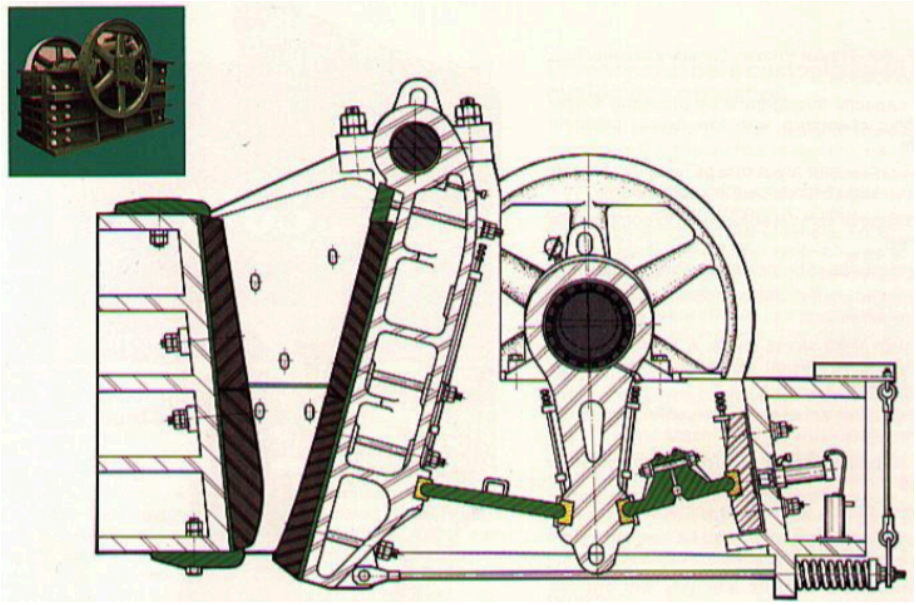


Ilustración 17: Componentes principales chancador mandíbula blake.
Fuente: CODELCO

1. Muela fija y placas laterales: Da apoyo ante la presión ejercida por muela móvil en el proceso de chancado.

2. Muela móvil: Realiza el chancado de mineral mediante el apoyo de la muela fija y placas laterales.

3. Conjunto pitman: Transmite el movimiento necesario a muela móvil mediante puente de fierro fundido para el chancado de mineral.

4. Puentes fierro fundido: Dan conexión/unión a partes móviles del conjunto principal del equipo.

5. Excéntrico: Elemento que da giro excéntrico al conjunto pitman.

6. Motor eléctrico: Genera el torque necesario, el cual se transmite a través de poleas y correas al excéntrico.

7. Poleas y correas: Transmite el torque desde el motor eléctrico al conjunto excéntrico.

8. Lubricación: Provee de lubricante al conjunto móvil.

5.3.3 Harnero Vibratorio.

5.3.3.1 Definición.

Los harneros vibratorios son equipos de tipo mecánico y eléctrico con baja amplitud y alta frecuencia, que en resumen consta de superficies de mallas o chapas perforadas con una determinada abertura. Estas mallas están sobre un marco que esta adherido a las paredes del equipo denominada caja vibratoria, la cual en ocasiones posee mayor o menor inclinación y esta superpuesta sobre amortiguadores/resortes los cuales soportan y aislan la vibración. Esta estructura es accionada por un movimiento excéntrico a través de correas, poleas y excéntrica, las que a su vez son alimentadas por un motor eléctrico. Cabe destacar que la principal función de los 3 harneros presentes en la planta es la de estratificar el material según requerimiento, estando en disposición lógica tipo serie con lo que se deduce el harnero primario posee aberturas mayores que el terciario.

5.3.3.2 Componentes principales

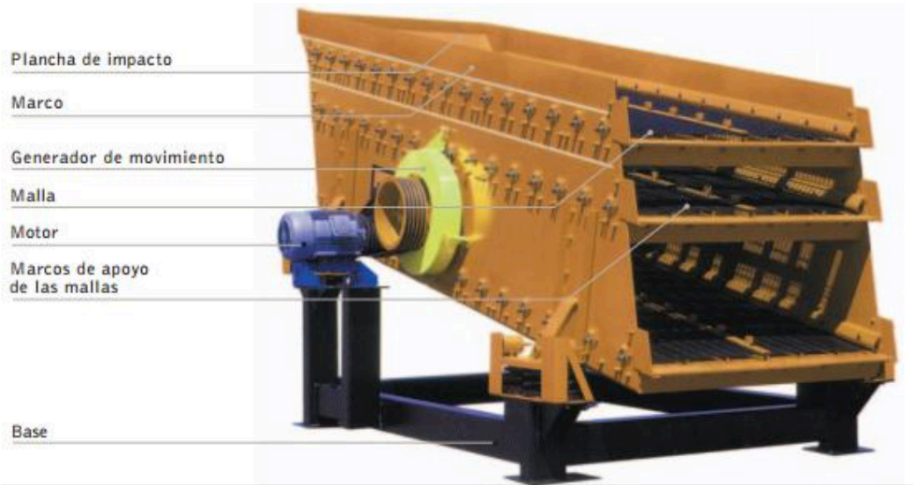


Ilustración 18: Componentes principales harnero vibratorio.
Fuente: Rivet.

1. Caja alimentación: Recibe el material de impacto para comenzar la estratificación.

2. Caja vibratoria (estructura): Genera la soportación total del harnero.

3. Amortiguación: Amortigua y aisla las vibraciones generadas por el harneo.

4. Poleas y correas: Transmite el torque desde motor eléctrico hacia conjunto excéntrica.

5. Conjunto excéntrica: Genera el movimiento excéntrico para el harneo de mineral.

6. Lubricación: Provee de lubricante a las piezas móviles.

7. Mallas y revestimientos: Mediante los diferentes mallas y aberturas, se genera la estratificación de mineral.

8. Motor eléctrico: Provee de torque necesario para generar movimiento excéntrico.

5.3.4 Correa Transportadora.

5.3.4.1 Definición.

Es un sistema de transporte continuo formado básicamente por una cinta de caucho reforzado, que se mueve entre dos poleas. La correa es arrastrada por fricción por una o más poleas (motrices), que a su vez son accionadas por uno o más motores. Las otras poleas suelen girar libres, y la función de una de ellas (polea de cola) es la de servir como retorno de la correa transportadora. La correa es soportada por rodillos entre las poleas motrices y de cola.

Se utilizan principalmente en el transporte de materials granulados, en empresas de distintos rubros, siendo la minería una de las principales empresas que enfatizan su utilización. En particular en la planta sometida al estudio se poseen 84 ejemplares de variadas características, sin embargo se dará énfasis a los equipos críticos mas adelante.

5.3.4.2 Componentes principales.

Las correas transportadora cuentan con diversos componentes básicos necesarios para su correcto funcionamiento, los cuales pueden ser apreciados en el esquema de la figura x..

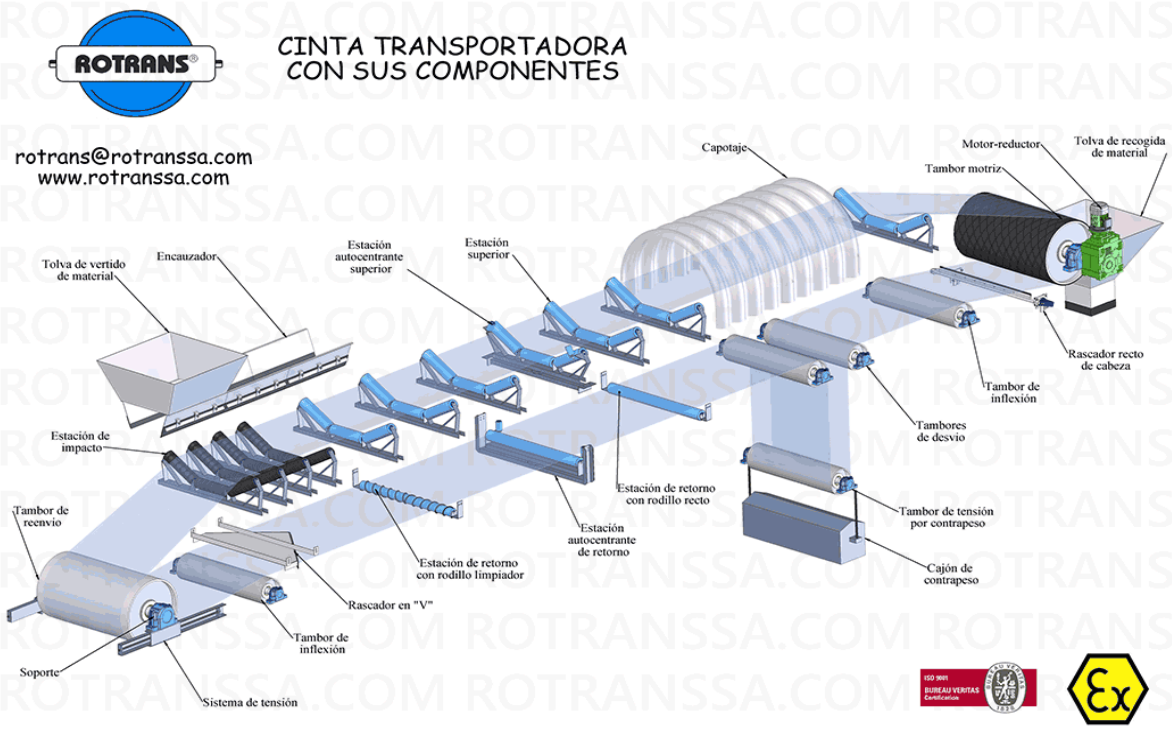


Ilustración 19: Componentes principales del sistema de correa transportadora.
Fuente: Rotrans.

A continuación de describirán los principales componentes que conforman una correa transportadora.

1. Cinta o banda: Transporta la carga de mineral desde zona de alimentación hasta zona de descarga, absorviendo las tensiones del arranque generado por contacto con polea motriz.

2. Estaciones (polines y soportes): Permiten el deslizamiento de la cinta en zona de carga y retorno. En ocasiones poseen la función de alineamiento de la cinta adicionalmente.

3. Tambores o poleas: Con la polea motriz se transmite el movimiento de forma tangencial proveniente del motor eléctrico hacia la cinta, mientras que la polea de cola permite el retorno de ésta.

4. Tensores de banda: Mantiene la tensión adecuada en la cinta para su correcto funcionamiento.

5. Bastidores: Da soportación como estructura general al equipo.

6. Equipos de limpieza (raspadores): Remueve el material adherido a la cubierta dela cinta transportadora.

7. Motor eléctrico: Provee de torque necesario a polea motriz para generar el movimiento del transportador.

8. Acoplamientos: Transmite el par desde motor eléctrico al reductor de velocidad.

9. Reductores de velocidad: Ajusta la velocidad correcta requerida para el transporte de mineral.

10. Frenos y mecanismos antiretorno: Permite frenar el movimiento de la correa e impide ésta retorne en sentido contrario al movimiento requerido.

11. Carga del transportador: Se realiza la carga de material mediante un alimentador o chute de carga.

12. Descarga del transportador: Se realiza la descarga de material mediante un chute de descarga.

5.3.4.3 Comparación con otros medios de transporte de material.

Las ventajas que tienen las correas transportadoras en comparación con otros sistemas de transporte de materiales, son los siguientes: permiten el transporte de materiales a gran distancia a un costo por tonelada transportada considerablemente más bajo, se adaptan a cualquier tipo de terreno, tienen una gran capacidad de transporte (hay correas que tienen capacidad de transportar hasta 20.000 toneladas por hora), permiten transportar una gran variedad de materiales, permiten la carga y descarga en cualquier punto del trazado, se pueden desplazar y no alteran el producto transportado.

A continuación en Tabla 4 se comparan el uso de correas transportadoras y camiones de extracción

Tabla 4: Comparación de sistemas de transporte de materiales.
Fuente: Elaboración propia.

Sistema de transporte	Correa transportadora	Camión de extracción
Costo de operación y mantenimiento	Menor	Mayor
Mano de obra	Normal	Especializada
Nº de operarios	Menor	Mayor
Inflación de costos interanuales	Menos sensible	Mas sensible
Eficiencia energética	Mayor (motores eléctricos) (>75%)	Menor (petróleo) (<45%)
Capacidad	No f (distancia)	Si f (distancia)
Longitud de transporte	Menor, admite mayores pendientes (33%)	Mayor, pendiente limitada (8%)
Construcción y mantenimiento de pistas	Menor, pistas de mantenimiento y auxiliares	Mayor, tráfico elevado
Proceso de extracción	Continuo	Intermitente

Condiciones ambientales	Menor influencia	Mayor influencia
Organización y automatización	Muy buena	Peor
Capacidad de transporte	Alta	Media
Inversión inicial	Alta	Menor, pistas
Versatilidad y adaptabilidad	Baja	Alta
Actual, versatilidad	Media, motores de velocidad variable	Alta
Planificación y cálculo	Elevado y riguroso	Riguroso
Diseño en serie	Menor tiempo de disponibilidad del conjunto	-

5.4 Resumen. [9]

1. El área de MPM debe recibir, preparar y abastecer una mezcla de concentrado definida, proveer la logística para la preparación y manejo de circulantes, además abastecer carbón coque y silice requerido en la fundición.

2. La Planta de Secado reduce la húmedad del concentrado con el fin de evitar obstrucciones en toberas de alimentación del concentrado en Convertido Teniente.

3. La tolva de 500 toneladas acumula concentrado suficiente para permitir que el proceso de inyección de concentrado a Convertidor Teniente opere en forma continua y eficiente.

4. La preparación, chancado, clasificación y cuantificación de los circulantes debe ser muy estricta, ya que se debe mantener un mínimo stock. Por lo anterior, es que la generación de circulante se debe reducir en todo ámbito de operación.

5. El manejo de concentrado conlleva pérdidas las que deben ser minimizadas en beneficio de un resultado económico del *Negocio Fundición.*

6. METODOLOGÍA

El trabajo de titulación es acerca de:

"Estudio de reingeniería en el diseño de plan estratégico de mantenimiento de planta preparación de carga de empresa minera basado en modelos de mantenimiento y centrado de confiabilidad".

Fue realizado en Codelco División Ventanas, donde se implementó una metodología basada en el nuevo sistema operativo de mantenimiento (SOMA). Por lo que el desarrollo y cumplimiento de los objetivos asociados están en gran parte basados en este nuevo estándar corporativo, complementado con los requerimientos específicos de la empresa.

A grandes rasgos los alcances de este estudio corresponden en primera instancia a realizar un levantamiento de equipos de la planta, revisión de frecuencia de falla e impacto de cada una de ellas, seguido de una jerarquización de equipos según criticidad para lograr definir la estrategia óptima de mantenimiento de los equipos más críticos, con la finalidad de priorizar recursos y dejar una base para la actualización del *Plan Matriz de Mantenimiento*. Todo esto considerando el apoyo del personal de las plantas, junto a la orientación de ingeniería por parte de las áreas confiabilidad y planificación.

A continuación en cada uno de los siguientes puntos se dan a conocer las distintas etapas a llevar a cabo.

6.1 Levantamiento de información

A lo largo del estudio se tiene como requerimiento información específica y precisa para cada etapa. En general se realiza una recopilación de información mediante salidas a terreno del área en cuestión, con el fin de conocer los procesos productivos, salas de operaciones, áreas de mantenimiento, áreas de planificación y los equipos involucrados de manera presencial. Esto es complementado con la facilitación de información tanto oficial de la empresa como personal de los trabajadores que puedan proporcionar para la ayuda en la comprensión de la información necesaria para el cumplimiento de este estudio.

Por otro lado, se dispone de información proporcionada directamente del software SAP PM, plataforma que resulta ser clave en este proceso de estudio y además requiere ser potenciada.

6.2 Situación actual equipos

Antes de comenzar cualquier estudio se debe tener un conocimiento de los equipos comprometidos y los procesos involucrados. Lo que se busca en primer lugar antes de generar un estudio en sí, es tener identificada la situación actual de las áreas involucradas, es por esto que una primera etapa para el desarrollo de esta metodología luego de identificar la información recopilada, es revisar y analizar esta información con el fin de generar una propuesta lo más actualizada de los equipos presentes.

Esto con la finalidad de actualizar las Ubicaciones Técnicas (UT's) presentes en SAP, generando una propuesta de estructura en SAP a partir de lo analizado. Esta propuesta debe ser lo más representativa, por lo que puede contener tanto eliminación y adición de equipos, como reestructuración del formato presente. Representando así una

estructura correcta de áreas, equipos y componentes presentes en las plantas, que servirán de base para generar los estudios posteriores de la memoria. Estas estructuras además deben facilitar y asegurar una correcta gestión de mantenimiento en SAP, ajustándose a los estándares corporativos.

6.3 Jerarquización de equipos y evaluación de desempeño

A partir del levantamiento de equipos en el área de estudio, se busca establecer la criticidad de los activos involucrados, utilizando el estándar corporativo de criticidad, que en este caso es basado en SOMA, obteniéndose así los equipos más críticos de la planta según esta jerarquización. Posterior a esto se busca evaluar el potencial de desempeño de los equipos más críticos mediante indicadores de mantenimiento. A continuación se muestra el flujo de análisis utilizado en SOMA para este proceso.

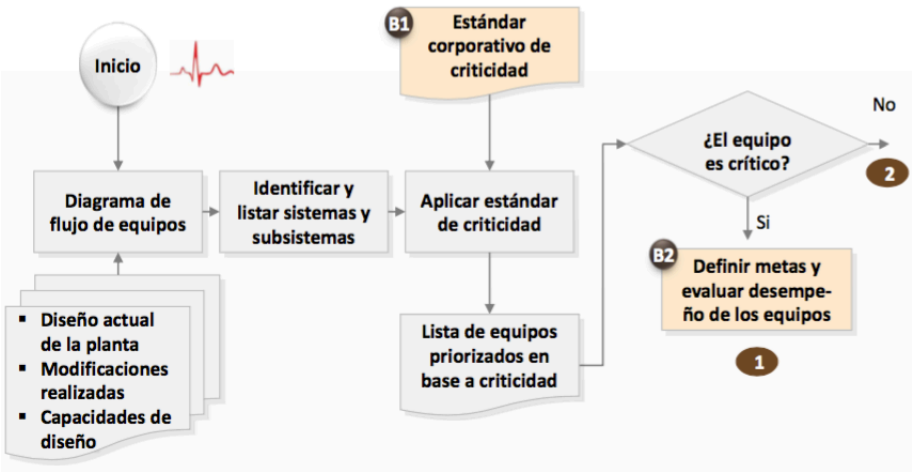


Ilustración 20: Flujo de análisis de criticidad definidio en SOMA.
Fuente: Sistema Operativo de Mantenimiento CODELCO.

6.3.1 Estándar corporativo de criticidad

Este método de criticidad total de falla considera un factor frecuencia de falla en un determinado periodo de tiempo y un factor de consecuencia de falla que involucra variables de impacto en producción, seguridad operacional, impacto medio ambiental y costes de mantenimiento.

Definido de la siguiente manera: "**Criticidad= Frecuencia x Consecuencia**"

A continuación, se explica en que consiste cada factor.

6.3.1.1 Frecuencia de falla

Este factor se cuantifica mediante una escala relativa del 1 al 6, siendo 6 el escenario con mayor frecuencia y 1 el menos frecuente, es decir, a partir de la frecuencia estimada de un evento de averia, se proporciona un factor que representa el indicador de frecuencia.

Tabla 5: Indicador de frecuencia en análisis de criticidad definidio en SOMA.
Fuente: Sistema Operativo de Mantenimiento CODELCO.

Frecuencia de ocurrencia de falla	Indicador de frecuencia
Ocurren fallas diariamente	6
Ocurren fallas una vez por semana	5
Ocurren fallas una vez al mes	4
Ocurren fallas una vez cada 6 meses	3
Ocurren fallas una vez al año	2
ocurren fallas una vez cada 10 años	1

6.3.1.2 Consecuencia de falla

Es la definición del riesgo relativo de cada equipo acorde con los impactos de una eventual avería. Este factor de consecuencia de falla califica 4 dimensiones según un

peso específico relativo, definido según estándares, las cuales son seguridad (SE), medio ambiente (MA), producción (PR) y costo de mantenimiento (CM).

El factor de consecuencia se obtiene a partir de un puntaje de evaluación dado por la siguiente expresión: "**PTJ=SE+MA+PR+CM**"

Donde:

- **SE:** consecuencias potenciales que podía tener una falla para la seguridad de las personas hasta las comunidades vecinas
- **MA:** Consecuencia sobre el medio ambiente. En las instalaciones de Codelco o en áreas próximas para el aire, el agua y/o la tierra.
- **PR:** Perdida o paradas de producción que pueden ocurrir como consecuencias potenciales de una falla
- **CM**=costos de mantenimiento en los cuales se incurre para restituir la función afectada por la ocurrencia de la falla.

Cada uno de estos componentes, tiene un puntaje propio que depende de la gravedad de este factor y está dado por la siguiente tabla.

Tabla 6: Evaluación de impacto en análisis de criticidad definidio en SOMA.
Fuente: Sistema Operativo de Mantenimiento CODELCO.

Evaluación de impacto	**40 pts.** Riesgo de accidente con fatalidades múltiples.	**40 pts.** Riesgo de daño medioambiental severo y de largo plazo.	**12 pts.** Pérdida de producción mayor a 1 día.	**10 pts.** Costos muy altos sobre los 500K USD.
	38 pts. Riesgo de accidente con una fatalidad	**32 pts.** Riesgo de daño de largo plazo.	**8 pts.** Pérdida de producción entre 12 hrs y 1 día.	**8 pts.** Costos altos entre 100 y 500K USD.
	30 pts. Riesgo de accidente con discapacidad permanente	**28 pts.** Riesgo de daño de corto plazo.	**4 pts.** Pérdida de producción de entre 2 y 12 hrs.	**5 pts.** Costos medios entre 50 y 100k USD.
	12 pts. Riesgo de accidente con tiempo perdido.	**10 pts.** Riesgo de daño medioambiental menor.	**2 pts.** Pérdida de producción de hasta 2 hrs.	**2 pts.** Costos bajos entre 10 y 50K USD.

	0 pts. Sin riesgo para las personas.	**0 pts.** Sin daño al medioambiente.	**0 pts.** Sin pérdida de producción.	**1 pt.** Costos muy bajos 10k USD.

Así, el puntaje de evaluación de consecuencia nos proporciona el indicador de consecuencia según la siguiente tabla.

Tabla 7: Indicador de consecuencia en análisis de criticidad definidio en SOMA.
Fuente: Sistema Operativo de Mantenimiento CODELCO.

Puntaje en evaluación de consecuencias	Indicador de consecuencia
Consecuencia total>38	6
28<Consecuencia total<38 ó Consecuencia en producción=12	5
20<Consecuencia total<28	4
10<Consecuencia total<20	3
4<Consecuencia total<10	2
Consecuencia total<4	1

Finalmente, el índice de criticidad viene dado por la multiplicación de los parámetros de consecuencia y frecuencia de falla como se puede apreciar a continuacion, jerarquizando de este modo los equipos presentes en la planta según Tabla 8.

Tabla 8: Índice de criticidad definidio en SOMA.
Fuente: Sistema Operativo de Mantenimiento CODELCO.

Criticidad baja	Consecuenciaxfrecuencia≤4
Criticidad media	4<Consecuenciaxfrecuencia≤10
Criticidad alta	Consecuenciaxfrecuencia>10

Posteriormente se establecen los indicadores de seguridad de funcionamiento a modo de evaluar el potencial de desempeño de los equipos más críticos obtenidos mediante este método.

6.3.2 Evaluación de desempeño de equipos críticos

Una vez establecidos los equipos críticos de la planta en estudio, corresponde evaluar el desempeño actual de éstos para así en un futuro poder definir el potencial de desempeño que se podría alcanzar. En este caso y para el resto de los análisis, el estudio irá enfocado netamente en los equipos con criticidad alta, dejando en un segundo plano a los con criticidad media y exluyendo a los con criticidad baja.

Gestionar los equipos bajo conceptos de confiabilidad y mantenibilidad permite lograr los objetivos de producción y control durante todo el ciclo de vida del activo, desde el diseño hasta el retiro o la baja de éste. Lo anterior, también permite realizar actividades de mantenimiento enfocadas en mejorar continuamente el desempeño, costos unitarios y confiabilidad de los equipos.

Para esta etapa se requiere contar con indicadores por equipos en cuanto a confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad para realizar posteriormente evaluaciones de desempeño que permitan una mejora continua de éstos y conjuntamente estén alineados con los objetivos de resultados de la división.

Actualmente la División no cuenta con un registro de indicadores a nivel de equipo ni de planta, por lo que no existe un estándar que de a conocer el comportamiento actual de los equipos, ni tampoco potenciales de desempeño a modo de metas establecidas.

A continuación, se mostrarán los indicadores estipulados en SOMA que se utilizarán para la evaluación y que permitirán a futuro establecer metas de desempeño.

6.3.2.1 Indicadores a evaluar

Los indicadores a evaluar principalmente constan de los 3 recomendados por SOMA y a modo de complementar el análisis se efectuaron ciertos modelos. A continuación se explican:

- TMEF/MTBF: Tiempo Medio Entre Fallas [h]
- TMPR/MTTR: Tiempo Medio Para Reparar [h]
- Disponibilidad: porcentaje de horas nominales en que los activos estuvieron en condiciones mecánicas y/o eléctricas de ser operados (%)

Para el cálculo de estos indicadores no hay un método recomendado explícitamente en el estándar corporativo es por esto que en conjunto con la empresa (área confiabilidad) se decide utilizar como herramienta de cálculo la metodología correspondiente a la *Distribución Weibull Ranking Ajustado* como se explica con más detalle en el marco teórico **[Anexo A]**.

En cuanto a la disponibilidad de los equipos críticos, se decide optar por el cálculo de una disponibilidad esperada a partir de los indicadores *MTTR* y *MTBF*, los cuales a su vez son obtenidos a partir de las curvas generadas por la *Aproximación de Bernard*. Esta *Disponiblidad Esperada* queda expresada de la siguiente forma:

$$Disponibilidad\ Esperada = \frac{MTBF}{MTBF\ + MTTR} \qquad [1]$$

Adicionalmente, como se señaló en un principio de este ítem se complementan estos 3 indicadores recomendados por estándar corporativo con el modelamiento de *Confiabilidad, Mantenibilidad* y *Tasa de Falla,* utilizando la *Ley de Weibull* tal y como se explica en marco teórico **[Anexo A].**

6.4 Planes estratégicos

Esta etapa se focaliza en desarrollar planes estratégicos de mantenimiento fundamentados en RCM (Reliability Centered Maintenance) según estándar corporativo SOMA, con el fin de generar una base para el desarrollo del plan matriz de mantenimiento.

Para el desarrollo de esta etapa de utiliza un estándar empleado en CODELCO División Ventanas, el cual consta de un formato de planilla que involucra 2 partes, en primer lugar, un análisis basado en RCM y luego alineado a esto la situación optimizada de los planes estratégicos.

6.4.1 Mantenimiento basado en RCM

Según SOMA, el RCM es un abordaje disciplinado para maximizar la productividad de los activos y posee 4 características básicas.

Tabla 9: Características básicas de RCM según SOMA.
Fuente: CODELCO DVEN.

Característica básica	Descripción
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.
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.
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.
Seleccionar tareas para el plan matriz	Cada tarea debe ser determinada en forma:

efectivas y aplicables	- Aplicable (prevenir, detectar, mitigar el inicio de la falla). - Efectiva.

En donde una vez definido y descrito el sistema a ser analizado, el análisis RCM requiere de 8 pasos para ser ejecutado.

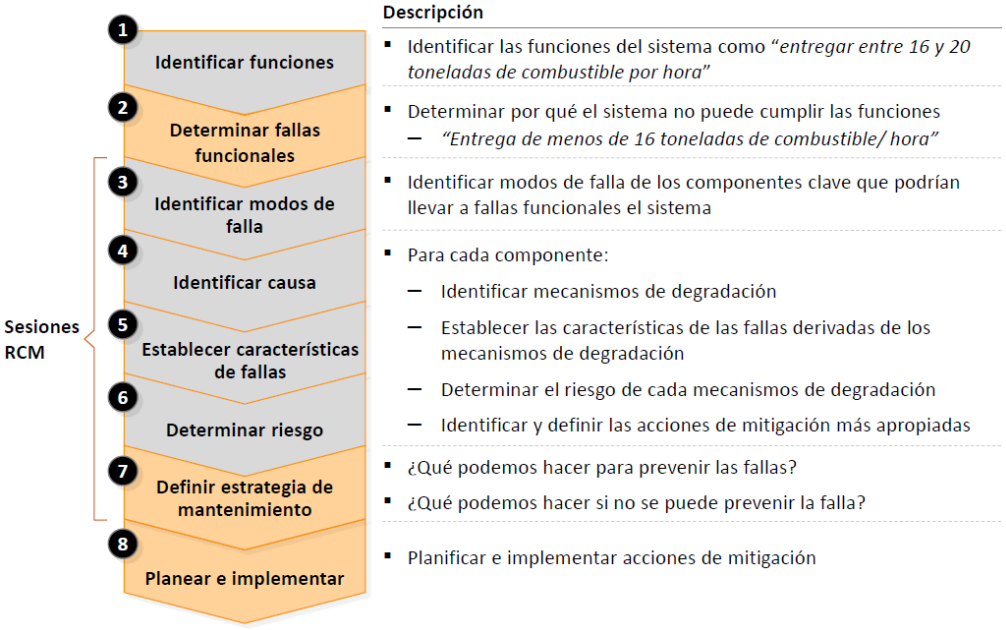


Ilustración 21: Pasos de ejecución de RCM según SOMA.
Fuente: CODELCO DVEN.

Pero como se mencionó con anterioridad este análisis se basa en esta metodología, no abordando todos los puntos a cabalidad por lo que resulta un análisis simplificado de RCM que se resume en una planilla estándar de la División Ventanas, el cual se puede apreciar en el **[Anexo C.3.2]** y se divide en 7 partes, las que se explican a continuación:

- Área: Sector dentro de la División al cual pertenece el equipo a analizar.
- Descripción del equipo: Nombre del equipo critico analizado o de los equipos analizados en caso de que los sean idénticos.

- Sistema: Conjunto de componentes relacionados entre sí, que forman parte del equipo y cumplen una función específica.
- Ítem mantenible: Componente o conjunto de componentes (subsistema) pertenecientes a un sistema del equipo al cual se enfoca el análisis
- Función: Función y parámetros de funcionamiento del ítem mantenible en su contexto operacional actual.
- Falla funcional: Fallo que impide al ítem mantenible cumplir su función de forma parcial o total.
- Modo de falla: Causa o una posible causa por la cual el ítem mantenible puede llegar a un estado de falla funcional.

Luego en base a esta información recaudada se busca generar las estrategias de mantenimiento pertinentes enfocándose en la mitigación de los modos de fallas presentes por activo. Dejando una base de estudio el cual se incita a ser mejorado, siguiendo todos los pasos expuestos en SOMA como un RCM completo, y así identificar la gravedad y jerarquización de estos modos de falla, con el fin de enfocar de mejor forma los recursos.

6.4.2 Estrategias de mantenimiento

Esta sección va ligada de la anterior ya que al identificar el modo de falla, éste se debe mitigar proponiendo una(s) actividad(es) de mantenimiento asociada a cierta(s) especialidad(es). La situación optimizada se divide en 10 partes:

- Tarea: Mediante numeración se determina la cantidad de actividades realizadas a una falla funcional de un ítem mantenible respectivo, el cual puede requerir de mas de una actividad, por lo que esta numeración va en aumento a medida que se propongan mas actividades.
- Archivo de pauta: Nombre generado de la actividad de mantenimiento para ser archivada por mantención, en donde se resume lo principal de la actividad.

- Nombre de pauta: Nombre de la actividad realizada que será utilizada en el nombre de las pautas de mantenimiento del plan matriz, en donde se resume lo principal de la actividad.
- Actividad de mantenimiento primaria: En esta sección se resume la actividad de mantenimiento propuesta para prevenir la falla del componente (Mantenimiento o inspección, puesto de trabajo involucrado, frecuencia de la y actividad, nombre del equipo.).
- Limite Aceptable: Los parámetros dentro los cuales, una vez realizada la actividad de mantenimiento, se considera como aceptable. (Mantenimiento o inspección, Puesto de trabajo involucrado, frecuencia de la actividad y nombre del equipo.).
- Frecuencia: Periodicidad de la actividad de mantenimiento propuesta expresado en semanas.
- Puesto de Trabajo: Especialidad involucrada en la mantención del área en estudio, los cuales se presentan a continuación:

Tabla 10: Listado puestos de trabajo CODELCO DVEN.
Fuente: CODELCO DVEN.

Puesto de trabajo	Descripción	Abreviación
IA1FS810	INSPECCION PREDICTIVO	MON
MA2FS821	LUBRICADORES FUNDICION	LUB
MA1FS823	MEC PLANTA PREPARACIÓN CARGA	MEC
MA4FS831	ELECTRICISTAS DE BAJA TENSION	ELE
MA2FS835	INSTRUMENTISTAS FUNDICIÓN RAM	INST

- Personas: Personal propuesto para la actividad de mantenimiento a realizar.
- Duración: Tiempo total estimado en horas para la realización de la actividad de mantenimiento
- Estado equipo: Estado en el cual se debe encontrar el equipo al momento de realizar la actividad de mantenimiento (Detenido u operando)

Luego esta información recaudada es resumida en otro formato, donde se muestra de mejor modo la periodicidad de los mantenimientos, junto a los puestos de trabajo involucrados. **[Anexo C.3.3]**

6.5 Reuniones de presentación y avances

El desarrollo de este estudio es planificado en una primera instancia, con tal de generar avances, los cuales sean presentados en reuniones que involucran al personal de la División en el proceso.

A lo largo del estudio se deben materializar 3 reuniones:

- Reunión de presentación inicial.
- Avance de *Criticidad de Equipos* y *Actualización de Ubicaciones Técnicas.*
- Presentación final.

Estas reuniones se llevan a cabo con el fin de hacer partícipe al personal de la División en el desarrollo de este estudio, por lo que, al generar estas instancias de reunión, se facilita el debate de retroalimentación y críticas constructivas, junto con el conocimiento activo de resultados y medidas que se irán tomando en el trascurso del estudio.

7. LEVANTAMIENTO Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

Para conseguir este proceso de adaptación en el mantenimiento y lograr las metas de este estudio resulta fundamental tener un levantamiento de la información presente en la empresa, junto al análisis y revisión, buscando estandarizar la información

disponible bajo los requerimientos de la empresa y así poseer una base de datos representativa y además sea útil para futuras proyecciones.

La información fue obtenida principalmente de plataforma SAP, en donde se encuentra toda la información oficial y necesaria respecto al mantenimiento aplicado. Esto fue complementado según el caso con datos obtenidos en terreno, como inspecciones presenciales de equipos y procesos, sumado a la experiencia recaudada por parte del personal y los materiales brindados por estos, como manuales o archivos oficiales de la empresa.

A continuación, se detallará específicamente que información fue necesaria y utilizada para el levantamiento junto con el análisis requerido en cada etapa.

7.1 Actualización de Ubicaciones Técnicas

7.1.1 Información disponible.

Para el desarrollo de la propuesta de UT`s se requirió información tanto del sistema SAP, como de material brindado por el personal. Con plataforma SAP mediante las ubicaciones técnicas (UT's) se tuvo una primera impresión en identificación de las áreas, equipos y componentes involucrados **[Anexo C.1.1]**, apreciando el orden y estructura de UT's ocupado actualmente para la gestión del mantenimiento. En tanto el personal, brindó informes de los procesos productivos, así como algunos diagramas de los procesos y manuales que aportaban al entendimiento de las áreas y las estructuras establecidas.

7.1.2 Revisión y validación de información.

Una vez ya revisada la información disponible se procedió con validación de esta información, la cual se realizó de forma presencial a través de salidas a terreno, en donde en compañía de los operadores y mantenedores, se verificó de manera presencial todos equipos disponibles y el estado de estos.

Con esto se pudo apreciar por una parte que algunos componentes y hasta ciertos equipos no están identificados con certeza por encontrarse sin placas de identificación, ni marcas, ni especificaciones, etc., y por otra parte que la información actualmente utilizada es insuficiente, siendo no realmente representativa ya que hay una mala organización de los componentes, juntos con una falta de equipos y claridad de sus componentes. Esto llevó a generar una propuesta de reestructuración en las UT's de algunas áreas y equipos (hasta componentes) que permite reflejar de mejor manera la condición operacional y de equipos actual del complejo industrial, para así generar un estudio posterior con una base sólida..

En particular la Planta Preparación de Carga constaba con una estructura base de UT's de carácter regular-bajo, donde se realizó un reconocimiento y verificación de todo el universo de equipos relevantes. Como resultado fue necesario realizar ciertas modificaciones, tales como:

- Se ordenó y clasificó todos los equipos según cada subsistema correspondiente.
- Se eliminaron ciertas subáreas.
- Se eliminaron UT's de equipos no existentes fisicamente en terreno.
- Se agregaron equipos existentes en terreno pero faltantes en base de datos.
- Se fijaron claramente los límites de la planta propiamente tal.
- Se reestructuraron inicio-fin de algunos equipos de la planta.
- Se ajustaron los nombres de variados equipos.
- Se estandarizaron todos los nombres y componentes referidos a cada uno de los equipos presentes realmente en terreno.
- Se amplió el detalle en cuanto a componentes de los equipos.
- Se distiguieron subsistemas fisicamente presentes fuera de funcionamiento.

- Se agregaron instrumentos correspondientes a ciertos equipos, los cuales se encontraban dispersos.
- Se realizó cuantificación real según grupos de equipos reales presentes.

7.1.3 Propuesta de UT's

Finalmente se genero una propuesta incial de UT´s la cual fue presentada al personal de la empresa mediante una reunión de avance en donde luego de las respectivas retroalimentaciones se determino la propuesta definitiva de UT`s actuales, la cual se puede apreciar en el **[Anexo C.1.2].**

7.2 Diagramas de proceso

Actualmente la empresa no cuenta con un diagrama digital oficial del proceso productivo, por lo que, en una primera instancia solo se contaba con diagramas antiguos en formato físico. La información mas relevante y actual en este proceso fue otorgada por los mantenedores, quienes contaban con su propio material digital y físico desactualizado, gracias a esto es que se pudo recopilar toda esta información que resulta fundamental para quienes son externos y requieren conocer del proceso productivo de manera mas dinámica.

Finalmente este levantamiento de información y revisión generada en terreno permitió generar un diagrama de las áreas en estudio. **[Anexo E.1]**

7.3 Análisis de criticidad (SOMA)

Para realizar el posterior estudio de confiabilidad es necesario realizar una jerarquización de los equipos, que permitan determinar aquellos equipos más críticos,

donde es necesario direccionar la mayor cantidad de recursos (humanos, económicos y tecnológicos.). Actualmente División Ventanas no cuenta con un sistema formal establecido que determine los equipos críticos de la planta en cuestión, sin embargo, existe el conocimiento general de los equipos y algunos análisis de estudios que aportaron al desarrollo de este estudio.

7.3.1 Evaluación de las variables

En particular en esta etapa se realizó de distintas formas dependiendo de la información necesaria. En primer lugar, la consecuencia de falla se obtuvo de:

- Consecuencias medio ambientales: Se utilizó como base de orientación el documento Excel de la Division Ventanas "Matriz de identificacion de aspectos y evaluaciones de impacto ambientales" **[13].** El cual junto al criterio propio y del personal se adapto a los rangos de SOMA.
- Consecuencias de Seguridad: Se utilizo como base de orientación el documento Excel de la Division Ventanas "IPER Planilla Nueva Mantenimiento de Mecanicos" **[14]**. De igual forma que con las consecuencias ambientales, fue complementado con el juicio propio y del personal.
- Consecuencias en la produccion: Este dato se obtuvo en base a lo conversado con los operadores expertos de cada área, complementándolo con el juicio propio.
- Costos de mantenimiento: Esta informacion se obtuvo del sistema SAP, en el cual en acuerdo con el tutor del estudio, se decidió obtener los costos de mantenimiento de los ultimos 3 años, a los cuales se le saco un promedio anual.

En lo que respecta a la frecuencia, esta se obtuvo mediante la obtención de avisos de averia netamente correctivos, los cuales corresponden a los avisos M1 y M2 de los

últimos años con el cual mediante el juicio propio y experto del personal se definió el indicador más representativo de cada equipo.

Luego de obtener todos los valores requeridos para el estudio de criticidad se generó una tabla para cuantificar los niveles de criticidad de los equipos según el estándar corporativo obteniendo la Tabla 11 **[24],** A continuación se muestra la cantidad de equipos involucrados en las distintas clasificaciones de criticidad.

Tabla 11: Cuantificación equipos según nivel criticidad Planta Preparación de Carga CODELCO DVEN. Fuente: Elaboración propia.

Clasificación Criticidad	Nivel	Cantidad Equipos	
Alto	12	8	8
Medio-Alto	8 y 9	24	88
Medio-Bajo	6	64	
Bajo	1, 2, 3 y 4	53	53
Total:			**149**

7.3.2 Equipos críticos

Finalmente, con este análisis de criticidad ahora Codelco División Ventanas cuenta con un estudio oficial de criticidad de equipos.

Por el interés de la empresa en este estudio se decidió focalizarse en aquellos equipos más críticos para las siguientes etapas del proceso los cuales se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 12: Equipos críticos Planta Preparación de Carga CODELCO DVEN. Fuente: Elaboración propia.

Equipos Críticos
Chancador Primario Mandíbula Blake
Chancador Secundario Hidrocono
Correa Transportadora 46A

Correa Transportadora 4b7
Correa Transportadora 4b8
Harnero Primario
Harnero Secundario
Harnero Terciario

7.3.2.1 Características de los equipos críticos

- Equipo crítico 1: **Chancador Primario Mandíbula Blake**

  - Capacidad chancado: 40 [ton/h]

  - Granulometría chancado salida : 4”

  - Potencia motor eléctrico: 55 [kW]



Ilustración 22: Chancador hidrocono Planta Preparación de Carga CODELCO DVEN.
Fuente: CODELCO DVEN.

- Equipo crítico 2: **Chancador Secundario Hidrocono.**

  - Capacidad chancado: 60 [ton/h]

  - Granulometría chancado salida: 2”

- Potencia motor eléctrico: 37,5 [kW]



Ilustración 23: Chancador blake Planta Preparación de Carga CODELCO DVEN.
Fuente: CODELCO DVEN.

- Equipo crítico 3: **Correa Transportadora 46A**

  - Largo de cinta: 322 [m]

  - Ancho cinta: 26”

  - Espesor cinta: 12 [mm]

  - Potencia motor eléctrico: 37 [kW]



Ilustración 24: Correa transportadora 46A Planta Preparación de Carga CODELCO DVEN.
Fuente: CODELCO DVEN.

- Equipo crítico 4: **Correa Transportadora 4b7**

  - Largo de cinta: 67 [m]

  - Ancho cinta: 26”

  - Espesor cinta: 12 [mm]

  - Potencia motor eléctrico: 7,5 [kW]



Ilustración 25: Correa transporadora 4b7 Planta Preparación de Carga CODELCO DVEN.
Fuente: CODELCO DVEN.

- Equipo crítico 5: **Correa Transportadora 4b8**

  - Largo de cinta: 38 [m]

  - Ancho cinta: 26”

  - Espesor cinta: 12 [mm]

  - Potencia motor eléctrico: 3,7 [kW]



Ilustración 26: Correa transporadora 4b8 Planta Preparación de Carga CODELCO DVEN.
Fuente: CODELCO DVEN.

- Equipo crítico 6: **Harnero Primario**

  - Estratificación: 2”

  - Potencia motor elétrico: 5,5 [kW]



Ilustración 27: Harnero primario Planta Preparación de Carga CODELCO DVEN.
Fuente: CODELCO DVEN.

- Equipo crítico 7: **Harnero Secundario**

  - Estratificación: 1½”

  - Potencia motor elétrico: 11 [kW]



Ilustración 28: Harnero secundario Planta Preparación de Carga CODELCO DVEN.
Fuente: CODELCO DVEN.

- Equipo crítico 8: **Harnero Terciario**

  - Estratificación: 3 [mm]

  - Potencia motor elétrico: - [kW]

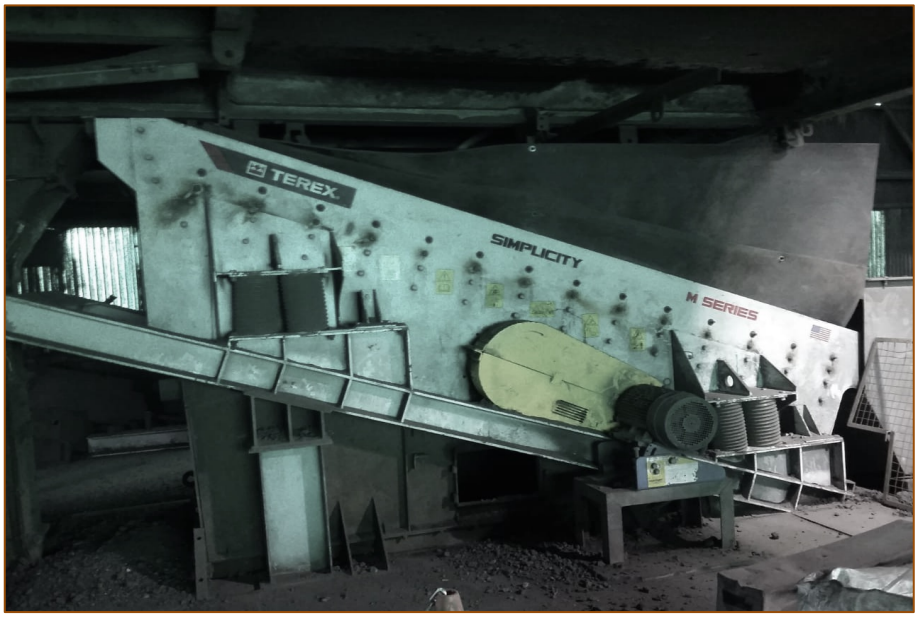


Ilustración 29: Harnero terciario Planta Preparación de Carga CODELCO DVEN.
Fuente: CODELCO DVEN.

7.4 Utilización de Indicadores Seguridad Funcionamiento.

7.4.1 Información Disponible.

Actualmente la empresa solo lleva un registro de MTTR y MTBF a nivel de área de mantenimiento en Planta Preparación de Carga, los cuales están erróneamente calculados por lo que no se contaba con un análisis posterior para este proceso y se tuvo que realizar a partir de los datos disponibles. La información para este estudio se obtuvo netamente de SAP, en donde se utilizó la información disponible nuevamente de los avisos correctivos de mantención de los equipos críticos a través de los avisos M1 y M2 de SAP. Estos datos fueron recopilados desde el año 2008 hasta el periodo actual, para así tener toda la información disponible respecto a las fallas.

Del programa se desprende la información más relevante que para este caso es:

- Ubicación técnica.
- Nº de aviso.
- Descripción de la falla.
- Hora inicio de la avería.
- Hora de fin de la avería.
- Fecha de inicio de la avería.
- Fecha de fin de la avería.

7.4.2 Análisis de la información.

Al realizar una revisión de los datos para la generación de las curvas según Ley de Weibull se apreciaron los siguientes problemas en algunos de los avisos:

- Descripciones de fallas muy generales, involucrando al equipo como un todo, sin especificar claramente el componente afectado.
- Avisos no concluidos, dejando abierta la fecha de término del proceso o colocando una hora de finalización de 00:00, que implicaba no tener una hora representativa del término de aviso.
- Avisos concluidos, pero con fechas dudosas por el largo periodo de reparación involucrado.
- Avisos de falla con puestos de trabajo responsables cambiados.
- Causas de falla nula.

Estas problemáticas dificultaron el proceso y se tuvo que recurrir al personal de la planta para consultas más específicas y así llevar la información recaudada a que sea lo más representativa posible. También al no tener definida claramente que

componentes eran los afectados en general, se realizó un estudio a nivel de equipo no a nivel de componente averiado.

7.4.3 Estimación de los parámetros Weibull.

Para poder estimar los parámetros Weibull se procede a obtener la base de datos del año 2008 desde SAP CODELCO por las averias del equipo en cuestión **[Anexo C.2.1]** no olvidando que lo ideal es desde que el equipo ha comenzado a operar, pero aún así el procedimiento quedará demostrado con la mayor cantidad de datos que pueda brindar plataforma SAP. Al ser datos obtenidos desde SAP, los cuales son ingresados por el personal de CODELCO, están sujetos a variabilidad en algunos campos, por ejemplo en los tiempos como fue mencionado con anterioridad.

Acompañados de la descripción de cada aviso se encuentran las fechas de inicio y fin con su respectivo horario de inicio y fin, de ellos es posible obtener los tiempos de buen funcionamiento de equipo, para luego ordenarlos y eliminar los tiempos cero y los traslapados. A continuación se procede a construir la función de falla acumulada utilizando el método de rangos promedios a través de la *Aproximación de Bernard* **[A.17 – Anexo A**], y posteriormente los demás parámetros que se ilustran en la tabla, tal cómo se mencionó anteriormente, fórmulas **[A.18]**, **[A.23]** y **[A.26]** (*Ver Anexo A)*.

Ahora con los parámetros obtenidos de cada tiempo de buen funcionamiento, es posible obtener los parámetros de la distribución Weibull con las fórmulas ya mencionadas, *alpha* despejando de **[A.24]**, *beta* despejando de **[A.25]**, *gamma* se asume cero a modo de simplificar los cálculos tratándose solo de datos correctivos y MTBF de **[A.16]**, antes de obtener estos parámetros se debe realizar una regresión lineal entre “x” **[A.26]** e “y” **[A.23]**, obteniendo los valores de “a” **[A.24]** y “b” **[A.25]** de la ecuación de la recta. **[Anexo C.2.2]**

Tabla 13: Parámetros de distribución Weibull chancador hidrocono respecto a tiempos de buen funcionamiento.
Fuente: Elaboración Propia.

Pendiente "b"	0,758
Intersección eje "a"	-4,252
Correlación	0,917
ALFA	273,268
BETA	0,758
GAMMA	0
MTBF	**322,632**

Tabla 14: Parámetros de distribución Weibull chancador blake respecto a tiempos de buen funcionamiento.
Fuente: Elaboración Propia.

Pendiente "b"	0,793
Intersección eje "a"	-4,784
Correlación	0,976
ALFA	416,663
BETA	0,793
GAMMA	0
MTBF	**475,045**

Tabla 15: Parámetros de distribución Weibull correa 46A respecto a tiempos de buen funcionamiento.
Fuente: Elaboración Propia.

Pendiente "b"	0,457
Intersección eje "a"	-3,876
Correlación	0,979
ALFA	4854,859
BETA	0,457

GAMMA	0
MTBF	**11652,435**

Tabla 16: Parámetros de distribución Weibull correa 4b7 respecto a tiempos de buen funcionamiento. Fuente: Elaboración Propia.

Pendiente "b"	0,438
Intersección eje "a"	-3,768
Correlación	0,989
ALFA	5406,443
BETA	0,438
GAMMA	0
MTBF	**14226,62**

Tabla 17: Parámetros de distribución Weibull correa 4b8 respecto a tiempos de buen funcionamiento. Fuente: Elaboración Propia.

Pendiente "b"	0,581
Intersección eje "a"	-4,883
Correlación	0,92
ALFA	4469,319
BETA	0,581
GAMMA	0
MTBF	**7021,836**

Tabla 18: Parámetros de distribución Weibull harnero primario respecto a tiempos de buen funcionamiento. Fuente: Elaboración Propia.

Pendiente "b"	0,529
Intersección eje "a"	-3,912
Correlación	0,935

ALFA	1626,612
BETA	0,529
GAMMA	0
MTBF	**2946,347**

Tabla 19: Parámetros de distribución Weibull harnero secundario respecto a tiempos de buen funcionamiento. Fuente: Elaboración Propia.

Pendiente "b"	0,543
Intersección eje "a"	-3,543
Correlación	0,952
ALFA	678,369
BETA	0,543
GAMMA	0
MTBF	**1176,835**

Tabla 20: Parámetros de distribución Weibull harnero terciario respecto a tiempos de buen funcionamiento. Fuente: Elaboración Propia.

Pendiente "b"	0,816
Intersección eje "a"	-4,92
Correlación	0,958
ALFA	414,959
BETA	0,816
GAMMA	0
MTBF	**463,598**

Otro de los indicadores de interés es el tiempo medio para reparar el cual esta ligado directamente con la mantenibilidad del equipo, es posible obtener este indicador con los tiempos utilizados para reparar el equipo, es decir, de los mismos lapsos de

tiempo de cada averia obtenidos de SAP **[Anexo C.2.3]** para luego ser ordenados de mayor a menor enumerando cada evento.

Acompañados de la descripción de cada aviso se encuentran las fechas de inicio y fin con su respectivo horario de inicio y fin, de ellos es posible obtener los tiempos para reparar el equipo, para luego ordenarlos y eliminar los tiempos cero y los traslapados, además los datos repetidos son censurados en beneficio del cálculo. A continuación se procede a construir la función de falla acumulada utilizando el método de rangos promedios a través de la *Aproximación de Bernard* **[A.17 – Anexo A]**, y posteriormente los demás parámetros que se ilustran en la tabla, tal cómo se mencionó anteriormente, formulas **[A.19]**, **[A.26]** y **[A.23]** (*Ver Anexo A)*.

Con los valores del **[Anexo C.2.3]** es posible calcular los valores de los parámetros de la función Weibull de forma similar a la sección anterior con un gamma asumido cero a fin de simplificar los cálculos y de modo de tratarse de sólo datos de averias con carácter correctivo. Se destaca que se hubiera podido buscar un gamma máximo con la restricción de siendo este útlimo menor al valor de tiempo de reparación pero por temas que se explicarán mas adelante, no se realizó.

Tabla 21: Parámetros de distribución Weibull chancador hidrocono respecto a tiempos para reparar. Fuente: Elaboración Propia.

Pendiente “b”	1,002
Intersección eje “a”	-0,787
Correlación	0,53
ALFA	2,194
BETA	1,002
GAMMA	0
MTTR	**2,192**

Tabla 22: Parámetros de distribución Weibull chancador blake respecto a tiempos para reparar. Fuente: Elaboración Propia.

Pendiente "b"	0.932
Intersección eje "a"	-1,019
Correlación	0,598
ALFA	2,985
BETA	0,932
GAMMA	0
MTTR	**3,084**

Tabla 23: Parámetros de distribución Weibull correa 46A respecto a tiempos para reparar. Fuente: Elaboración Propia.

Pendiente "b"	1,077
Intersección eje "a"	-1,285
Correlación	0,71
ALFA	3,296
BETA	1,077
GAMMA	0
MTTR	**3,203**

Tabla 24: Parámetros de distribución Weibull correa 4b7 respecto a tiempos para reparar. Fuente: Elaboración Propia.

Pendiente "b"	1,653
Intersección eje "a"	-2,291
Correlación	0,912
ALFA	4
BETA	1,653
GAMMA	0
MTTR	**3,577**

Tabla 25: Parámetros de distribución Weibull correa 4b8 respecto a tiempos para reparar.
Fuente: Elaboración Propia.

Pendiente "b"	1,566
Intersección eje "a"	-1,685
Correlación	0,872
ALFA	2,934
BETA	1,566
GAMMA	0
MTTR	**2,636**

Tabla 26: Parámetros de distribución Weibull harnero primario respecto a tiempos para reparar.
Fuente: Elaboración Propia.

Pendiente "b"	1,506
Intersección eje "a"	-1,167
Correlación	0,766
ALFA	2,171
BETA	1,506
GAMMA	0
MTTR	**1,959**

Tabla 27: Parámetros de distribución Weibull harnero secundario respecto a tiempos para reparar.
Fuente: Elaboración Propia.

Pendiente "b"	0,891
Intersección eje "a"	-1,34
Correlación	0,761
ALFA	4,497

BETA	0,891
GAMMA	0
MTTR	**4,757**

Tabla 28: Parámetros de distribución Weibull harnero terciario respecto a tiempos para reparar. Fuente: Elaboración Propia.

Pendiente "b"	0,988
Intersección eje "a"	-1,189
Correlación	0,695
ALFA	3,332
BETA	0,988
GAMMA	0
MTTR	**3,349**

7.4.4 Confiabilidad Modelada.

Una vez obtenidos los parámetros de la distribución de probabilidad Weibull es posible modelar el comportamiento de los equipos a través del tiempo, comenzando se representará la confiabilidad según fórmula **[A.13]**. A continuación en la siguiente tabla se calculan estos valores para un tiempo determinado en cada equipo.

Tabla 29: Confiabilidad por equipo según tiempo de funcionamiento. Fuente: Elaboración Propia.

Funcionamiento [h]	R(t) CH	R(t) CB	R(t) 46A	R(t) 4b7	R(t) 4b8	R(t) HP	R(t) HS	R(t) HT

0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
50	0,759	0,830	0,884	0,880	0,929	0,854	0,785	0,837
100	0,627	0,724	0,844	0,840	0,896	0,796	0,702	0,731
150	0,530	0,641	0,815	0,812	0,870	0,753	0,644	0,647
200	0,454	0,572	0,792	0,790	0,848	0,719	0,598	0,576
250	0,393	0,513	0,773	0,771	0,829	0,690	0,559	0,516
300	0,342	0,463	0,755	0,755	0,812	0,664	0,526	0,464
350	0,299	0,419	0,740	0,740	0,796	0,642	0,498	0,419
400	0,263	0,380	0,726	0,727	0,782	0,621	0,472	0,379
450	0,232	0,345	0,714	0,714	0,768	0,603	0,449	0,344
500	0,206	0,315	0,702	0,703	0,756	0,585	0,429	0,312
550	0,183	0,288	0,691	0,693	0,744	0,569	0,410	0,284
600	0,163	0,263	0,680	0,683	0,732	0,554	0,392	0,259
650	0,145	0,241	0,671	0,674	0,722	0,540	0,376	0,236
700	0,130	0,221	0,662	0,665	0,711	0,527	0,362	0,216
750	0,117	0,203	0,653	0,657	0,702	0,515	0,348	0,198
800	0,105	0,187	0,645	0,649	0,692	0,503	0,335	0,181
850	0,094	0,172	0,637	0,641	0,683	0,492	0,323	0,166
900	0,085	0,159	0,629	0,634	0,674	0,481	0,312	0,152
950	0,076	0,146	0,622	0,627	0,666	0,471	0,301	0,140
1000	0,069	0,135	0,615	0,621	0,658	0,462	0,291	0,129
1050	0,062	0,125	0,608	0,614	0,650	0,452	0,281	0,118
1100	0,057	0,115	0,602	0,608	0,642	0,444	0,272	0,109
1150	0,051	0,107	0,596	0,602	0,635	0,435	0,264	0,101
1200	0,046	0,099	0,590	0,596	0,628	0,427	0,256	0,093
1250	0,042	0,092	0,584	0,591	0,621	0,419	0,248	0,086
1300	0,038	0,085	0,578	0,586	0,614	0,411	0,241	0,079
1350	0,035	0,079	0,573	0,580	0,607	0,404	0,234	0,073
1400	0,032	0,073	0,567	0,575	0,601	0,397	0,227	0,067
1450	0,029	0,068	0,562	0,570	0,595	0,390	0,221	0,062
1500	0,026	0,063	0,557	0,566	0,588	0,384	0,215	0,058

1550	0,024	0,059	0,552	0,561	0,583	0,377	0,209	0,053
1600	0,022	0,055	0,547	0,556	0,577	0,371	0,203	0,049
1650	0,020	0,051	0,543	0,552	0,571	0,365	0,198	0,046
1700	0,018	0,047	0,538	0,548	0,565	0,359	0,193	0,042
1750	0,017	0,044	0,534	0,543	0,560	0,354	0,188	0,039
1800	0,015	0,041	0,530	0,539	0,555	0,348	0,183	0,036
1850	0,014	0,038	0,525	0,535	0,549	0,343	0,178	0,034
1900	0,013	0,036	0,521	0,531	0,544	0,338	0,174	0,031
1950	0,012	0,033	0,517	0,528	0,539	0,333	0,169	0,029
2000	0,011	0,031	0,513	0,524	0,534	0,328	0,165	0,027

Ahora con loa valores obtenidos para cada tiempo determinado es posible ilustrar la confiabilidad de cada equipo según las siguientes gráficas.

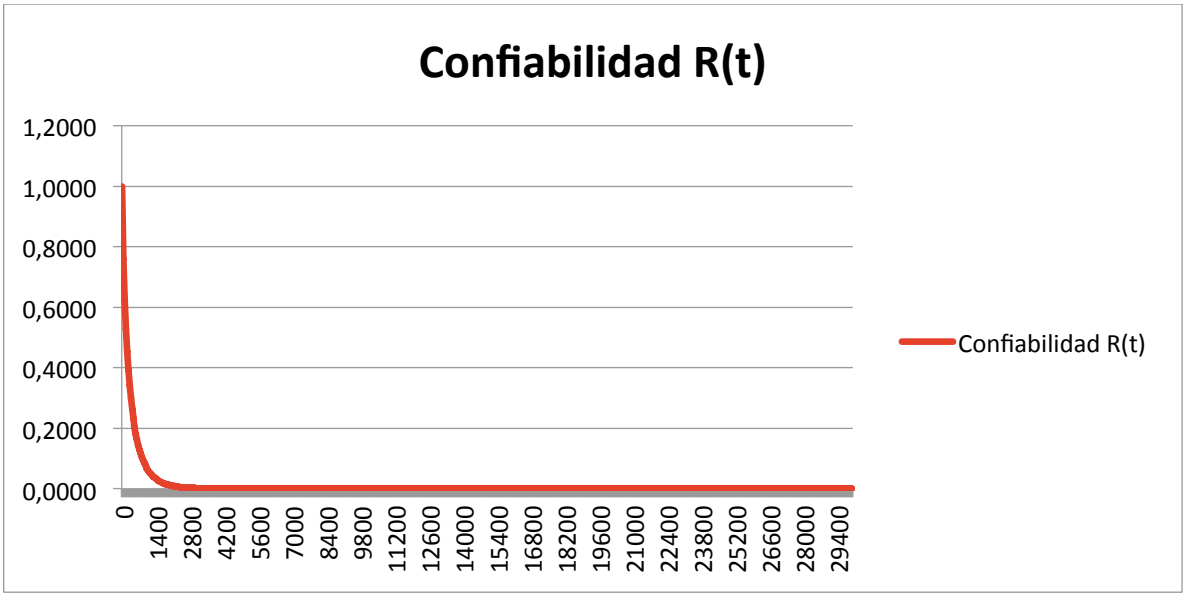


Gráfico 1: Confiabilidad chancador hidrocono V/S Tiempo buen funcionamiento.
Fuente: Elaboración Propia.

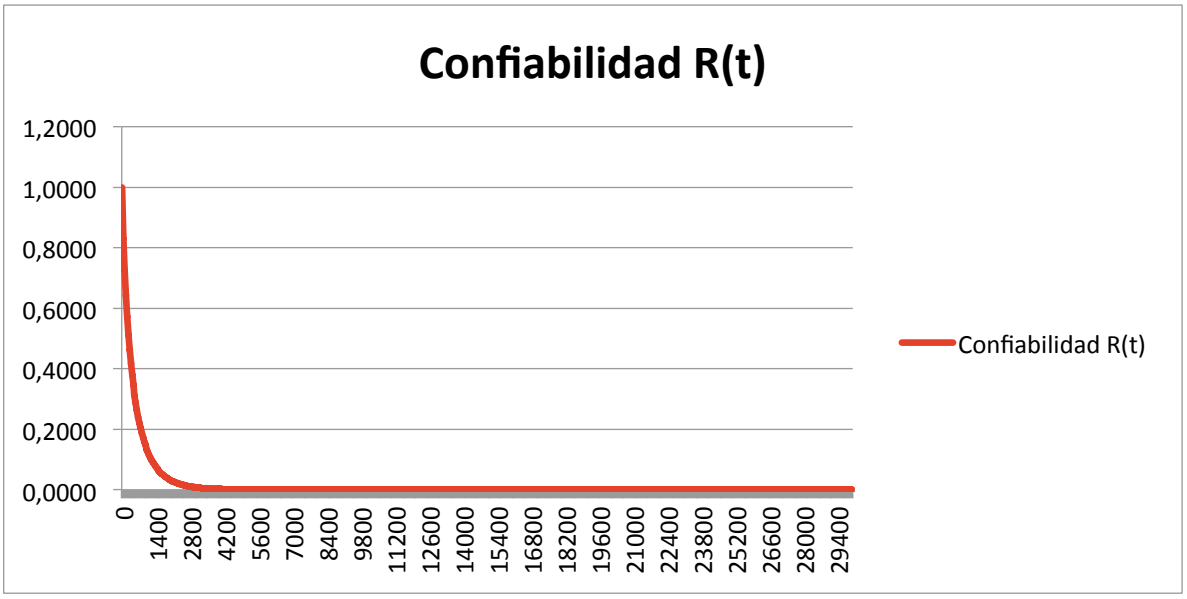


Gráfico 2: Confiabilidad chancador blake V/S Tiempo buen funcionamiento.
Fuente: Elaboración Propia.

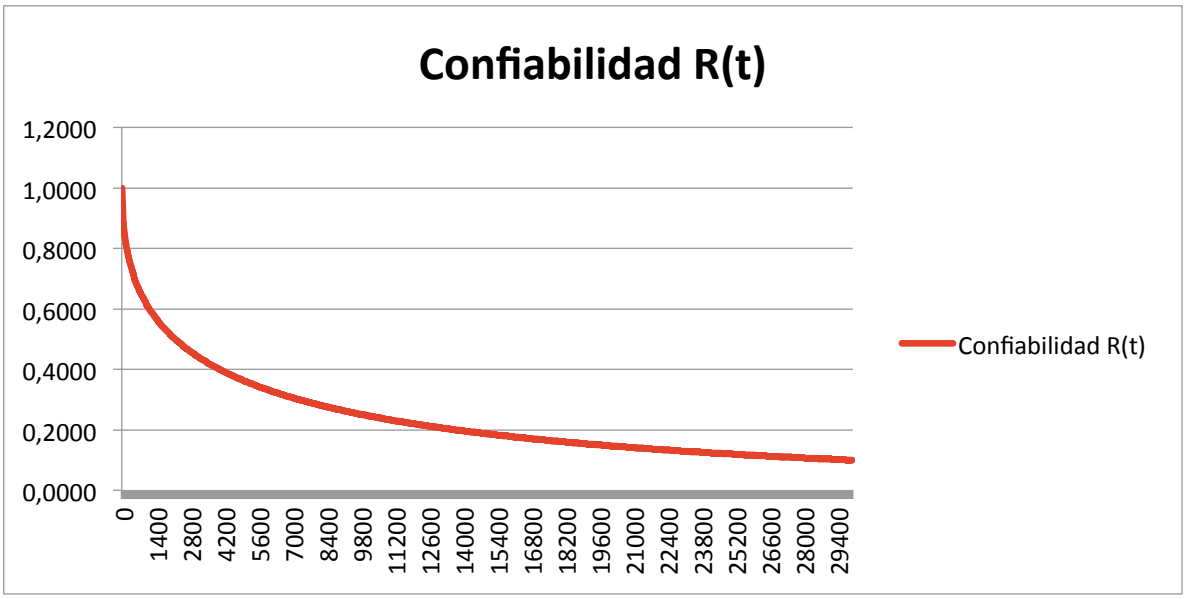


Gráfico 3: Confiabilidad correa 46A V/S Tiempo buen funcionamiento.
Fuente: Elaboración Propia.

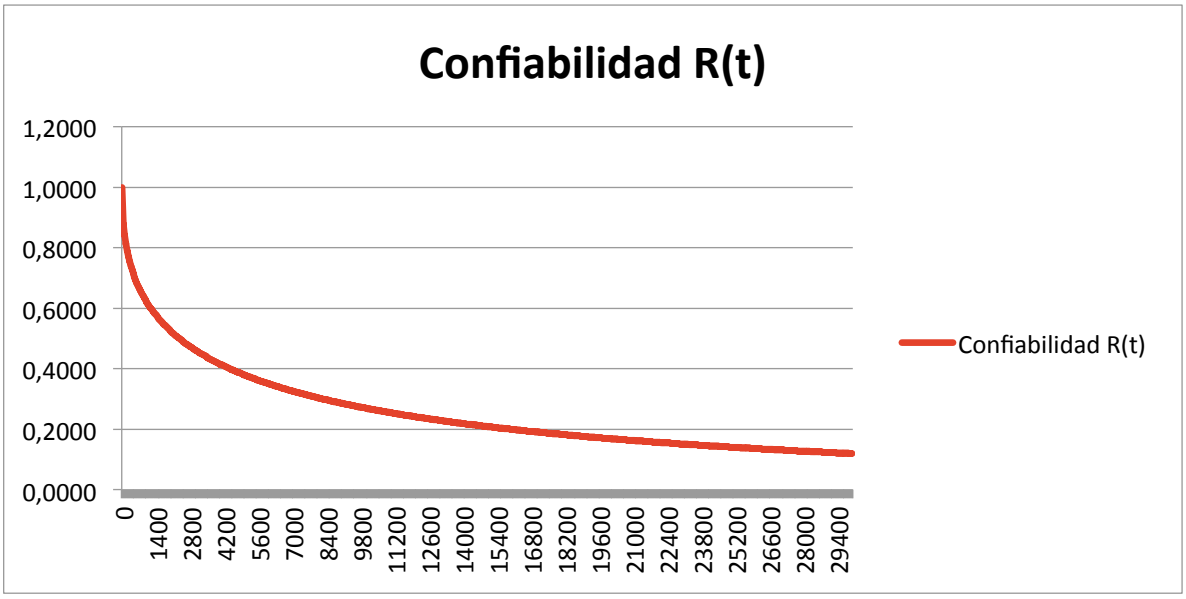


Gráfico 4: Confiabilidad correa 4b7 V/S Tiempo buen funcionamiento.
Fuente: Elaboración Propia.

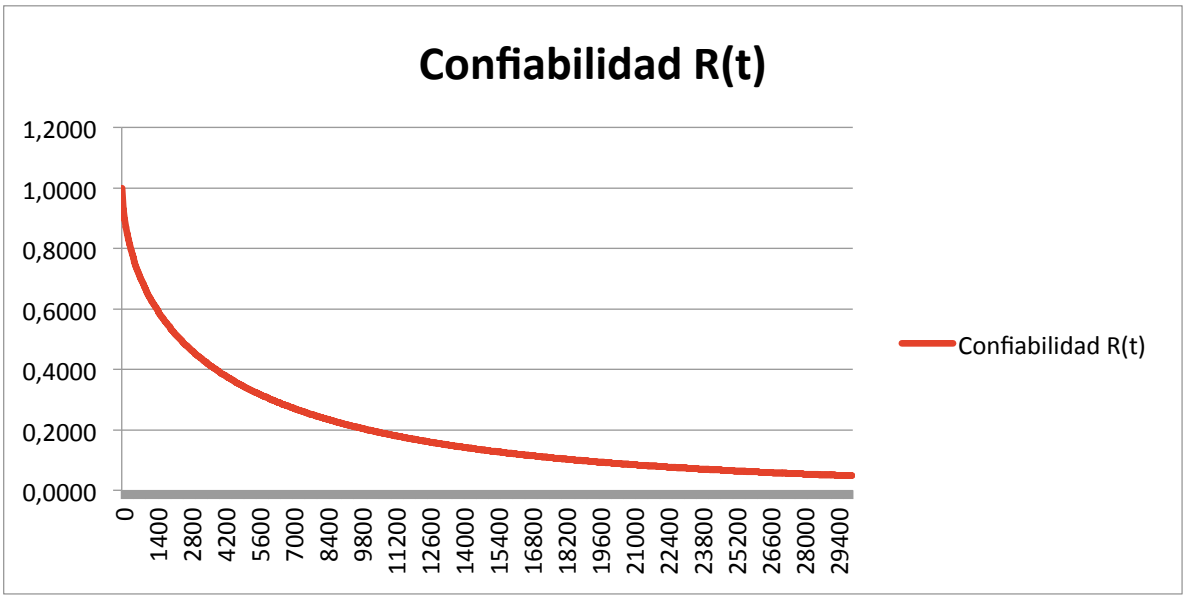


Gráfico 5: Confiabilidad correa 4b8 V/S Tiempo buen funcionamiento.
Fuente: Elaboración Propia.

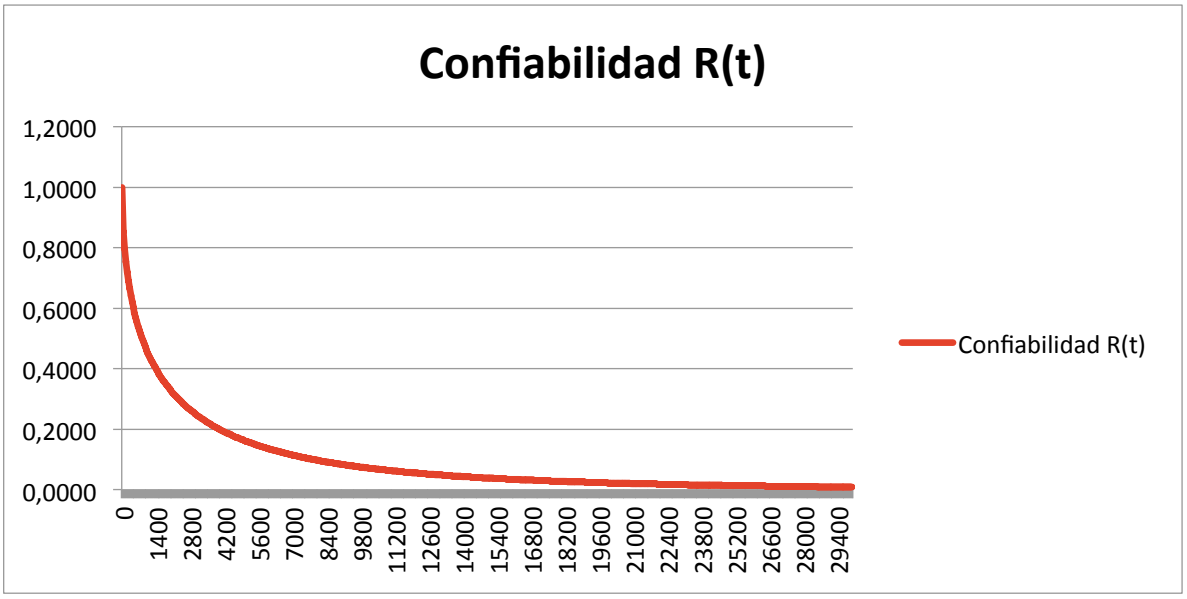


Gráfico 6: Confiabilidad harnero primario V/S Tiempo buen funcionamiento.
Fuente: Elaboración Propia.

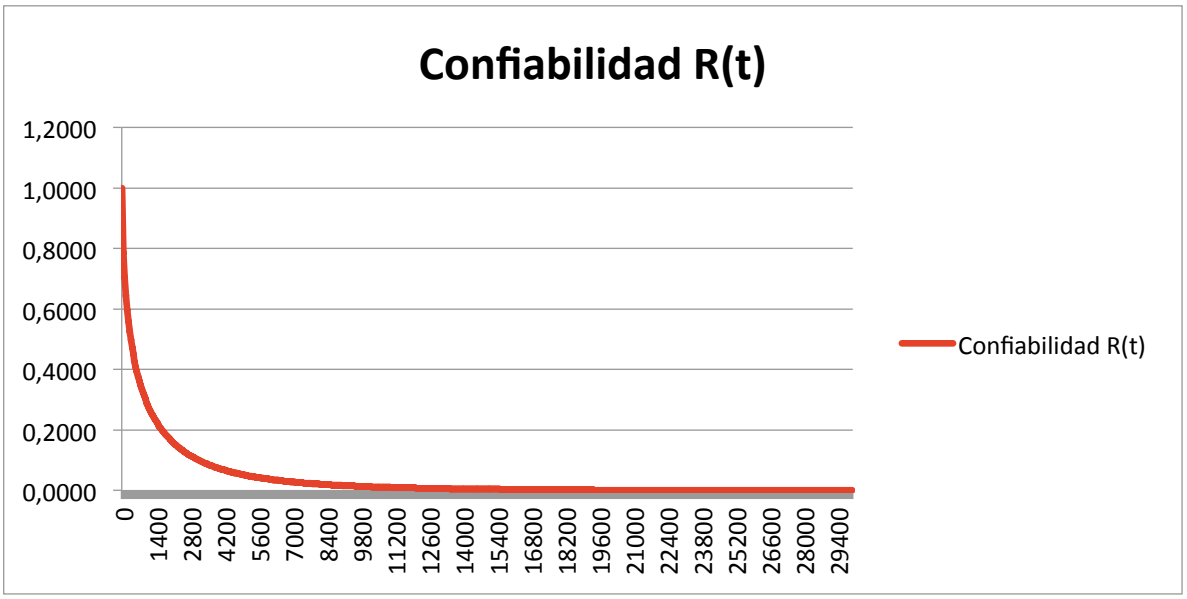


Gráfico 7: Confiabilidad harnero secundario V/S Tiempo buen funcionamiento.
Fuente: Elaboración Propia.

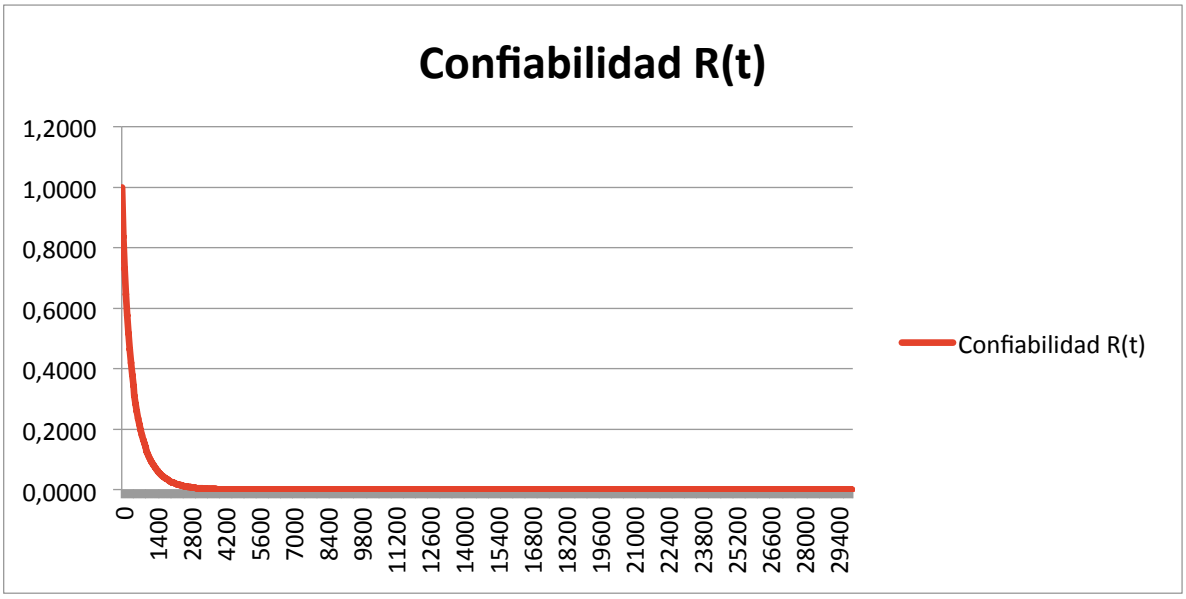


Gráfico 8: Confiabilidad harnero terciario V/S Tiempo buen funcionamiento.
Fuente: Elaboración Propia.

Mediante un análisis de carácter cualitativo de predominancia por sobre el cuantitativo, es posible apreciar en las curvas de confiabilidad de cada equipo que "chancador hidrocono, chancador blake y harnero terciario" poseen mayor agresividad en la caída de la curva con tendencia nula prácticamente directa al cabo de las 1400-2800 horas de funcionamiento destacando chancador hidrocono con menor confiabilidad con carácter nulo a las 2500 horas, mientrás que el resto de los equipos críticos por sobre dichas horas mencionadas muestran mayor confiabilidad con curvas más conservadoras siendo la "correa 4b7" la con mayor confiabilidad en el tiempo con 52,4% de confiabilidad al cabo de 2000 horas de funcionamiento.

Esta información es bastante útil a la hora de requerir conocer la probabilidad de que el equipo deje de cumplir su función en un tiempo determinado, y para otros tipos de consultas que nacen de la ingeniería de confiabilidad, las cuales no son aplicables al menos para este estudio, donde mediante este trabajo queda desmostrado que es

factible obtener al menos la respuesta de cuál es la confiabilidad de equipos en particular.

7.4.5 Mantenibilidad Modelada.

Luego con los parámetros obtenidos es posible calcular la mantenibilidad de cada equipo para tiempos de reparación determinados, esto de igual forma como se obtiene el valor de la fórmula **[A.19]**, se debe recordar que se decidió modelar la mantenibilidad con la ley de Weibull, lo que finalmente termina otorgando esta probabilidad a la fórmula **[A.19]** (M(t) =F(t)=1-R(t)), pero utilizando los tiempos para reparar y no los tiempos entre reparaciones.

Tabla 30: Mantenibilidad por equipo según tiempo de reparación.
Fuente: Elaboración Propia.

Funcionamiento [h]	M(t) CH	M(t) CB	M(t) 46A	M(t) 4b7	M(t) 4b8	M(t) HP	M(t) HS	M(t) HT
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2	0,598	0,498	0,442	0,272	0,422	0,587	0,385	0,453
4	0,839	0,731	0,708	0,632	0,803	0,919	0,594	0,698
6	0,935	0,853	0,851	0,858	0,953	0,990	0,726	0,833
8	0,974	0,918	0,926	0,957	0,992	0,999	0,812	0,907
10	0,990	0,954	0,963	0,989	0,999	1,000	0,870	0,948
12	0,996	0,974	0,982	0,998	1,000	1,000	0,909	0,971
14	0,998	0,985	0,991	1,000	1,000	1,000	0,936	0,984
16	0,999	0,992	0,996	1,000	1,000	1,000	0,955	0,991
18	1,000	0,995	0,998	1,000	1,000	1,000	0,968	0,995
20	1,000	0,997	0,999	1,000	1,000	1,000	0,977	0,997
22	1,000	0,998	1,000	1,000	1,000	1,000	0,984	0,998

24	1,000	0,999	1,000	1,000	1,000	1,000	0,988	0,999
26	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,992	1,000
28	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,994	1,000
30	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,996	1,000
32	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,997	1,000
34	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,998	1,000
36	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,998	1,000
38	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,999	1,000
40	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,999	1,000
42	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,999	1,000

Con los valores ya obtenidos se grafica la mantenibilidad de cada equipo como se ilustra en las siguientes imágenes.

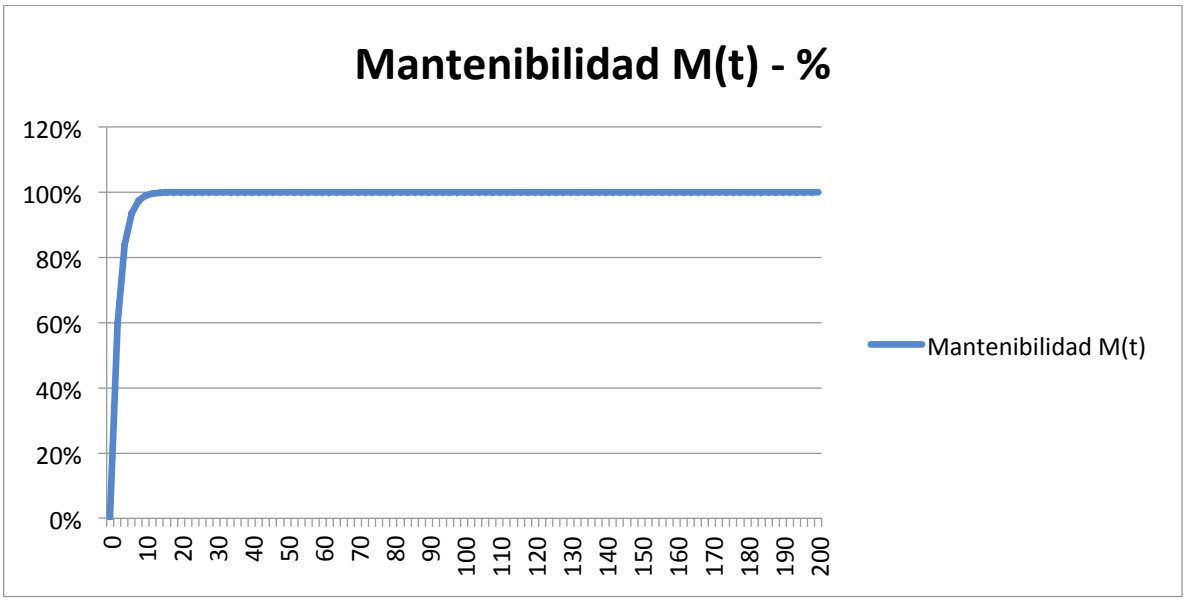


Gráfico 9: Mantenibilidad chancador hidrcono V/S Tiempo de reparación.
Fuente: Elaboración Propia.

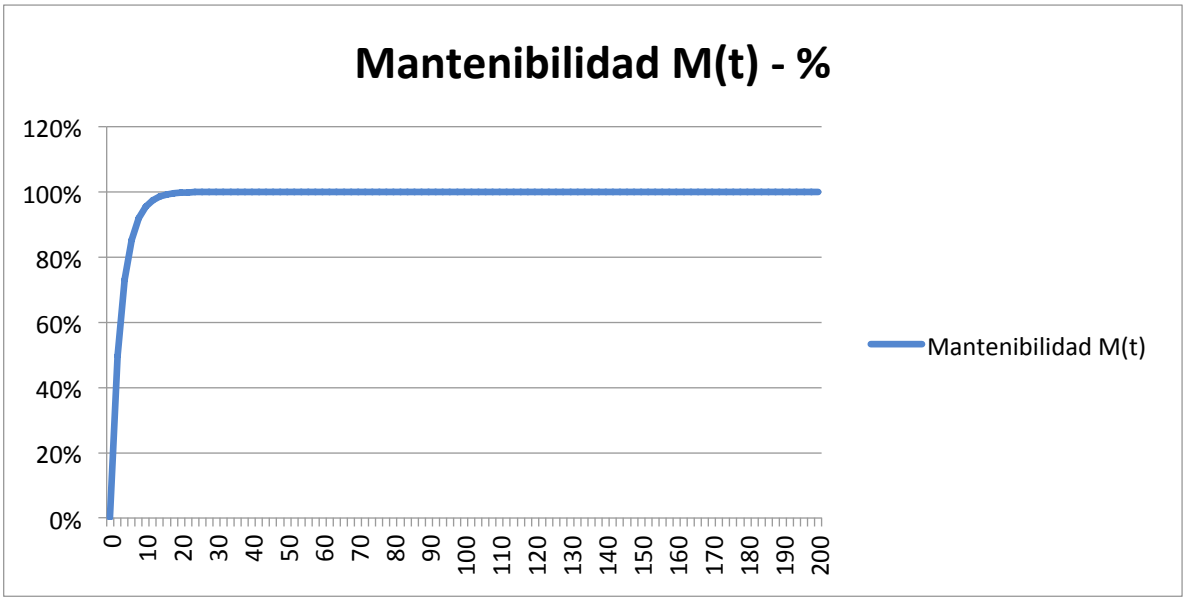


Gráfico 10: Mantenibilidad chancador blake V/S Tiempo de reparación.
Fuente: Elaboración Propia.

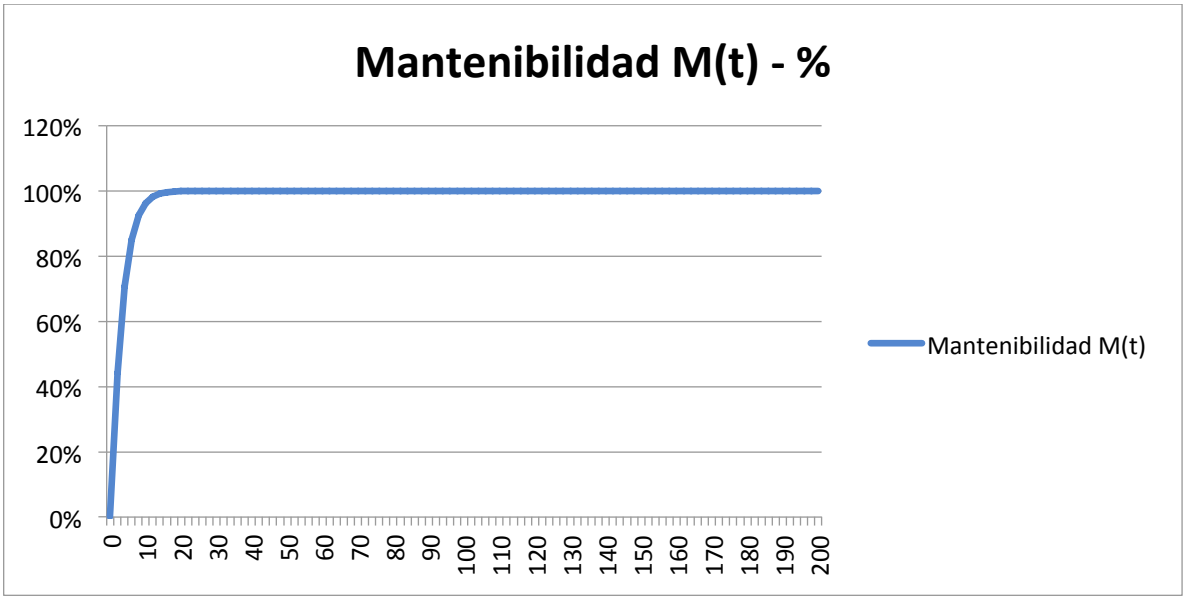


Gráfico 11: Mantenibilidad correa 46A V/S Tiempo de reparación.
Fuente: Elaboración Propia.

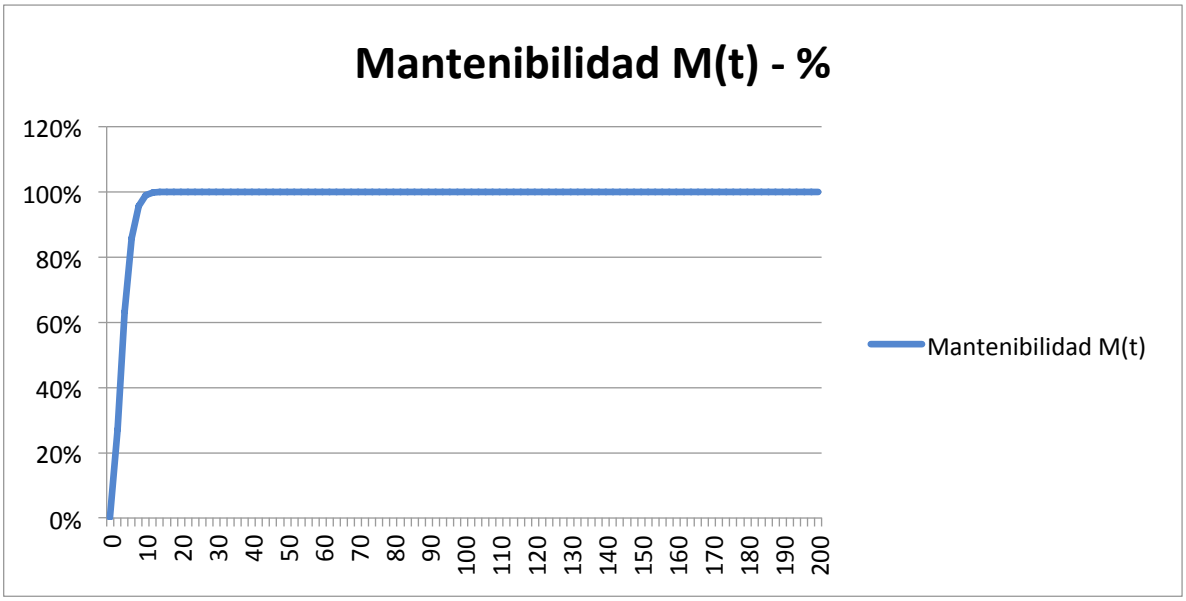


Gráfico 12: Mantenibilidad correa 4b7 V/S Tiempo de reparación.
Fuente: Elaboración Propia.

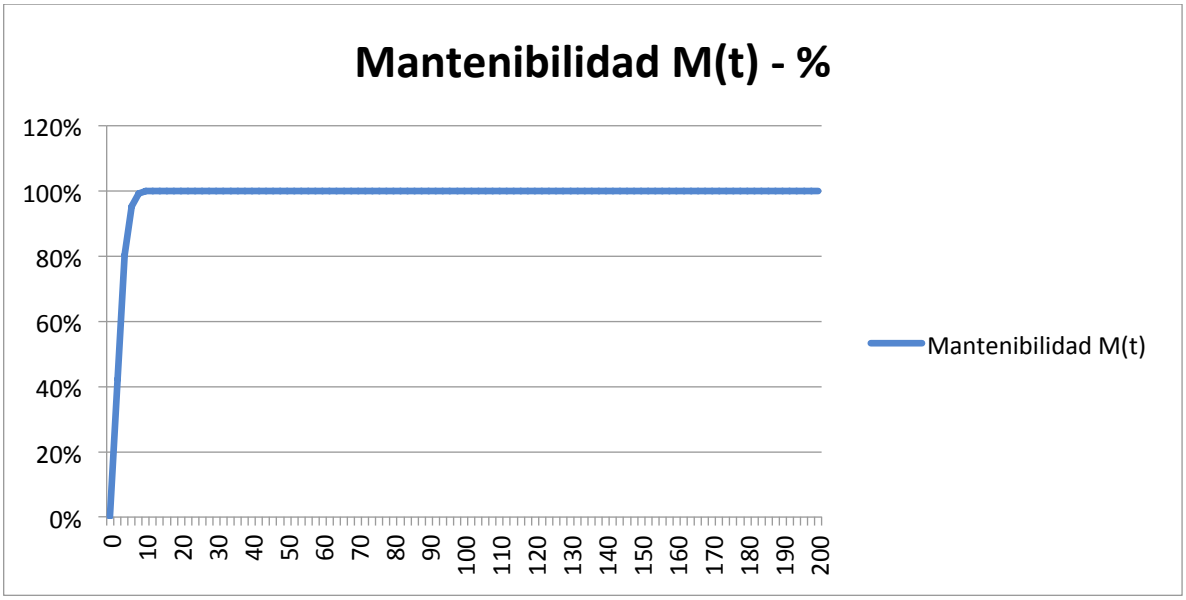


Gráfico 13: Mantenibilidad correa 4b8 V/S Tiempo de reparación.
Fuente: Elaboración Propia.

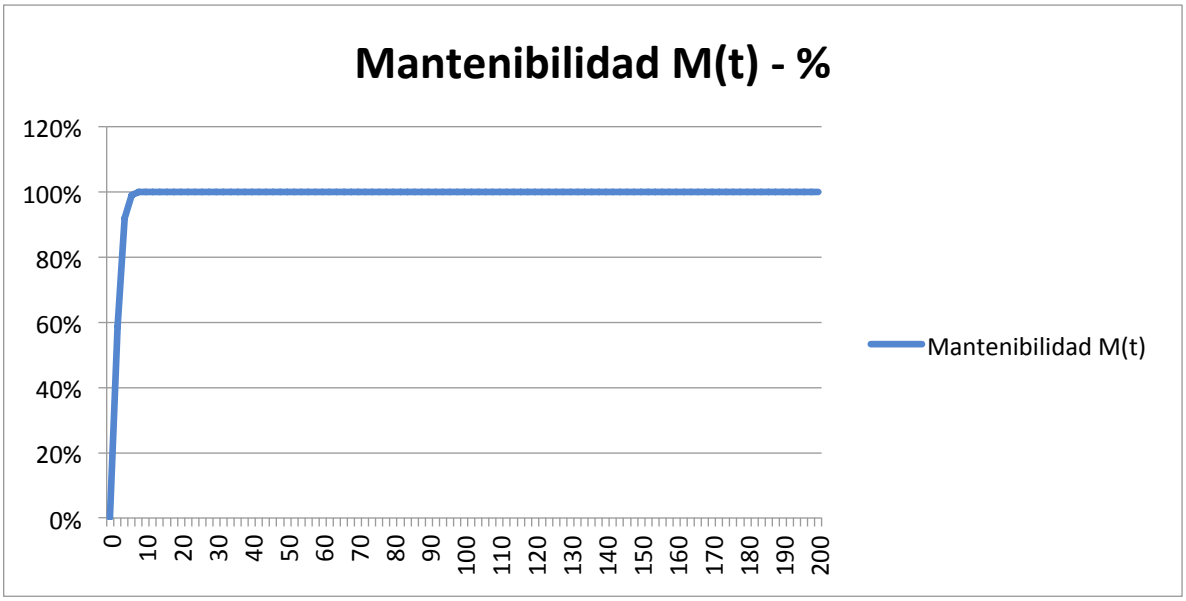


Gráfico 14: Mantenibilidad harnero primario V/S Tiempo de reparación.
Fuente: Elaboración Propia.

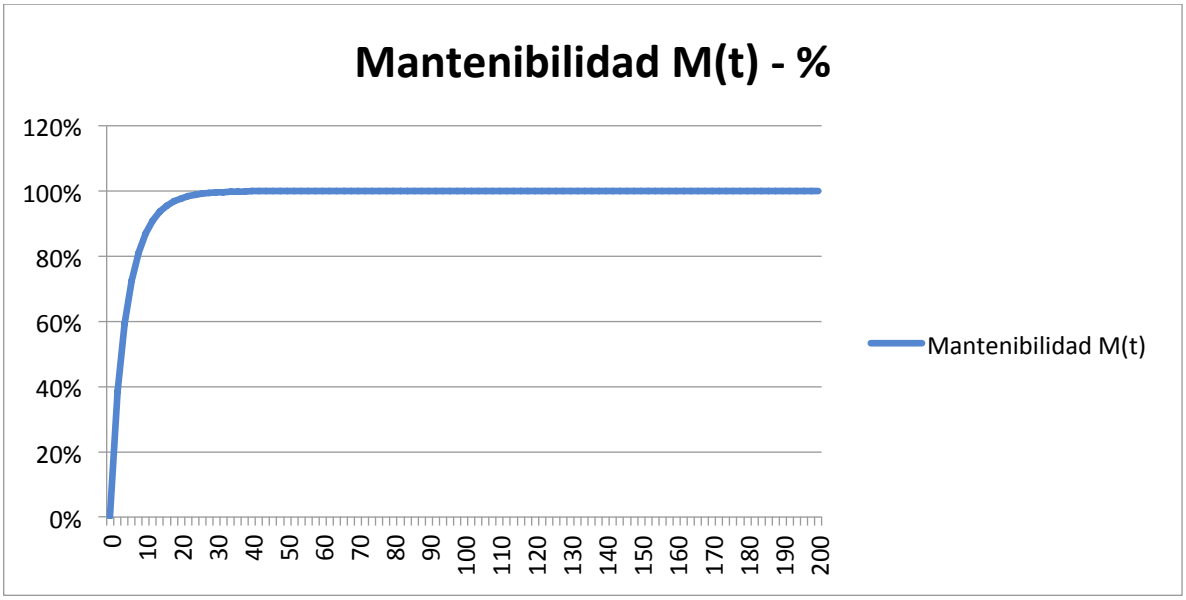


Gráfico 15: Mantenibilidad harnero secundario V/S Tiempo de reparación.
Fuente: Elaboración Propia.

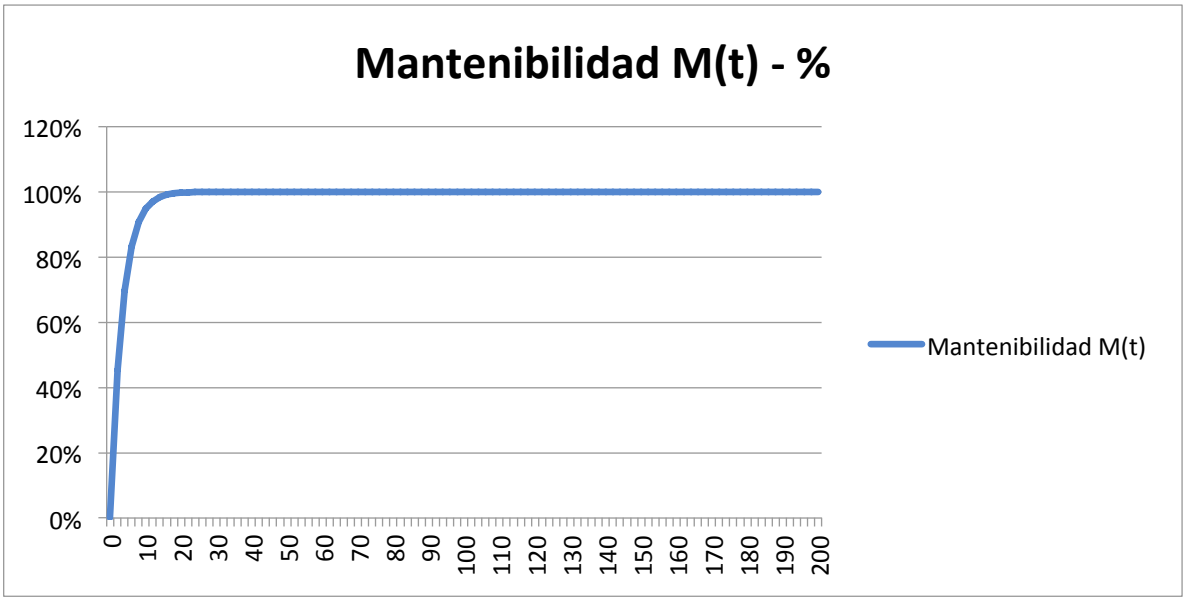


Gráfico 16: Mantenibilidad harnero terciario V/S Tiempo de reparación.
Fuente: Elaboración Propia.

Al observar las gráficas de mantenibilidad en general la de los 8 equipos críticos son muy similares, destacándose un tanto mayor el "harnero primario" que es el que alcanza una mantenibilidad del 100% al cabo de las 10 horas, esto quiere decir que la capacidad de volver a la funcionalidad después de una falla es mejor, en cambio el "harnero secundario" posee una mantenibilidad del 87% en el mismo transcurso de tiempo.

Ahora volviendo a analizar la confiabilidad en conjunto con la mantenibilidad se puede obtener el siguiente análisis; el equipo "chancador hidrocono" es quien tiene la menor confiabilidad a través del tiempo pero no es quien tiene la menor mantenibilidad a través del tiempo ya que posee 100% de mantenibilidad a contar de 18 horas, es decir, independiente que éste equipo tenga la menor confiabilidad, no tiene porque ser el con menor probabilidad de volver al funcionamiento en caso de avería en el tiempo, muy probable se deba a la gran cantidad de sensores instalados que permiten detectar a tiempo una anomalía que pudiera terminar concluyendo en

una avería más compleja o más difícil de reparar demostrandose en ser el con mejor mantenibilidad de 60% al cabo de 2 horas.

Nuevamente es importante mencionar que graficar la mantenibilidad de estos equipos no es determinante en el aporte que se requiere impulsar en mayor medida mediante el análisis de datos, sino más bien demostrar que este tipo de incógnitas pueden ser respondidas mediante análisis, recordando que se modeló la mantenibilidad con la Ley de Weibull con esta finalidad, pero es recomendable utilizar la distribución Normal Logarítmica.

7.4.6 Tasa de Falla Modelada.

Luego con los parámetros obtenidos es posible calcular la tasa de falla de cada equipo para tiempos determinados, esto de igual forma como se obtiene el valor de la fórmula **[A.15]**.

Tabla 31: Tasa de falla por equipo respecto del tiempo.
Fuente: Elaboración Propia.

Funcionamiento [h]	Tasa de Falla CH [1/h]	Tasa de Falla CB [1/h]	Tasa de Falla 46A [1/h]	Tasa de Falla 4b7 [1/h]	Tasa de Falla 4b8 [1/h]	Tasa de Falla HP [1/h]	Tasa de Falla HS [1/h]	Tasa de Falla HT [1/h]
0,2	0,0159	0,0093	0,0227	0,0250	0,0086	0,0226	0,0328	0,0080
0,4	0,0135	0,0080	0,0156	0,0169	0,0065	0,0163	0,0239	0,0070
0,6	0,0122	0,0074	0,0125	0,0135	0,0054	0,0135	0,0199	0,0065
0,8	0,0114	0,0069	0,0107	0,0115	0,0048	0,0118	0,0174	0,0062
1	0,0108	0,0066	0,0095	0,0101	0,0044	0,0106	0,0157	0,0060
1,2	0,0103	0,0064	0,0086	0,0091	0,0041	0,0097	0,0145	0,0058
1,4	0,0099	0,0062	0,0079	0,0084	0,0038	0,0090	0,0135	0,0056
1,6	0,0096	0,0060	0,0073	0,0078	0,0036	0,0085	0,0127	0,0055

1,8	0,0094	0,0059	0,0069	0,0073	0,0034	0,0080	0,0120	0,0053
2	0,0091	0,0057	0,0065	0,0069	0,0033	0,0076	0,0115	0,0052
2,2	0,0089	0,0056	0,0062	0,0065	0,0032	0,0073	0,0110	0,0052
2,4	0,0087	0,0055	0,0059	0,0062	0,0030	0,0070	0,0105	0,0051
2,6	0,0086	0,0054	0,0056	0,0059	0,0029	0,0067	0,0102	0,0050
2,8	0,0084	0,0054	0,0054	0,0057	0,0029	0,0065	0,0098	0,0049
3	0,0083	0,0053	0,0052	0,0055	0,0028	0,0063	0,0095	0,0049
3,2	0,0081	0,0052	0,0050	0,0053	0,0027	0,0061	0,0092	0,0048
3,4	0,0080	0,0051	0,0049	0,0051	0,0026	0,0059	0,0090	0,0048
3,6	0,0079	0,0051	0,0047	0,0049	0,0026	0,0058	0,0088	0,0047
3,8	0,0078	0,0050	0,0046	0,0048	0,0025	0,0056	0,0085	0,0047
4	0,0077	0,0050	0,0045	0,0046	0,0025	0,0055	0,0083	0,0046
4,2	0,0076	0,0049	0,0043	0,0045	0,0024	0,0054	0,0082	0,0046
4,4	0,0075	0,0049	0,0042	0,0044	0,0024	0,0053	0,0080	0,0045
4,6	0,0075	0,0048	0,0041	0,0043	0,0023	0,0052	0,0078	0,0045
4,8	0,0074	0,0048	0,0040	0,0042	0,0023	0,0051	0,0077	0,0045
5	0,0073	0,0048	0,0040	0,0041	0,0022	0,0050	0,0075	0,0044
5,2	0,0072	0,0047	0,0039	0,0040	0,0022	0,0049	0,0074	0,0044
5,4	0,0072	0,0047	0,0038	0,0039	0,0022	0,0048	0,0073	0,0044
5,6	0,0071	0,0046	0,0037	0,0038	0,0021	0,0047	0,0072	0,0043
5,8	0,0071	0,0046	0,0036	0,0038	0,0021	0,0046	0,0070	0,0043
6	0,0070	0,0046	0,0036	0,0037	0,0021	0,0046	0,0069	0,0043
6,2	0,0069	0,0045	0,0035	0,0036	0,0020	0,0045	0,0068	0,0043
6,4	0,0069	0,0045	0,0035	0,0036	0,0020	0,0044	0,0067	0,0042
6,6	0,0068	0,0045	0,0034	0,0035	0,0020	0,0044	0,0066	0,0042
6,8	0,0068	0,0045	0,0033	0,0035	0,0020	0,0043	0,0066	0,0042
7	0,0067	0,0044	0,0033	0,0034	0,0019	0,0042	0,0065	0,0042
7,2	0,0067	0,0044	0,0032	0,0033	0,0019	0,0042	0,0064	0,0041
7,4	0,0066	0,0044	0,0032	0,0033	0,0019	0,0041	0,0063	0,0041
7,6	0,0066	0,0044	0,0031	0,0032	0,0019	0,0041	0,0062	0,0041
7,8	0,0066	0,0043	0,0031	0,0032	0,0019	0,0040	0,0062	0,0041

8	0,0065	0,0043	0,0031	0,0031	0,0018	0,0040	0,0061	0,0041
8,2	0,0065	0,0043	0,0030	0,0031	0,0018	0,0039	0,0060	0,0040
8,4	0,0064	0,0043	0,0030	0,0031	0,0018	0,0039	0,0059	0,0040
8,6	0,0064	0,0042	0,0029	0,0030	0,0018	0,0038	0,0059	0,0040
8,8	0,0064	0,0042	0,0029	0,0030	0,0018	0,0038	0,0058	0,0040
9	0,0063	0,0042	0,0029	0,0029	0,0018	0,0038	0,0058	0,0040
9,2	0,0063	0,0042	0,0028	0,0029	0,0017	0,0037	0,0057	0,0040
9,4	0,0063	0,0042	0,0028	0,0029	0,0017	0,0037	0,0057	0,0039
9,6	0,0062	0,0042	0,0028	0,0028	0,0017	0,0036	0,0056	0,0039
9,8	0,0062	0,0041	0,0027	0,0028	0,0017	0,0036	0,0055	0,0039
10	0,0062	0,0041	0,0027	0,0028	0,0017	0,0036	0,0055	0,0039
10,2	0,0061	0,0041	0,0027	0,0027	0,0017	0,0035	0,0054	0,0039
10,4	0,0061	0,0041	0,0027	0,0027	0,0016	0,0035	0,0054	0,0039
10,6	0,0061	0,0041	0,0026	0,0027	0,0016	0,0035	0,0053	0,0039
10,8	0,0061	0,0041	0,0026	0,0027	0,0016	0,0034	0,0053	0,0038
11	0,0060	0,0040	0,0026	0,0026	0,0016	0,0034	0,0053	0,0038
11,2	0,0060	0,0040	0,0025	0,0026	0,0016	0,0034	0,0052	0,0038
11,4	0,0060	0,0040	0,0025	0,0026	0,0016	0,0034	0,0052	0,0038
11,6	0,0060	0,0040	0,0025	0,0026	0,0016	0,0033	0,0051	0,0038
11,8	0,0059	0,0040	0,0025	0,0025	0,0016	0,0033	0,0051	0,0038
12	0,0059	0,0040	0,0025	0,0025	0,0016	0,0033	0,0051	0,0038
12,2	0,0059	0,0040	0,0024	0,0025	0,0015	0,0033	0,0050	0,0038
12,4	0,0059	0,0039	0,0024	0,0025	0,0015	0,0032	0,0050	0,0037
12,6	0,0058	0,0039	0,0024	0,0024	0,0015	0,0032	0,0049	0,0037
12,8	0,0058	0,0039	0,0024	0,0024	0,0015	0,0032	0,0049	0,0037
13	0,0058	0,0039	0,0024	0,0024	0,0015	0,0032	0,0049	0,0037
13,2	0,0058	0,0039	0,0023	0,0024	0,0015	0,0031	0,0048	0,0037
13,4	0,0058	0,0039	0,0023	0,0024	0,0015	0,0031	0,0048	0,0037
13,6	0,0057	0,0039	0,0023	0,0023	0,0015	0,0031	0,0048	0,0037
13,8	0,0057	0,0039	0,0023	0,0023	0,0015	0,0031	0,0047	0,0037
14	0,0057	0,0038	0,0023	0,0023	0,0015	0,0031	0,0047	0,0037

14,2	0,0057	0,0038	0,0022	0,0023	0,0014	0,0030	0,0047	0,0037
14,4	0,0057	0,0038	0,0022	0,0023	0,0014	0,0030	0,0047	0,0036
14,6	0,0056	0,0038	0,0022	0,0022	0,0014	0,0030	0,0046	0,0036
14,8	0,0056	0,0038	0,0022	0,0022	0,0014	0,0030	0,0046	0,0036
15	0,0056	0,0038	0,0022	0,0022	0,0014	0,0030	0,0046	0,0036
15,2	0,0056	0,0038	0,0022	0,0022	0,0014	0,0029	0,0045	0,0036
15,4	0,0056	0,0038	0,0021	0,0022	0,0014	0,0029	0,0045	0,0036
15,6	0,0055	0,0038	0,0021	0,0022	0,0014	0,0029	0,0045	0,0036
15,8	0,0055	0,0037	0,0021	0,0021	0,0014	0,0029	0,0045	0,0036
16	0,0055	0,0037	0,0021	0,0021	0,0014	0,0029	0,0044	0,0036
16,2	0,0055	0,0037	0,0021	0,0021	0,0014	0,0029	0,0044	0,0036
16,4	0,0055	0,0037	0,0021	0,0021	0,0014	0,0028	0,0044	0,0036
16,6	0,0055	0,0037	0,0021	0,0021	0,0014	0,0028	0,0044	0,0036
16,8	0,0054	0,0037	0,0020	0,0021	0,0013	0,0028	0,0043	0,0035
17	0,0054	0,0037	0,0020	0,0021	0,0013	0,0028	0,0043	0,0035
17,2	0,0054	0,0037	0,0020	0,0020	0,0013	0,0028	0,0043	0,0035
17,4	0,0054	0,0037	0,0020	0,0020	0,0013	0,0028	0,0043	0,0035
17,6	0,0054	0,0037	0,0020	0,0020	0,0013	0,0027	0,0042	0,0035
17,8	0,0054	0,0037	0,0020	0,0020	0,0013	0,0027	0,0042	0,0035
18	0,0054	0,0036	0,0020	0,0020	0,0013	0,0027	0,0042	0,0035
18,2	0,0053	0,0036	0,0020	0,0020	0,0013	0,0027	0,0042	0,0035
18,4	0,0053	0,0036	0,0019	0,0020	0,0013	0,0027	0,0042	0,0035
18,6	0,0053	0,0036	0,0019	0,0020	0,0013	0,0027	0,0041	0,0035
18,8	0,0053	0,0036	0,0019	0,0019	0,0013	0,0027	0,0041	0,0035
19	0,0053	0,0036	0,0019	0,0019	0,0013	0,0026	0,0041	0,0035
19,2	0,0053	0,0036	0,0019	0,0019	0,0013	0,0026	0,0041	0,0035
19,4	0,0053	0,0036	0,0019	0,0019	0,0013	0,0026	0,0041	0,0035
19,6	0,0052	0,0036	0,0019	0,0019	0,0013	0,0026	0,0040	0,0034
19,8	0,0052	0,0036	0,0019	0,0019	0,0013	0,0026	0,0040	0,0034
20	0,0052	0,0036	0,0019	0,0019	0,0013	0,0026	0,0040	0,0034

Con los valores ya obtenidos se grafica la tasa de falla de cada equipo como se ilustra en los siguientes gráficos.

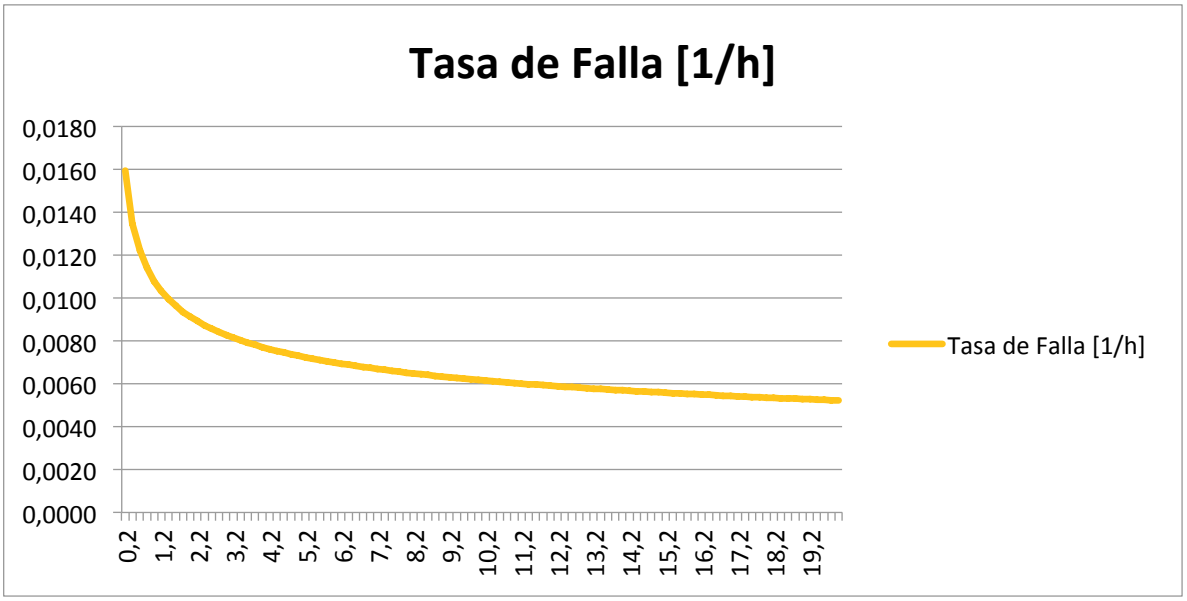


Gráfico 17: Tasa de falla chancador hidrocono V/S Tiempo.
Fuente: Elaboración Propia.

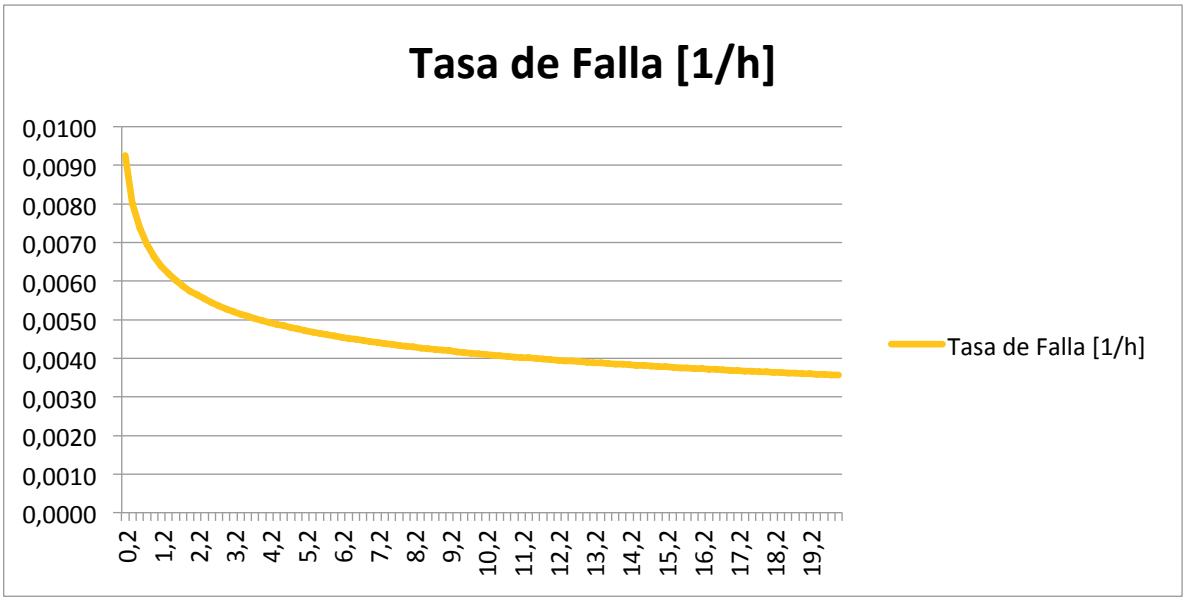


Gráfico 18: Tasa de falla chancador blake V/S Tiempo.
Fuente: Elaboración Propia.

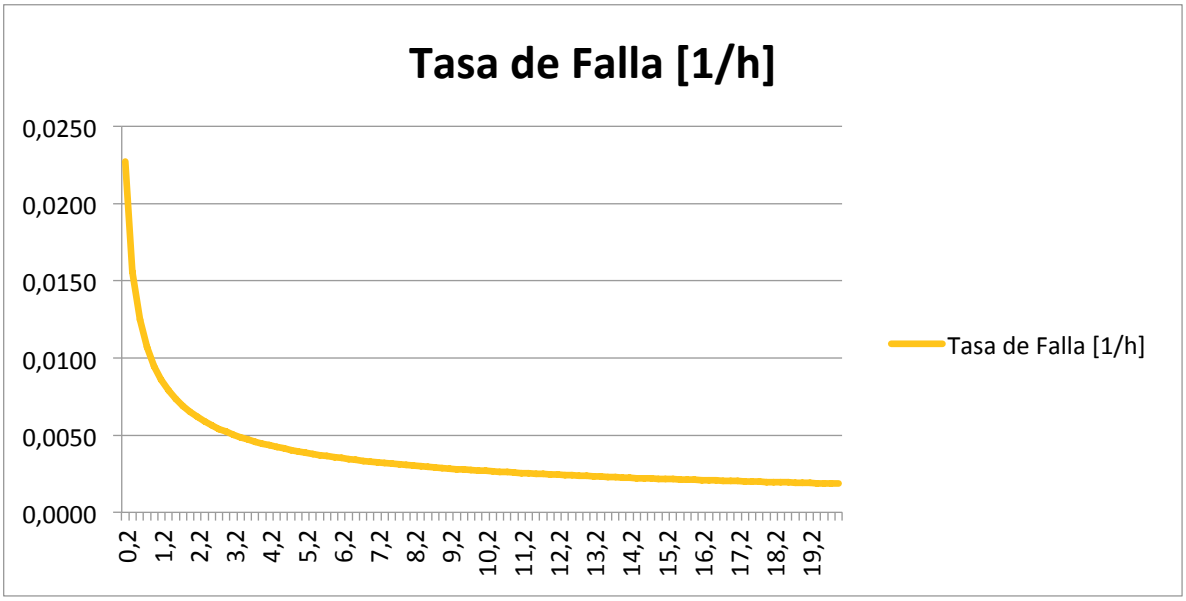


Gráfico 19: Tasa de falla correa 46A V/S Tiempo.
Fuente: Elaboración Propia.

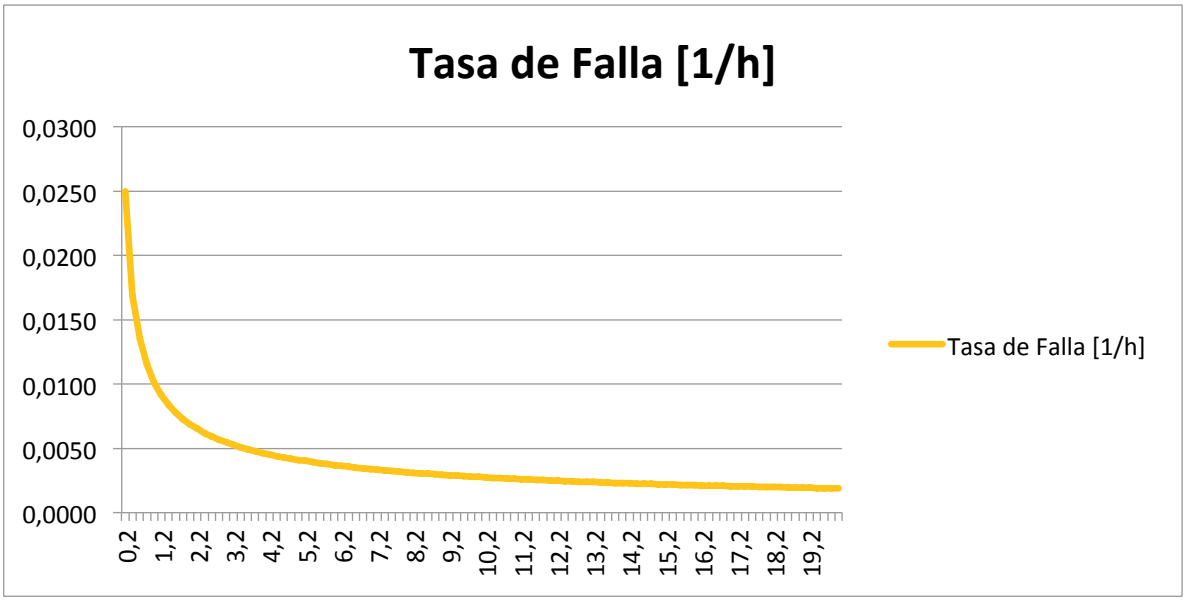


Gráfico 20: Tasa de falla correa 4b7 V/S Tiempo.
Fuente: Elaboración Propia.

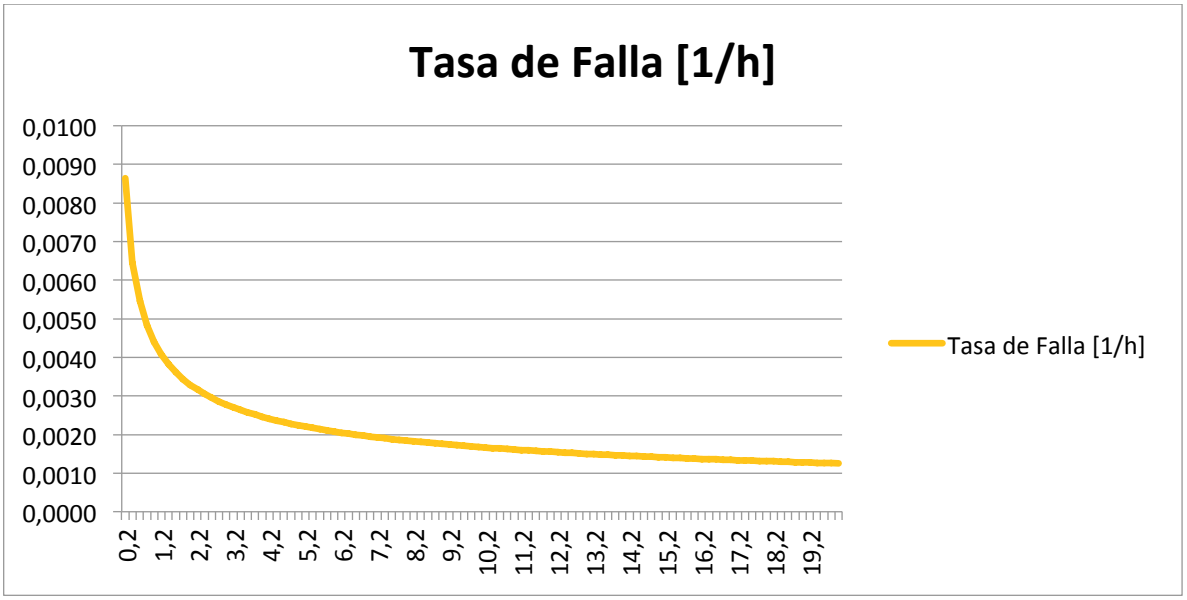


Gráfico 21: Tasa de falla correa 4b8 V/S Tiempo.
Fuente: Elaboración Propia.

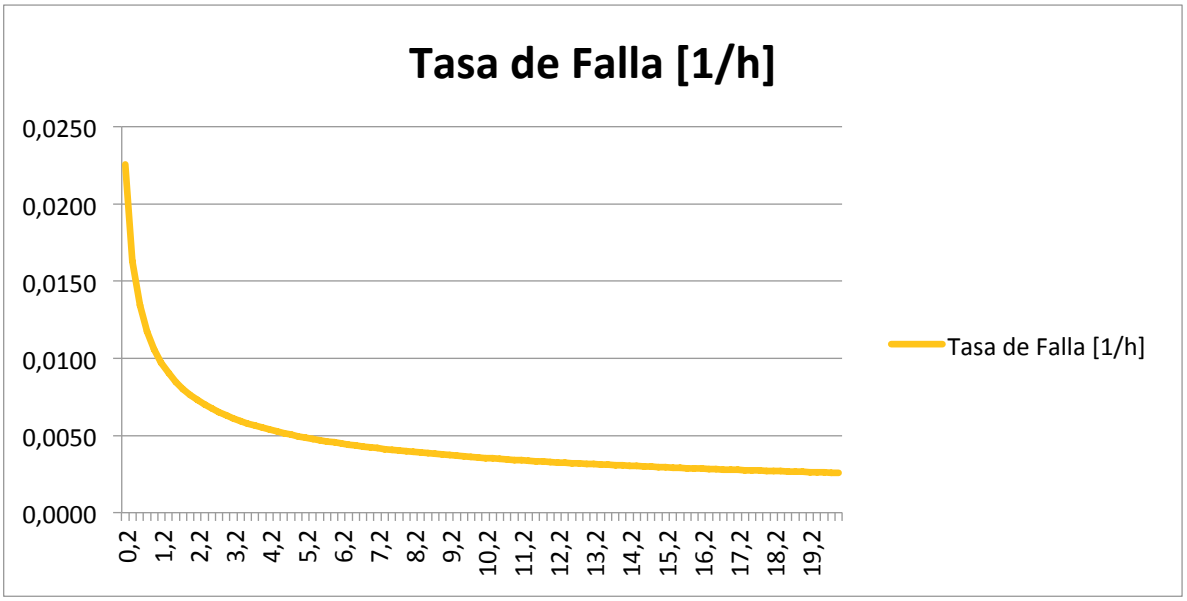


Gráfico 22: Tasa de falla harnero primario V/S Tiempo.
Fuente: Elaboración Propia.

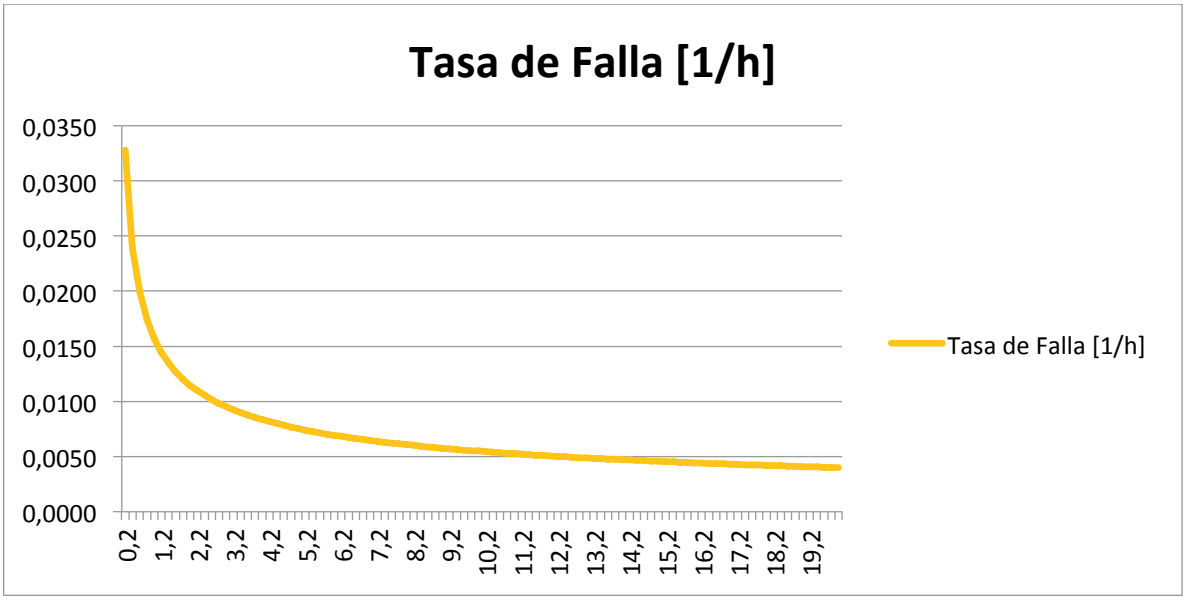


Gráfico 23: Tasa de falla harnero secundario V/S Tiempo.
Fuente: Elaboración Propia.

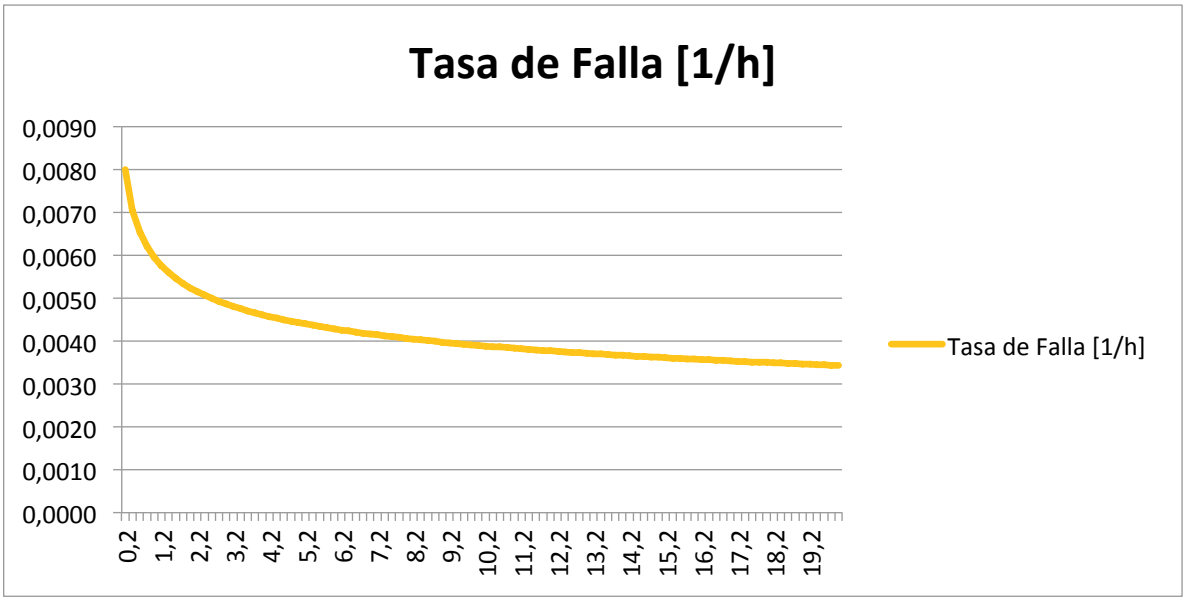


Gráfico 24: Tasa de falla harnero terciario V/S Tiempo.
Fuente: Elaboración Propia.

Al observar la grafica de la tasa de falla, tener conocimiento de la escasa representatividad de los datos proporcionados por SAP de averias y saber el tiempo que llevan los equipos operando, es posible inferir que los equipos se encuentran operando en su etapa de vida útil normal por lo cual la inclusión exhaustiva de mantenimientos predictivos de alto costo aún no son necesarios. Intensificar masivamente el mantenimiento de carácter predictivo no se justifica bajo este contexto operacional, aún asi esto no quiere decir que en casos particulares si se incluyan algunas actividades predictivas al plan matriz, apuntando siempre a tomar medidas para mejorar la operación, mantenibilidad, disponibilidad y confiabilidad de los equipos.

De los equipos evaluados quien posee superior tasa de falla es el “chancador hidrocono” y la inferior es la “correa 4b8”, es decir, correa 4b8 posee la menor frecuencia de falla de todos los equipos involcrados en el estudio.

Ahora al haber modelado la tasa de falla de estos equipos, nuevamente viene a demostrar las posibilidades que entrega el análisis de datos para la toma de decisiones, pero se reitera que no es determinante respecto a la mejora que se esta buscando por el momento, mas bien es un primer paso para ir conociendo de mejor forma el comportamiento de los equipos y asi a futuro poder tener mejor base de datos y estos estudios sean mas representativos.

Mencionado lo anterior se espera en un futuro próximo, donde ya se haya puesto en marcha las mejoras propuestas poder tener una base de datos representativa para así evaluar realmente el desempeño mejorado y poder realizar ya proyecciones certeras.

7.4.7 Disponibilidad.

Si bien la confiabilidad nos entrega la probabilidad de que un equipo falle en un tiempo determinado, y la mantenibilidad nos otorga la probabildad de que un equipo vuelva al funcionamiento después de una falla, es de vital importancia poseer la disponibilidad de los equipos, indicador más utilizado para evaluar el comportamiento de los equipos, tanto también como para una planta o configuración general de equipos (móviles o fijos).

La disponibilidad que se obtendrá es diferente a la que típicamente se cálcula en División Ventanas en general (salvo en PRECA que no se calcula), dado que se obtiene de un MTBF y MTTR adquirido mediante una distribución de probabilidad, y no de una proporción directamente, el nombre que recibe la disponibilidad es esperada o inherente.

Ahora con los parámetros obtenidos logramos calcular MTBF y MTTR para los equipos criticos en estudio, y de ello se accederá a la disponibilidad inherente (esperada) de los equipos según su comportamiento histórico mediante la fórmula **[A.12]**.

Para *chancador hidrocono* el resultado es el siguiente:

¤ Disponibilidad esperada : $\frac{322,63}{322,63+2,19} = 0,9933 = 99.33\%$

Para *chancador blake* el resultado es el siguiente:

¤ Disponibilidad esperada : $\frac{475,04}{475,04+3,08} = 0,9936 = 99.36\%$

Para *correa 46A* el resultado es el siguiente:

¤ Disponibilidad esperada : $\frac{11652,44}{11652,44+3,20} = 0,9997 = 99.97\%$

Para *correa 4b7* el resultado es el siguiente:

¤ Disponibilidad esperada : $\frac{14226,62}{14226,62+3,58} = 0,9997 = 99.97\%$

Para *correa 4b8* el resultado es el siguiente:

¤ Disponibilidad esperada : $\frac{7021,84}{7021,84+2,64} = 0,9996 = 99.96\%$

Para *harnero primario* el resultado es el siguiente:

¤ Disponibilidad esperada : $\frac{2946,35}{2946,35+1,96} = 0,9993 = 99.93\%$

Para *harnero secundario* el resultado es el siguiente:

¤ Disponibilidad esperada : $\frac{1176,83}{1176,83+4,76} = 0,996 = 99.60\%$

Para *harnero terciario* el resultado es el siguiente:

¤ Disponibilidad esperada : $\frac{463,64}{463,64+3,35} = 0,9928 = 99.28\%$

De estos valores entregados por parte del estudio realizado respecto a disponibilidad esperada, son “correa 46A y 4b7” las con la mayor disponibilidad del 99,97% y por otro lado el equipo “harnero terciario” seguido del “chancador hidrocono” son los con mayores indices de indisponibilidad.

Cabe mencionar que el cálculo de la disponibilidad esperada es mucho más útil para resolver o dar respuestas a análisis probabilísticos que terminan concluyendo en viabilidad económica de proyectos de mejora, que en indicadores de mantenimiento a informar períodicamente, pero mediante este estudio queda demostrada la posibilidad de obtener este indicador mediante probabilidades, reiterando nuevamente a pesar de la no representatividad de base de datos utilizada.

Finalmente se debe tener en claridad la situación bajo la cual se realizaron estos análisis respecto de los indicadores, los cuales pudieran eventualmente estar errados ya que están totalmente ligados a la fidelidad de la información base proporcionada por parte del levantamiento de información plataforma SAP.

7.5 Estrategias de mantenimiento basadas en RCM

7.5.1 Información disponible.

El área de mantenimiento no cuenta en la actualidad con un estudio de RCM para sus equipos, por lo cual se tuvo que generar una planilla basada en RCM a partir de la escasa información disponible. La totalidad de la información base fue obtenida del programa SAP, por medio de los planes **[Anexo C.3.1]** y pautas de mantenimiento actuales existentes en la plataforma. De este modo se pudo obtener las horas hombre aproximadas, escasas actividades realizadas, personal necesario y área encargada de la ejecución.

Además de esto, también fue posible contar con el apoyo del personal de la empresa por parte del área de mantenimiento, confiabiidad y operaciones.

7.5.2 Análisis.

En primer lugar, se realizó el estudio basado en RCM para cada uno de los equipos considerados post estudio de criticidad como criticos y semicriticos altos, es decir, con una ponderación de criticidad por sobre de “6”, asi de esta manera fue posible

abordar de forma eficiente esta etapa. Se destaca que el foco principal son los equipos críticos.

Se considero un estudio "basado en RCM" y no uno propiamente completo por las siguientes consideraciones a señalar.

- Dentro de las siete preguntas que se deben responder debidamente para un estudio RCM completo, la pregunta *¿Cuáles son los efectos de cada una de estas fallas?* no fue abordada por variadas razones, dentro de las cuales se encuentra; extenso alcance de la cantidad de equipos involucrados, escaso tiempo para realización de análisis sobre efectos de cada uno de los modos de falla detectados, inviable el aporte del personal por la magnitud de este estudio y nula información de historial al respecto por parte de la empresa.

- Adicionalmente al punto anterior, la pregunta *¿Cuál es la consecuencia de cada falla?,* tampoco fue abarcada y aplicada a cada una de las formas de falla de los equipos involucrados en el estudio, pero sí se categorizaron y consideraron al momento de proceder a responder *¿Qué puede hacerse para prevenir o predecir la falla?,* ya que existen potenciales consecuencias que son intransables respecto al medio ambiente y la seguridad operacional. Se destaca que este estudio está enfocado en mitigar todos y cada uno de los modos de falla presentados por equipo enfocandose en los con consecuencias medioambientales y de seguridad.

Las planillas donde se plasmó el estudio fueron revisadas por el personal de la empresa, posterior a esto se revisaron los planes de mantenimiento actuales para complementarlos con la sección optimizada de estrategias de mantenimiento.

En esta revisión complementaria se pudo apreciar que la información no era representativa en algunos casos, ya que las actividades no se realizan exactamente

como esta explicado en las pautas de SAP y por lo tanto en algunos casos las horas hombres no eran las adecuadas.

Por otro lado, existieron casos de desorden en la ubicación de estas pautas de mantenimiento, ya que habían pautas correspondientes a ubicaciones técnicas erróneas y falta de pautas que aborden problemáticas que no están abordadas o simplemente planes matrices existentes que no correspondían.

Después de ver estos detalles y ajustar absolutamente todos los parámetros involucrados en el estudio se comenzó a realizar la propuesta de estrategias de mantenimiento, propuesta que también fue revisada por el personal confiabilidad, operaciones y mantenimiento de la empresa en donde básicamente se optimizaron recursos de mano obra, horas de mantenimiento, realización de actitivdades en paralelo, priorización de actividades, alineación con detenciones del Convertidor Teniente y utilización del tiempo de vaciado de tolvas. **[Anexos C.3.2 y C.3.3]**

Posterior a la creación de las estrategias de mantenimiento, se plantéo una propuesta y nuevo formato de pautas de mantenimiento **[35]** que reflejen el análisis fundamentado en RCM realizado y así poder completar el plan matriz para cargarlo en plataforma SAP PM, una vez más apuntando al estándar divisional.

Se destaca que a futuro es primordial poder realizar un nuevo estudio asociado pero esta vez sea un análisis RCM completo a cavalidad, donde se consideren realmente los efectos y consecuencias de los modos de falla. Además se pretende poder realizar un análisis de crticidad asociado a los ítems mantenibles y de esta manera poder dirigir la atención a los modos de fallas más criticos y a estos realizar por completo el futuro estudio, ya que dado el extenso alcance con el que se tuvo que lidiar en esta ocasión sólo se planteó un análisis piloto basado en RCM.

7.6 Metas de desempeño.

En el ámbito en el que se desarrolla el estudio, es importante conocer cuales son las metas o potencial de desempeño que se irá a proponer alcanzar en el futuro tras la implementación total de las mejoras propuestas tras los puntos anteriormente desarrollados en la práctica dentro de CODELCO División Ventanas.

En la actualidad de manera general la División no lleva un control exhaustivo de indicadores de seguridad de funcionamiento aplicado a todas las áreas, mas bien se lleva un control de ciertos indicadores en específico de ciertas áreas en específico. Particularmente en la Planta de Preparación de Carga, no se lleva un control de indicadores y menos metas claras de desempeño para proyecciones futuras.

Es precisamente por lo señalado que se esta desarrollando la implementación completa del Sistema Operativo de Mantenimiento SOMA este año 2019, el cual comenzó su período inicialmente el año 2018 con un diagnóstico de pre-requisitos y mitigación de brechas, seguido el año 2019 con período de implementación piloto SOMA esperando para los años 2020 y 2021 poder dar sustentabilidad al sistema y aplicar lo conocido como mejora continua. (Ver Ilustración 30)

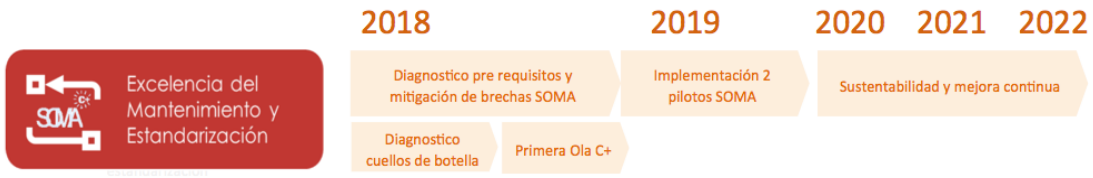


Ilustración 30: Proyección SOMA que apalanca las dimanesiones estratégicas.
Fuente: CODELCO Ventanas.[26]

Al no tener una base de indicadores estandarizada y reconocida a nivel de todas las áreas la cual sea fiel representante del comportamiento de los equipos en la práctica, *no es posible generar y establecer las metas de desempeño de los equipos involucrados*. Es decir, el desempeño que deben cumplir el conjunto de activos involucrados debe ser primeramente considerado a partir del corazón de la Fundición (Convertidor Teniente), donde en conjunto con los CPS (Convertidores Pierce Smith)

se dirigirán eficientemente los requerimientos que deben cumplir todos y cada uno de los sistemas de la planta y asi ajustar el plan estratégico piloto propuesto, dado que este fue pensado para mejorar PRECA propiamente tal, no alineado directamente con los requerimientos certeros que necesita primordialmente Fundición.

Si bien se esta implementando el piloto de SOMA, ya se poseen herramientas que se podrían aprovechar para poder ir desarrollando un estándar que se alinie con los objetivos SOMA como lo es en este caso el correcto funcionamiento de plataforma SAP, en específico normalizar el uso de esta herramienta e ingreso de información detallada y clara, con lo cual queda demostrado que si es posible modelar y calcular los indicadores de mantenimiento mas importantes como lo son; MTBF, MTR, confiabilidad, mantenibilidad, tasas de falla, disponibilidad, etc. siguiendo un orden desde la base de datos para así al cabo de los años generar un historial representativo de cada equipo en funcionamiento y los análisis tengan mayor validez.

Las mejoras se deben aplicar todo el tiempo, pero para mejorar de manera eficiente se debe saber cuanto mejorar, donde mejorar, recursos necesarios y el plazo a llevar a cabo, por ello las proyecciones futuras son clave en la toma de decisiones actuales. Con lo planteado se espera tener mayor conocimiento del comportamiento de los equipos que mediante los diagramas de disposición lógica será posible extrapolar dicho comportamiento a los sistemas y plantas de la División a fin de generar una cadena de consecuencias positivas tales como; sustentabilidad del sistema de mantenimiento, regularización de materiales críticos en stock, actualización planes matrices, incentivo al uso nuevas tecnologías, correcta dirección de recursos, diagnostico de competencias del personal, sinergia distintas áreas, entre otras.

Culminando, se reitera poner en marcha el plan piloto para así poder tener una base de datos representativa con la cual se pueda evaluar el desempeño de los activos, y en conjunto con los requerimientos respaldados por parte de fundición poder saber *Cuánto* y *Dónde* mejorar este piloto propuesto para así finalmente sea posible realizar proyecciones y metas de desempeño futuras.

8. CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS

8.1 Conclusiones

El *manejo de materiales* en la minería engloba procesos base y primordiales que están condicionados a parámetros de alta exigencia operacional y tolerancias relativamente ajustadas. Las condiciones operacionales que enfrentan los activos son complejas, por ello requieren un cierto grado de fiabilidad en su correcto funcionamiento. El trabajo realizado se fundamentó en el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM), el cual es uno de los métodos desarrollados y perfeccionados para incrementar esta confiabilidad señalada.

En cuanto al objetivo principal de este trabajo, fue posible el rediseño estratégico de los planes matrices de mantenimiento aplicados actualmente en la empresa, lo cual da un paso adelante en el mejoramiento continuo del mantenimiento realizado en la FURE DVEN.

En un inicio, conocer el contexto en el cual se desenvuelve la problemática principal es fundamental para situarse lo más cercano posible a la realidad, donde los factores que la conforman pueden eventualmente ser fuente de riesgo. Sin duda el contexto de FURE DVEN es muy singular, no cuenta con los recursos suficientes en cuanto a información, mano de obra, abastecimiento, incluso presenta un cierto nivel de desorganización, lo que lleva constantemente a situaciones en donde se debe prácticamente improvisar y usar el ingenio de los mantenedores ante incidentes.

En sí la desinformación en general se convirtió en un factor reiterativo que se mantuvo presente a lo largo del trabajo, por ello en el comienzo se optó por la realización de un diagrama funcional de la planta en estudio a modo de estandarizar la visión macro de la planta en cuestión. Al momento de recurrir a la plataforma que se utiliza en la organización, la cual es el software SAP, ya sea para buscar mediante las transacciones; ubicaciones técnicas, avisos de avería, indicadores de

mantenimiento, pautas de mantenimiento, especificaciones de equipos se encontraba información de calidad como también cierta parte totalmente incoherente, no representativa e inclusive nula. Con esto mencionado se da a conocer que no se utiliza la plataforma SAP en su máximo potencial, lo cual por consiguiente trae riesgos de falta de conocimiento técnico, tiempos muertos, accidentes, incumplimiento de actividades de mantenimiento, etc.

A causa de la acotada información fidedigna que se tuvo a disposición, fue necesario complemetarla con juicio experto y recurrir constantemente hacia los propios mantenedores, personal de prevención de riesgos, operarios y personal de distintas áreas para sus respectivos puntos de vista y observaciones. Cabe destacar en este mismo punto que en general por parte del personal de la empresa siempre hubo disposición en ayudar, demostrando que si bien la gestión de la información no es la adecuada, en ciertas ocasiones es posible obtenerla de igual modo.

Respecto a las estrategias, es bien sabido que los planes llevados a cabo en la planta no son los más adecuados debido a la causas presentadas con anterioridad, sin embargo la propuesta piloto que se presenta cuenta con complementación bibliográfica y esta pensada para adecuarse lo mayor posible y optimizar la situación actual mediante el correcto direccionamiento de recursos dirigido por el análisis de criticidad concretado.

Actualmente en la empresa es evidente el mejoramiento que se esta adquiriendo desde un mantenimiento correctivo predominantemente hacia un mantenimiento proactivo como meta, donde este trabajo de título fue enfocado y desarrollado con la etapa piloto de implementación del nuevo Sistema Operativo de Mantenimiento. No obstante, se lográ apuntar en sintonía con la excelencia del mantenimiento y estandarización en la estructura real de activos presentes formando una base de datos sólida, y a su vez, con la implementación del resultado de propuesta estratégica de mantenimiento basada en RCM durante un corto plazo se dará la oportunidad a futuro de conocer en gran medida el comportamiento de los activos en operación mediante indicadores de funcionamiento, para así mismo realizar proyecciones certeras en

cuanto al desempeño e ir generando valor agregado y avanzar en la optimización de la gestión de activos por medio de la mejora continua.

Finalmente, a modo de complementar lo mencionado, con la propuesta resultante se gestionaron los distintos riesgos a fin de que estos permanezcan controlados, dando énfasis en impactos *medioambientales* y *seguridad operacional* mediante la mitigación de ocurrencia de cada uno de los modos de falla identificados a lo largo del análisis. Referente a los obstáculos para materializar a cabalidad el trabajo de título, se requiere aumentar los recursos destinados al crecimiento tecnólogico e innovación digital en la planta, implementar capacitaciones al personal para mejorar sus competencias laborales y así consolidar plataforma SAP PM como principal sistema de gestión del mantenimiento. Adicional, es necesario maximizar la dotación de mano de obra destinado al mantenimiento propiamente tal, de esta manera se espera este piloto presentado sea el primer gran paso para disminuir los imprevistos, incentivar la sinergía, mejorar la gestión del conocimeinto y asi cada vez situarse más proximo al mantenimiento proactivo y superación de metas divisionales.

8.2 Sugerencias

- Se recomienda realizar una descripción de los avisos de falla más detallada, especificando el ítem mantenible afectado y habilitando el uso de los catálogos de falla para así tener una información estandarizada y precisa. Junto a esto se recomienda asegurar que el tiempo ingresado sea el real, ya que esto facilita el estudio de criticidad del equipo y futuros análisis de confiabilidad.
- Se recomienda duplicar la dotación de personal para la mano de obra por parte de especialidad mecánica principalmente, a fin de cumplir con las estratégias propuestas. Aprovechando se señalar necesidad de un progresivo incremento del uso de nuevas tecnologías para alinearse con el marco estratégico.

- Se sugiere la elaboración de proyectos de mejora con materialización en paráda de planta general cada 18 meses para la *Planta Preparación de Carga*, teniendo en consideración disminuir poluciòn mediante instalación de cúpulas a lo largo de correas transportadoras, nuevas mallas en tolvas de almacenamiento, mejorar limpieza en áreas subterráneas por contaminantes en suspención, ampliar bodegas para maximizar el stock de repuestos, dar de baja equipos fuera de servicio, mejorar la iluminación y paso peatonal del personal.
- Se recomienda un mayor control en la operación de los equipos a fin de no sobrecargar las variables de diseño y, además mantener constantemente la correcta calibración certificada por terceros de los equipos, teniendo especial cuidado en conservar activos sensores de seguridad necesarios.
- Se sugiere tener todos los equipos y componentes en terreno identificados con una placa estandarizada, para así evitar confusiones en cuanto a la información manejada en terreno en contraste con plataforma SAP y evitar el cambio erróneo de componentes.
- En este caso por temas de tiempo y estandarización se realizó un RCM con el formato de una empresa externa, pero se recomienda que a futuro se realice un análisis RCM mas completo y detallado, para así localizar los ítems mantenibles más críticos de cada equipo y a partir de esto realizar un mejor análisis de confiabilidad considerando cada uno de los efectos de avería.
- A partir del punto anterior, se recomienda a futuro un análisis plasmado en SAP integrando los conceptos de MTBF y MTTR, con lo cual se podría tener mayor claridad en proyecciones futuras en cuanto al comportamiento de cada equipo.
- Se aconseja que la mejora continua de las estrategias y RCM sea realizada por un grupo de trabajo integro, que involucre tanto las áreas de mantenimiento como operación, los cuales manejan diferente información relevante que debe ser unificada para fomentar la sinergía.
- Se recomienda en caso de realizar una mejora de carácter genética en el equipo, esta sea debidamente informada a fin de tener presente en los futuros

estudios el desplazamiento en la curva de vida útil y poder filtrar el horizonte de tiempo a analizar. De igual manera en caso de incumplimiento de plan matriz este sea informado a fin de generar un mayor conocimiento del contexto.

- El aprendizaje es parte de la vida de un ingeniero, por lo que la proatividad y motivación deben estar siempre presente para lograr los mejores resultados, por ello lo que se busca finalmente es potenciar el uso de la plataforma SAP. Para conseguir este cometido resulta de suma importancia interiorizar al personal sobre los beneficios que tendría su óptimo uso y así incentivarlos a realizar correctamente las actividades propuestas y en conjunto involucrarlos tanto con las metas corporativas como divisionales, generando un sentimiento de pertenencia.

9 REFERENCIAS

[1] **Moubray, J.** (2000). "Mantenimiento Centrado en Confiablidad" (Reliability-centred Maintenance).

[2] **CODELCO-CHILE** (2018). "Sistema Operativo de Mantenimiento" (Manual SOMA).

[3] **EN 13306:2010** (2010). "Maintenance Terminology. European Standard". CEN (European Committe for Standardization), Brussels.

[4] **Arata, A. y Furlanetto L.** (2005). "Manual de gestión de activos y mantenimiento". RIL editores, Santiago, Chile.

[5] **Crespo, A.** (2007). "The maintenance management framework. Models and methods for complex systems maintenance". Springer Verlag, London.

[6] **Arata, A.** (2009). "Ingeniería y gestión de la confiabilidad operacional en plantas industriales". RIL editores, Santiago, Chile.

[7] **Viveros, P., Stegmaier, R., Kristjanpoller, F., Barbera, L. y Crespo, A.** (2013). "Propuesta de un modelo de gestión de mantenimiento y sus principales herramientas de apoyo". Ingeniare. Revista chilena de ingeniería , Vol 21 Nº1, 125-138.

[8] **Arata, A., Stegmaier, R.** "Apuntes de Ingeniería de Plantas Industriales". Universidad Tecnica Federico Santa María, Valparaíso, Chile.

[9] **CODELCO CHILE** (2011). "Planta Preparación de Carga" (PRECA). Gerencia de operaciones, División Ventanas, Chile.

[10] **Valdenegro, R.** "Diseño de un modelo de mantenimiento de excelencia". Universidad Tenica Federico Santa María, Valparaíso, Chile.

[11] **Vásquez, D.** (2008). "Aplicación de RCM a motores Detroit 16V-149TI". Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.

[12] **Aguilar, J., Torres, R., & Magaña, D.** (2010). "Análisis de modos de falla, efectos y criticidad". Corporación Mexicana de Investigación en materiales, Saltillo, Mexico.

[13] **Flores, K.** (2017). "Procedimiento: Identificacion de aspectos y evaluaciones de impactos ambientales". División Ventanas, CODELCO, Chile.

[14] **Peñailillo, M.** "IPER Planilla Nueva Mantenimiento Mecánico". División Ventanas, CODELCO, Chile.

[15] **CODELCO-CHILE**. "Memoria Anual 2018".

[16] **CODELCO-CHILE**. "Codelco empresa de todos los chilenos y chilenas", página Web,

https://www.codelco.com/codelco-la-empresa-de-todos-los-chilenos-y-chilenas/prontus_codelco/2015-12-30/171746.html

[17] **Statista**. "Países líderes en la producción de cobre a nivel mundial", página Web,

https://es.statista.com/estadisticas/635359/paises-lideres-en-la-produccion-de-cobre-a-nivel-mundial/

[18] **CODELCO-CHILE**. "Proyectos e inversions Ventanas", página Web,

https://www.codelco.com/proyectos-e-inversiones-ventanas/prontus_codelco/2016-03-30/130203.html

[19] **Minería chilena**. "Situación de las fundiciones en Chile", página Web,

https://www.mch.cl/reportajes/la-situacion-las-fundiciones-chile/

[20] **CODELCO-CHILE**. "Reunión Primera Línea SIM".

[21] **CODELCO-CHILE**. "División Ventanas", página Web,

https://www.codelco.com/ventanas

[22] **ENAMI**. "Enami cumple 50 años de vida", página Web,

http://ftp.enami.cl/OpenNews/asp/pagDefault.asp?argInstanciaId=1&argNoticiaId=213&argEdicionId=1

[23] **CODELCO-CHILE**. "Memoria Anual 2005".

[24] **Aravena, C.** (2019) "Planilla Análisis de Criticidad Planta Preparación de Carga". CODELCO, División Ventanas.

[25] **Aravena, C.** (2019) "Diagrama Funcional Planta Preparación de Carga Codelco Division Ventanas". CODELCO, Division Ventanas.

[26] **CODELCO-CHILE** (2018). "Planificación Estratégica SIM 2022".

[27] **Resumen**. Artículo: "Crísis socioambiental: impactos del complejo industrial Ventans en Quintero y Puchuncaví", página Web,

https://resumen.cl/articulos/crisis-socioambiental-impactos-complejo-industrial-ventanas-quintero-puchuncavi

[28] **Minería chilena**. "Fundiciones de cobre en Chile", página Web,

https://www.mch.cl/reportajes/fundiciones-de-cobre-en-chile-tiempo-de-decisiones-mas-alla-del-ds-28/#

[29] **Minería chilena**. "Codelco Ventanas logra la mayor producción de cátodos en su historia", página Web,

http://www.mch.cl/2018/01/08/codelco-ventanas-logra-la-mayor-produccion-de-catodos-en-su-historia/

[30] **CODELCO-CHILE**. "Reporte de sustentabilidad 2017".

[31] **CODELCO-CHILE**. "Producción 2018", página Web,

https://www.codelco.com/produccion-2018/prontus_codelco/2019-04-30/135950.html

[32] **CODELCO-CHILE**. "Comité ejecutivo de Chuquicamata conoce y analiza nuevo Sistema Operativo de Mantenimiento", página Web,

https://www.codelco.com/comite-ejecutivo-de-chuquicamata-conoce-y-analiza-nuevo-sistema/prontus_codelco/2018-08-20/163119.html

[33] **Construcción minera**. "Cierre de faenas", página Web,

https://www.construccionminera.cl/wp-content/uploads/2017/11/CM-26.pdf

[34] **Fredes, J.,** "Estudio de las variables de producción, a través de su impacto en los costos indirectos de fabricación, en los macro procesos de fundición y refinería de la División Ventanas en Codelco Chile, en el período Enero 2003-Noviembre 2005". Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Valparaíso, Chile.

[35] **CODELCO CHILE** (2019). "Formato Pauta Mantenimiento", Superintendencia de mantenimiento, División Ventanas, Chile.