

UNIVERSIDAD TÉCNICA
FEDERICO SANTA MARÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
VALPARAÍSO - CHILE

PROPUESTA PARA CREACIÓN DE UNIDAD DE
LUBRICACIÓN Y GENERACIÓN DE PLAN MATRIZ EN
FUNDICIÓN Y REFINERÍA DE COBRE DEL NORTE DE
CHILE

DANIELA FRANCISCA GUERRERO RIQUELME

MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL MECÁNICO, MENCIÓN PRODUCCIÓN

PROFESOR GUÍA
PROFESOR CORREFERENTE

DR. PEDRO SARIEGO PASTÉN
ING. RENÉ VALDENEGRO OYANEDER

NOVIEMBRE - 2018

Agradecimientos

A Dios, por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi vida, por darme fuerzas y contención en momentos difíciles y por darme nuevas aventuras para disfrutar.

A mi madre Jobina, por ser mi pilar, mi ejemplo, mi motivación en la vida. Por tanto que has aguantado para tener lo que tenemos. No hay palabras que puedan expresar toda mi admiración, amor y devoción por ti.

A mi tía Rosa y mis padrinos, por crear un núcleo de mucho amor y consentimiento, por estar presentes en todo momento de mi vida y por siempre confiar en mí.

A toda mi familia, por lo gratos momentos que me hacen pasar, por sus alientos y buenos deseos que siempre recibí.

A mis amigos... Parte fundamental mi desarrollo personal. Son tantos que no sé cómo agradecerles el estar presentes en todo momento, por hacer sonreír a mi corazón y por sus sinceros consejos. En especial a Victor, Selma, Michelle, Paula y Alida, ustedes saben cuánto los adoro.

A todos aquellos que contribuyeron en mi formación académica y profesional, tanto profesores como compañeros, por enseñarme bajo distintas realidades como enfrentar situaciones difíciles y salir victoriosa.

Por último, y no menos importante, a mi familia Salvadoreña. A esta gente linda que sorpresivamente pude conocer y hacerlas parte de mi vida. Gracias por hacer grata mi estadía en El Salvador.

Dedicatoria

*Para ti:
Mujer de mil colores
de mil respuestas tan necesarias para mí
de tantas destrezas
siempre súper madre.
Tú, querido ángel vestido de señora
que me enseñas a vivir día a día
a seguir en el camino
a continuar creciendo...
Mujer de mis respetos...
Todo para ti, mi Madre.*

Resumen

En el siguiente trabajo se presenta una propuesta de mantenimiento, en la cual se generó un plan matriz en base a planes de lubricación de equipos críticos y la proyección de una unidad de lubricación, todo esto en el marco del proceso productivo de la Fundición y Refinería perteneciente a la División El Salvador de CODELCO.

Para esto, se siguió una metodología de trabajo que abarca la comprensión del contexto en el que está inmerso el problema principal, levantando información técnica desde el sistema SAP y de los propios mantenedores para finalmente complementarlo con indicaciones de manuales de lubricación.

Luego de un análisis cualitativo los resultados obtenidos fueron un plan matriz de lubricación para 152 puntos, que especifican a 25 equipos críticos, y la creación de una unidad de lubricación equivalente a un equipo de 2 mantenedores.

Abstract

This work presents a maintenance approach in the form of a matrix plan which was based on lubrication plans of critical units and also proposes the creation of a lubrication team. All of this was made within the framework of the Smelting and Refining productive process inside Division El Salvador of CODELCO.

The followed work methodology considered the context in which the main problem was immersed, utilizing technical information provided from the SAP system, the maintenance staff and lubrication manuals.

A qualitative analysis was made to obtain the matrix plan which identifies 152 lubrication points for a total of 25 critical units; also this approach considers the creation of a lubrication team consisting of 2 maintainers.

Nomenclaturas y Definiciones

DSAL: División Salvador.

GFURE: Gerencia Fundición y Refinería.

SMS: Superintendencia de Mantenimiento y Suministros.

ERP: (Enterprise resource planning) Conjunto de sistemas de información que permite la integración de operaciones de una empresa.

OT: Orden de Trabajo.

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

SOMA: Sistema Operativo de Mantenimiento.

PRM: Planta recepción y mezclado de concentrado.

PSF: Planta de secado y fluosólido.

VTI: Ventilador de tiro inducido.

CT5: Convertidor Teniente 5.

CPS: Convertidos Peirce Smith.

MALIGAS: Manejo y limpieza de gases.

PAS: Planta de ácido sulfúrico.

PFE: Planta flotación de escoria.

OEM: Fabricante original del equipo.

EPP: Equipo de protección personal.

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 la aspiración.

C+: Forma en que Codelco ha adaptado y denominado a la metodología Lean y por tanto, la marca que engloba la iniciativa Lean en la Corporación.

SAP/R3: Software que permite organizar la información mediante una base de datos.

Módulo PM: Módulo de SAP/R3 utilizado para gestionar el mantenimiento.

Backlog: Carga De Trabajo Pendiente. Constituye la cantidad total de mano de obra (HH) pendiente por programar, correspondiente a operaciones de órdenes liberadas, detectadas en un día (semana) determinado. También es posible establecer este indicador en términos de la carga de trabajo pendiente dividido por la capacidad semanal del Puesto de Trabajo.

Hoja De Ruta: Se usan para estandarizar los trabajos, crear más rápido los planes de Mantenimiento, y para la planificación de las órdenes de Mantenimiento. La hoja de ruta es obligatoria para los trabajos de Mantenimiento Preventivo.

Índice de Contenidos

1. Introducción	1
2. Generalidades	2
2.1. Objetivos	2
2.2. Alcance	2
2.3. Metodología de Trabajo	3
3. Antecedentes Generales CODELCO	4
3.1. División El Salvador	4
3.1.1. Gerencia Fundición y Refinería	5
3.1.2. Superintendencia de Mantenimiento y Suministros	6
3.2. Proceso Productivo FURE	12
3.2.1. Planta de Recepción y Mezclado de Concentrado	13
3.2.2. Planta de Secado de Concentrado	14
3.2.3. Fusión en el Convertidor Teniente	15
3.2.4. Conversión en los Convertidores Peirce Smith	15
3.2.5. Proceso de los Hornos Anódicos	15
3.2.6. Rueda de Moldeo	15
3.2.7. Electrorrefinación	16
3.2.8. Tratamiento de Gases	18
3.2.9. Tratamiento de Escoria	18
4. Importancia de Lubricar	20
4.1. Fallas de equipos por Lubricación	20
4.2. Fundamentos de Lubricación	21
4.3. Situación Actual FURE	22
4.3.1. Criticidad en el proceso productivo	22
4.3.2. Problemas con sistema de lubricación	22
4.4. Descripción de propuesta de lubricación	23
4.4.1. Metodología para elaboración de Planes de Mtto.	24
4.4.2. Plan de acción	24
5. Levantamiento y Análisis de Información	27
5.1. Listado de Equipos	27
5.1.1. Metodología de criticidad de equipos	27
5.1.2. Equipos críticos	29
5.2. Historial de Lubricación	31
5.3. Inspección en Terreno	31
5.3.1. Equipos que necesitan lubricación	31
5.3.2. Preguntas a Mantenedores	33
5.3.3. Observaciones	34
5.4. Indicaciones OEM	40
5.4.1. Especificaciones equipos críticos	40
5.4.2. Indicaciones de lubricación	42
5.5. Análisis de información SAP	42
5.6. Análisis inspección en terreno	44
6. Plan Matriz y Unidad de Lubricación	45

6.1. Planes de Lubricación	45
6.1.1. Estrategias de lubricación	45
6.1.2. Hoja de Ruta	46
6.1.3. Selección de lubricantes	49
6.2. Generación de Plan Matriz	51
6.3. Creación de Unidad de Lubricación	52
7. Conclusiones y Sugerencias	55
Referencias	57
Anexos	59
A. Marco Teórico	59
A.1. Mantenimiento	59
A.1.1. Definición	59
A.1.2. Objetivos	59
A.2. Ingeniería y Gestión del Mantenimiento	60
A.2.1. Ciclo del Mantenimiento	61
A.2.2. Plan de Mantenimiento	63
A.2.3. Tipos de Mantenimiento	65
A.3. Lubricación Industrial	66
A.3.1. Lubricación basada en la Tribología	66
A.3.2. Lubricantes: Especificaciones y Normativa	67
A.3.3. Lubricantes en automoción	68
B. Política Corporativa de Mantenimiento	72
C. Diagramas Procesos de Mantenimiento en FURE	73
C.1. Proceso de identificación y priorización	73
C.2. Proceso de planificación	74
C.3. Proceso de programación	75
D. Tablas generadas	77
D.1. Planes de Mantenimiento actuales	77
D.2. Selección de Lubricantes y opciones de Fabricantes	80
D.3. Tablas Plan Matriz y Unidad de Lubricación	82
D.3.1. Plan Matriz de Lubricación	82
D.3.2. Unidad de Lubricación	91

Índice de Figuras

1. Metodología de trabajo.	3
2. Vista aérea del Campamento minero El Salvador.	4
3. Área minera de Potrerillos, Fundición y Refinería de cobre de Chile.	5
4. Organigrama GFURE.	6
5. Organigrama SMS, GFURE.	7
6. Ciclo de Mantenimiento que sigue SMS.	8
7. Proceso general de la identificación y priorización.	9

8.	Proceso general de planificación.	10
9.	Proceso general de programación.	11
10.	Proceso Productivo FURE.	13
11.	Flowsheet Fundición Potrerillos.	17
12.	Flowsheet Flotación de Escorias.	19
13.	Pérdida de Función de equipos.	20
14.	Plan de Acción.	25
15.	Carta Gantt.	26
16.	Equipos críticos Planta Mezclado de concentrado.	34
17.	Equipos críticos Planta Secado Fluosólido.	35
18.	Equipos críticos CT5.	36
19.	Equipos MALIGAS.	36
20.	Equipos críticos Planta Ácido Sulfúrico.	37
21.	Equipos críticos Planta tratamiento de Escoria.	38
22.	Equipos críticos Casa Compresora.	39
23.	Equipos críticos Refinería.	40
24.	HH por semana, primera proyección.	53
25.	HH por semana, proyección final.	54
26.	Ciclo de trabajo del mantenimiento.	61
27.	Flujo del proceso de identificación y priorización.	73
28.	Flujo de proceso de planificación.	74
29.	Flujo de proceso de programación.	75

Índice de Tablas

1.	Cuantificación Frecuencia de Falla.	27
2.	Cuantificación Consecuencias de Fallas.	28
3.	Evaluación de consecuencias.	29
4.	Matriz de Riesgo.	29
5.	Nivel de Criticidad.	29
6.	Equipos Críticos, FURE.	30
7.	Equipos con necesidad de sistema de lubricación.	32
8.	Especificaciones de Equipos.	41
9.	Resultados información obtenida en SAP.	42
10.	Antecedentes lubricación.	43
11.	Factores críticos en Plantas FURE.	44
12.	Selección lubricantes.	50
13.	Frecuencias y puntos de Lubricación.	51
14.	Tiempos y puntos de Lubricación.	52
15.	Tabla SAE J300: Lubricantes para motor.	69
16.	Tabla SAE J306: Lubricantes para engranajes.	69
17.	Tabla DIN 51519: Viscosidad ISO.	70
18.	Grado NLGI (National Lubricating Grease Intitute).	71
19.	Pautas de Mantenimiento activas.	77
20.	Selección lubricantes, fabricantes.	80
21.	Puntos y Frecuencias de Lubricación.	82
22.	Puntos y Tiempos de Lubricación.	91

1. Introducción

La minería ha estado en la historia de Chile desde siempre y en estas últimas décadas, su desarrollo ha generado una serie de impactos positivos en el país siendo el principal ente económico. Es bien sabido los retos a los que se enfrentan los equipos mineros, los cuales son extremos y se presentan de diferentes maneras. Ya sea por la exigencia de la producción, que requiere la plena disponibilidad de los equipos a menudo utilizados a plena carga, pero principalmente por los ambientes extremos en los que operan (alta contaminación con áridos, presencia de agua, la propia naturaleza de las materias primas, temperaturas, etc.).

La confiabilidad y disponibilidad de los equipos se ven afectadas por las circunstancias anteriores, lo que lleva en la mayoría de los casos a generar un proceso productivo crítico y dependiente del estado de los equipos. Esta situación se puede controlar con el mantenimiento que es un área imprescindible dentro de una industria productiva ya que a partir de su objetivo de preservar un activo para que pueda llevar a cabo la función requerida, ayuda a la disminución de inversiones en compras de activos nuevos y pérdidas operacionales.

Para facilitar la gestión del mantenimiento en los equipos se analizan los problemas operacionales mediante herramientas, técnicas y metodología de la Tribología, particularmente con lubricación, debido a las labores a los que se someten los equipos, como cargas, esfuerzos, torques, entre otros, acciones que generan grandes roces. La importancia que se le debe dar a un adecuado sistema de lubricación en las plantas donde se presencian estas actividades ya mencionadas, debiese ser el enfoque primordial desde el área de mantenimiento, sin embargo, esto no suele ocurrir ya que es un tema aun en desarrollo. Además, la tarea de lubricar a menudo se pasa por alto debido a que se subestima su impacto en el costo total de propiedad del equipo, sin embargo, es absolutamente comprensible que con una lubricación adecuada, se puede mejorar sustancialmente la confiabilidad de la máquina.

Particularmente en la Fundición y Refinería de Cobre, perteneciente a la División El Salvador de CODELCO, este tema toma importancia ya que actualmente no se cuenta con un sistema de lubricación adecuado para el contexto operacional al que se someten los equipos, específicamente porque no hay un plan matriz ni indicaciones exclusivas de lubricación, lo que implica no contar con un sistema de gestión de información óptimo para las labores del mantenimiento. Por consiguiente, se decide implementar acciones en esta área en el marco de mejoramiento continuo para el mantenimiento, siendo éstas la generación de un plan matriz de lubricación que abarque el mantenimiento de los equipos más críticos del proceso productivo y la propuesta de creación de una unidad dedicada a esta labor de manera específica.

2. Generalidades

El propósito central de este trabajo consiste en desarrollar una propuesta para la creación de unidad de lubricación en la orgánica de la Fundición y Refinería de Cobre de Potrerillos, en el Norte de Chile, y paralelamente la generación de un Plan Matriz de Lubricación detallado para la unidad en comento.

2.1. Objetivos

Objetivo General

Desarrollar una propuesta para la creación de unidad de Lubricación en Fundición y Refinería de Potrerillos y generación de Plan Matriz de Lubricación adecuado.

Objetivos Específicos

- Analizar el contexto actual del proceso productivo y de los equipos utilizados en las plantas de Fundición y Refinería.
- Levantar información de planes de mantenimiento implementados así como la criticidad de equipos.
- Definir estrategias para la elaboración de planes de mantenimiento a partir de información y antecedentes recopilados.
- Elaborar planes de mantenimiento en lubricación acorde a los requisitos de cada planta y equipos pertinentes.
- Diseñar Plan Matriz junto con la propuesta de una unidad de lubricación.

2.2. Alcance

Este trabajo está enfocado en mejorar el sistema actual de mantenimiento de la FURE, perteneciente a la División Salvador, con la incorporación de planes de lubricación para las siguientes plantas que presentan equipos críticos:

- Planta recepción y mezclado de concentrado (PRM)
- Planta de Secado Fluosólido (PSF)
- Planta de Fusión (CT5)
- Planta de Enfriamiento de Gases (MALIGAS)
- Planta de Ácido Sulfúrico (PAS)
- Casa Compresora
- Planta Tratamiento de Escoria (PFE)
- Refinería

Los resultados obtenidos conforman la primera etapa para la creación de un plan matriz y unidad de lubricación en fundición y refinería, y su estudio puede extrapolarse a otras divisiones o instalaciones que presenten estas plantas junto a sus respectivos equipos en el proceso de producción de cobre.

2.3. Metodología de Trabajo

El desarrollo de esta propuesta de unidad de lubricación y generación de plan matriz, considerará la siguiente metodología de trabajo:

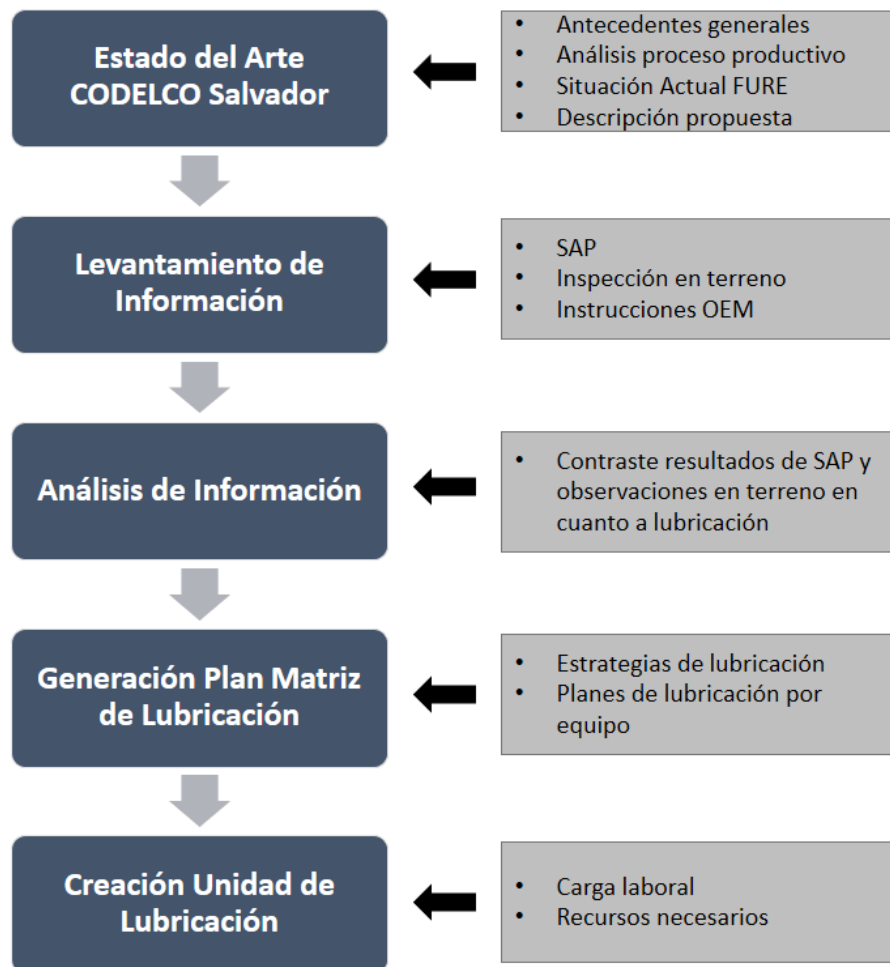


Figura 1: Metodología de trabajo.

Fuente: Elaboración propia.

3. Antecedentes Generales CODELCO

CODELCO es el primer productor de cobre del planeta y posee, además, el 7 % de las reservas globales de cobre, contenidas en yacimientos de clase mundial y, con una participación de 10 %, es el segundo mayor productor de molibdeno. [10]

El nombre CODELCO representa a la Corporación Nacional del Cobre de Chile, empresa autónoma propiedad del Estado chileno, cuyo negocio principal es la exploración, desarrollo y explotación de recursos mineros de cobre y subproductos, su procesamiento hasta convertirlos en cobre refinado, y su posterior comercialización.

Cuenta con siete Divisiones mineras, dentro de las cuales se encuentra "El Salvador", División donde se lleva a cabo este trabajo y de la cual se describen sus antecedentes operacionales en este documento contextualizando la problemática central.

3.1. División El Salvador

Las operaciones de la División El Salvador se realizan en la Provincia de Chañaral, Región de Atacama, desde la zona de la Cordillera de Los Andes, a 2.600 metros de altura y a una distancia de 1.100 kilómetros al norte de Santiago, hasta el Océano Pacífico, donde mantiene el puerto de embarque de Barquito. [11]



Figura 2: Vista aérea del Campamento minero El Salvador.

Fuente: ENCYCLOPÆDIA BRITANNICA (2014).

En las inmediaciones de la ciudad de El Salvador, se explotan dos líneas de producción: Suluros y Óxidos. La primera de ellas, trata los minerales provenientes de la Mina Subterránea y Mina Rajo "Campamento Antiguo", que son procesados en la Planta Concentradora, donde se obtiene concentrado de Cobre y Molibdeno. [11]

En la línea de Óxidos, se procesa el mineral proveniente de la mina Rajo Damiana. Esta línea de producción considera la lixiviación en pilas y concluye con el proceso de Extracción por Solventes y Electro-obtención (SX-EW), para producir cátodos de alta pureza.

En el Complejo Fundición-Refinería se procesa el concentrado de cobre producido en El Salvador, más una importante cantidad de concentrados provenientes de otras divisiones de CODELCO y de otras compañías mineras. Los productos comerciales generados son, principalmente, cátodos de cobre electro refinados, cobre anódico, barro anódico con contenido de oro y plata, además de ácido sulfúrico, producto de la limpieza y tratamiento de gases de la fundición.

Desde el Puerto de Barquito, emplazado en Chañaral, los productos de División Salvador son enviados a clientes ubicados principalmente en Asia y Europa.

3.1.1. Gerencia Fundición y Refinería

La Fundición y Refinería de Potrerillos perteneciente a la División Salvador es una planta que se encuentra ubicada en el desierto de Atacama a 125 [km] al oriente del puerto de Chañaral, a unos 200 [km] de Copiapó y 50 [km] de la ciudad El Salvador. Además, está a 2.800 [m] sobre el nivel del mar. [11]



Figura 3: Área minera de Potrerillos, Fundición y Refinería de cobre de Chile.

Fuente: ENCYCLOPÆDIA BRITANNICA (2014).

La Gerencia de Fundición y Refinería de Potrerillos (GFURE) considera 4 áreas de trabajo dentro de su proceso productivo, separando la fundición de la refinería, como el mantenimiento de la ingeniería de procesos. Con esto, la estructura administrativa consta de las siguientes 4 Superintendencias:

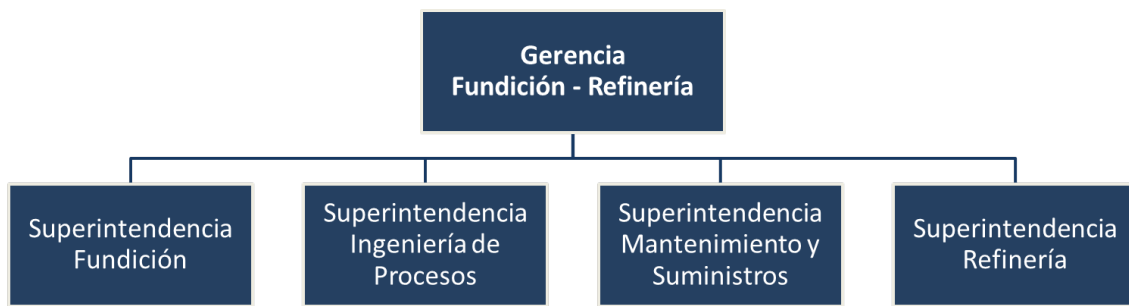


Figura 4: Organigrama GFURE.

Fuente: Elaboración propia.

3.1.2. Superintendencia de Mantenimiento y Suministros

La Superintendencia de Mantenimiento y Suministros (SMS) es responsable de desempeñar un papel clave en la administración y las mejoras a los requisitos de mantenimiento de los equipos fijos y móviles en la Fundición y Refinería.

Como Superintendencia siguen la siguiente estrategia operativa:

Misión

Contribuir activamente al cumplimiento de los compromisos comerciales de la Gerencia Fundición Refinería, brindando un servicio de mantenimiento de excelencia y con los más altos estándares de desempeño en los ámbitos de Seguridad, Calidad, Confiabilidad y Costos.

Visión

Convertir la Gestión de Mantenimiento, en un referente para el resto de las Fundiciones y Refinerías de la Corporación.

Objetivos Estratégicos

- Mejorar la confiabilidad y disponibilidad de los equipos a través de la implementación de un Sistema de Gestión de Activos durante todo su ciclo de vida, basado en un mantenimiento proactivo, mediante el aumento del trabajo planificado, aplicando las herramientas de la Ingeniería de Mantenimiento.
- Evaluar periódicamente a todo el personal para fortalecer sus competencias, capacitándolos en el conocimiento operativo, técnico, prevención de riesgos y protección del medio ambiente, para lograr un crecimiento integral de nuestro recurso humano.
- Optimizar los costos de mantenimiento.
- Optimizar y masificar el uso de los sistemas de información en línea como herramienta de comunicación y control de nuestra gestión.

La SMS trabaja basada en el sistema operativo de mantenimiento (SOMA) el cual es un conjunto de estándares y procesos que apuntan a optimizar la gestión de activos. Con el propósito de asegurar la confiabilidad de sus activos, maximizar los coeficientes de marcha y dar sustentabilidad a los planes de producción, CODELCO requiere desarrollarse hacia un mantenimiento proactivo mediante la implementación de estándares y el desarrollo de

planes de mejora en los ámbito de procesos, sistemas, personas y cultura, a través de un sistema operativo que permita asegurar el correcto funcionamiento y adopción del modelo corporativo de mantenimiento.

La estructura administrativa de la SMS, considera las áreas de planificación, programación y confiabilidad, junto con el control de gestión. Esto se puede ver en detalle en el siguiente organigrama:

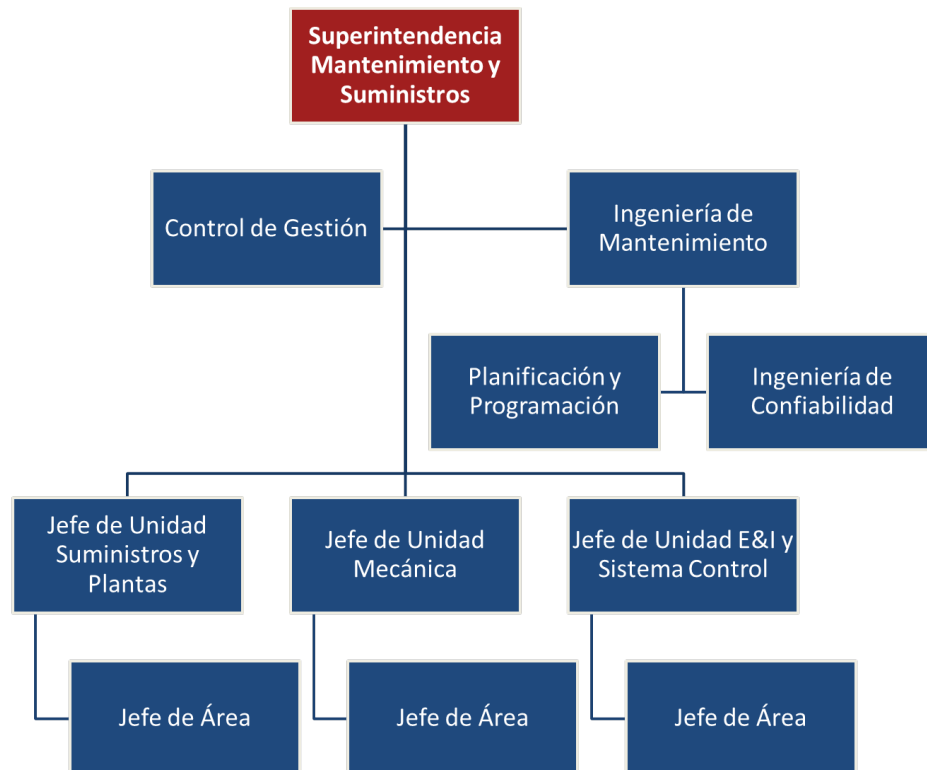


Figura 5: Organigrama SMS, GFURE.

Fuente: Elaboración propia.

El proceso principal del mantenimiento que lleva a cabo la SMS es en base al ciclo de trabajo, el cual es aplicado en conjunto con las áreas de confiabilidad y ejecución, siendo planificación el área con mayor responsabilidad.

Este ciclo está formado por 5 procesos secuenciales:

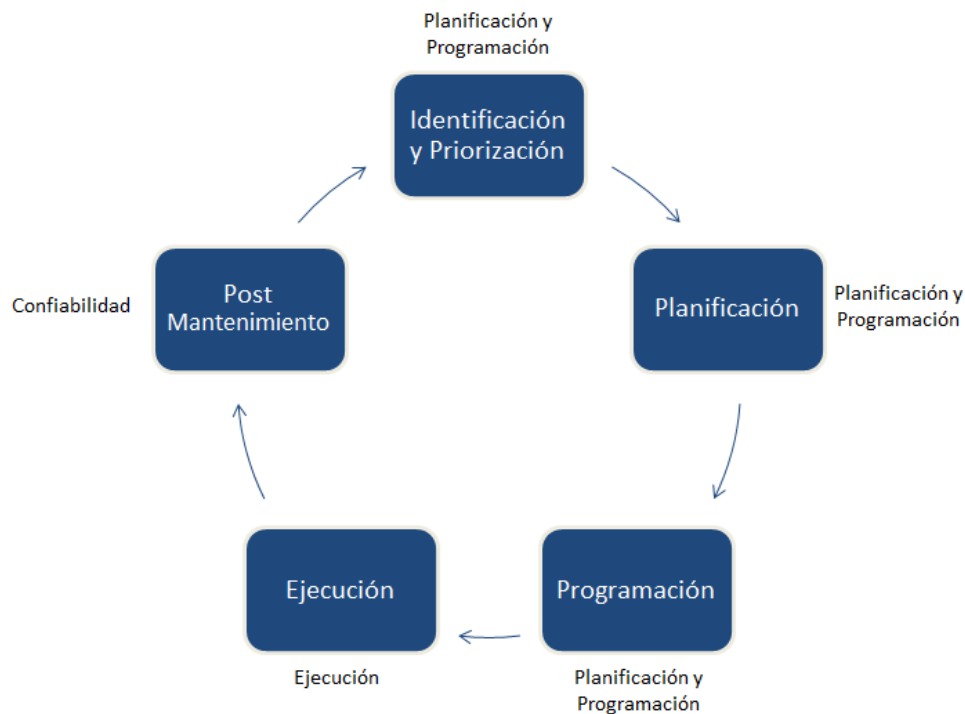


Figura 6: Ciclo de Mantenimiento que sigue SMS.

Fuente: Manual SOMA (2018).

*Nota: Cabe destacar que en la etapa de ejecución se considera también la etapa de cierre.

Área Planificación y Programación

El área de planificación y programación de la SMS se encarga de las 3 primeras etapas del ciclo de Mantenimiento, las cuales se detallan a continuación:

a. Identificación y priorización

En esta fase se recopilan los requerimientos de trabajo provenientes de SAP a ser realizados durante el ciclo de mantenimiento con el objetivo de generar un listado de actividades de priorizadas en base al nivel de riesgo presente. Además, se debe garantizar que todas las potenciales tareas de mantenimiento sean identificadas tempranamente, estén bien descritas y sean priorizadas para optimizar los tiempos de mantenimiento y mejorar la precisión de las etapas posteriores de planificación y programación.

En esta etapa se realizan las siguientes funciones:

- Identificar requerimientos de mantenimiento.
- Recopilar y evaluar requerimientos de mantenimiento.
- Coordinar análisis de los requerimientos de mantenimiento.
- Validar preliminarmente requerimientos de mantenimiento.
- Dar soporte a otras áreas con las resoluciones sobre los requerimientos de mantenimiento.

El proceso general de la identificación y priorización se muestra a continuación:

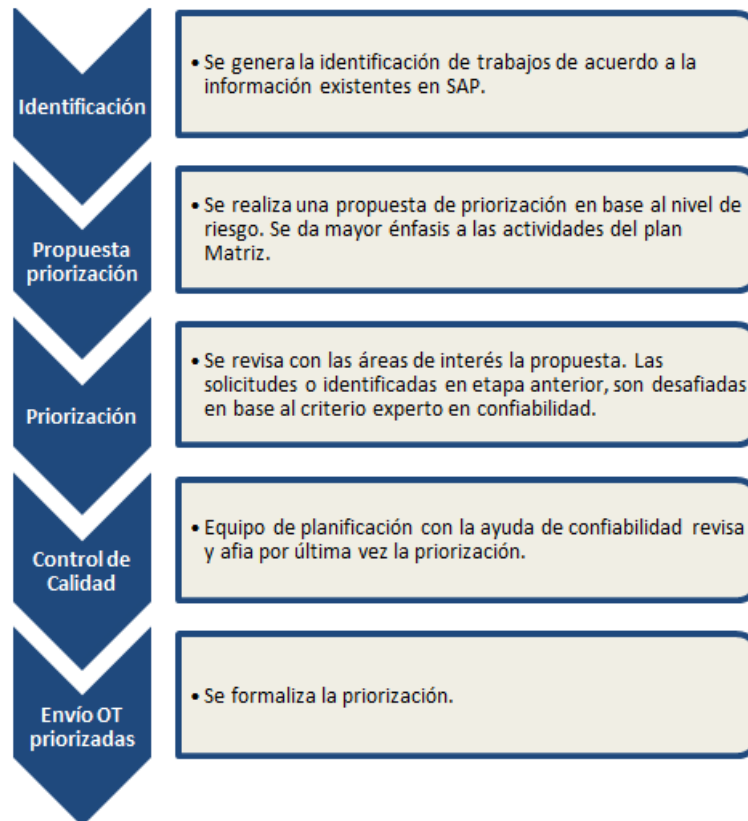


Figura 7: Proceso general de la identificación y priorización.

Fuente: Manual SOMA (2018).

b. Planificación

En esta fase se asignan los recursos necesarios a la lista de actividades entregada por la priorización, distribuyendo la carga de horas disponibles y gestionando la disponibilidad efectiva de los recursos, siendo todo esto plasmado en un Plan de Mantenimiento.

Las funciones que se realizan en esta etapa son:

- Planificar actividades de mantenimiento.
- Seguimiento de las actividades de mantenimiento planificado.
- Identificar todos los elementos que alimentan el plan de mantenimiento de mediano plazo.
- Coordinar todos los movimientos de materiales.
- Aseguramiento del proceso de Gestión Interno, realizando toda la gestión del mantenimiento a través de SAP-PM.
- Coordinar y preparar las actividades que dan soporte al proceso de planificación de mantenimiento.

- Proyectar y asegurar todos los recursos para la programación y ejecución de actividades de mantenimiento planificado.
- Proyectar y controlar los costos de las actividades de mantenimiento.
- Mantener relaciones funcionales con todos los procesos del mantenimiento y las áreas involucradas.
- Validar todos los movimientos de materiales.
- Generar plan de mantenimiento.
- Asegurar todos los recursos requeridos para la ejecución de actividades de mantenimiento planificado.

El proceso general de planificación se muestra a continuación:

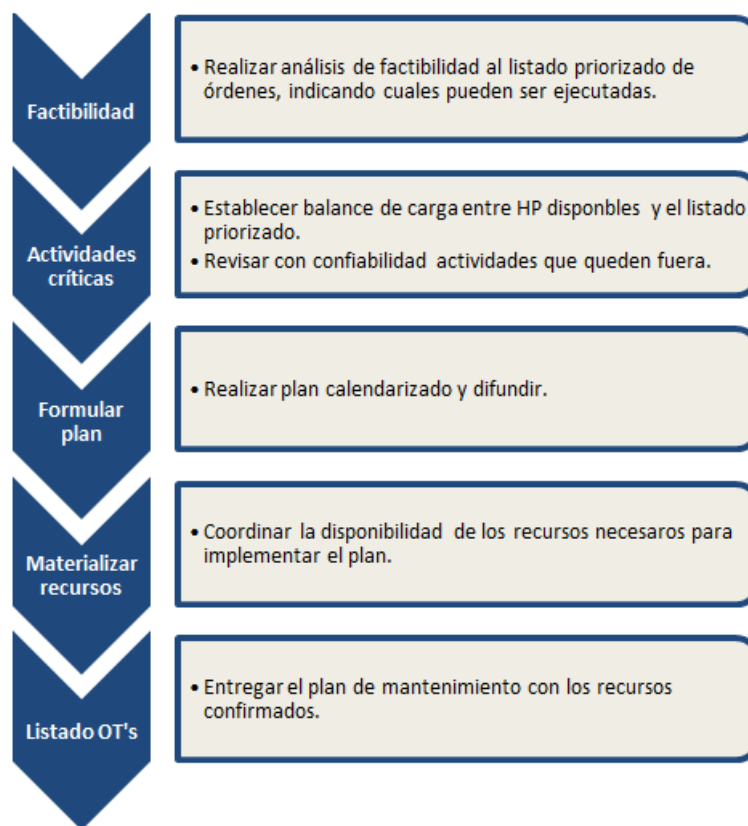


Figura 8: Proceso general de planificación.

Fuente: Manual SOMA (2018).

c. Programación

El objetivo principal de la etapa de programación es traducir el plan de mantenimiento en un programa secuenciado de forma de optimizar la ejecución de lo planificado. Además, debe asegurar los recursos en terreno necesarios para la ejecución.

Dentro de las funciones que se realizan, se encuentran las siguientes:

- Programar actividades de mantenimiento.
- Determinar y controlar el Backlog (carga pendiente).
- Validar todos los movimientos de materiales.
- Asegurar todos los recursos requeridos para la ejecución de actividades de mantenimiento planificado.
- Coordinar y preparar las actividades que dan soporte al proceso de mantenimiento.
- Mantener relaciones funcionales con todos los procesos de mantenimiento.
- Secuenciar trabajos planificados a nivel día/turno optimizando tiempos y recursos.
- Alinear el cronograma con la organización para evitar pérdidas por esperas.
- Coordinar y garantizar los requerimientos y preparativos de terreno para la ejecución.
- Trabajar los hallazgos, emergencias y contingencias en conjunto con Ejecución.

El proceso general de programación se muestra a continuación:

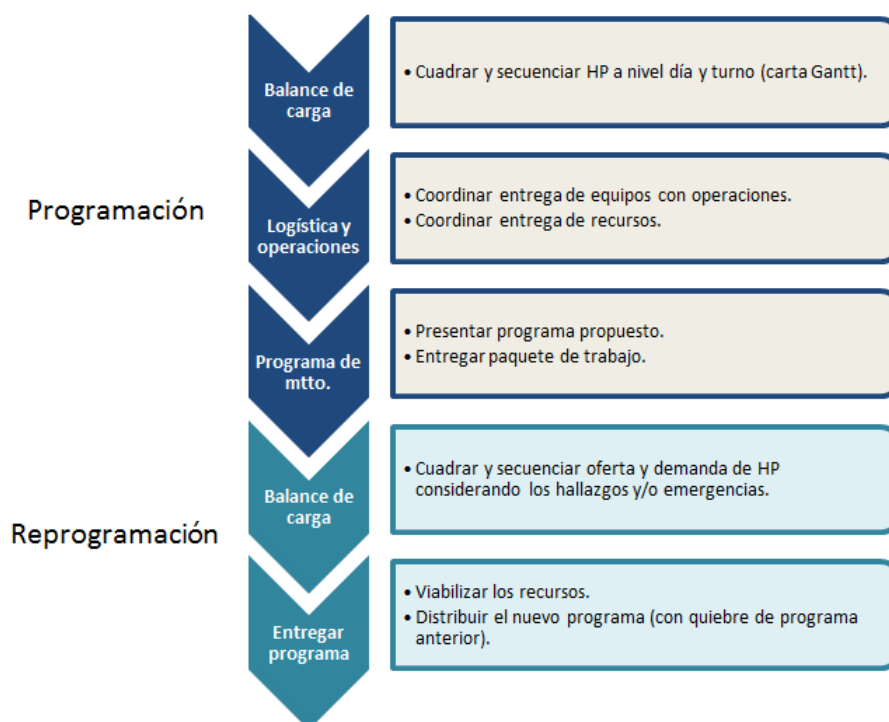


Figura 9: Proceso general de programación.

Fuente: Manual SOMA (2018).

En el marco de las labores del área de planificación y programación en cuanto a la generación de planes matrices de mantenimiento, la Jefatura (SMS) encomendó a la estudiante presente un proyecto de ingeniería de lubricación, con el fin de lograr el mejoramiento operacional continuo y generación de buenas prácticas en el mantenimiento. La solicitud se presenta como propuesta, la cual se detalla a lo largo de este documento.

3.2. Proceso Productivo FURE

El proceso productivo llevado a cabo por FURE, es un eslabón perteneciente al proceso general productivo de Cobre, luego de la exploración geológica, extracción de mineral y conminución de éste. Actualmente tiene una capacidad de fusión de concentrado de 680 [kt/a], con un nivel de producción de 135 [kt/a] de cobre refinado y 541 [kt/a] de ácido sulfúrico [6].

Es una fundición maquiladora, ya que trata mayoritariamente concentrados de la división Salvador además de concentrados de otras faenas, como lo son: Chuquicamata, Andina, Escondida, Punta de cobre, Amarillos, Ministro Hales (calcinas) y concentrado proveniente de la planta de flotación de escoria de la división, siendo este último el 15 % aproximadamente del total a fusión.

Las instalaciones y equipos que se pueden encontrar a lo largo de toda la FURE son los siguientes:

- 1 Planta de recepción y mezclado de concentrado (PRM).
- 1 Secador de lecho fluidizado, filtros de mangas, un sistema de transporte neumático de concentrado al CT5 de 120 [ton/h] de capacidad.
- 1 Convertidor Teniente (CT5) de 5 [m] de diámetro x 22 [m], con un sistema de inyección neumática de concentrado de 120 [ton/h] de capacidad y un turbo soplador de unos 60.000 [Nm³/h].
- 3 Convertidores Peirce Smith de 4 [m] de diámetro x 9.1 [m], dos en funcionamiento y uno en stand-by.
- 2 Hornos de ánodos de 4 [m] de diámetro x 9.1 [m].
- 2 Ruedas de moldeo (RM66) de 66 [ton/h] de capacidad.
- 1 Planta de refinera.
- 1 Planta de oxígeno (POX), con capacidad de 550 [ton/h] de 95 % O₂ en volumen.
- 1 Planta de chancado de circulante y carga fría.
- 1 Planta generadora de comprimido (aire de alta y de baja presión).
- 1 Planta de captación, manejo y limpieza de aire (MALIGAS).
- 1 Planta de ácido sulfúrico (PAS).
- 1 Planta de tratamiento de escoria mediante chancado, molienda y flotación (PFE).

Este proceso consiste en dos grandes etapas: Fundición y Electrorrefinería. Para incrementar progresivamente la ley o contenido de cobre del material sometido a fundición, el proceso

piro-metalúrgico considera fases consecutivas de Fusión, Conversión y Refinación. Así se logra que la pureza inicial de 30 % a 40 % contenida inicialmente en el concentrado, se incremente progresivamente hasta 99,5 % en el ánodo. Seguido a la fundición, la última etapa es la electrorrefinación, la cual mediante electrólisis permite refinar el cobre anódico, obteniendo cátodos de cobre de alta pureza (99,99 %), los que son altamente valorados en el mercado del cobre.

El procesamiento del concentrado en la fundición se basa en 6 pasos: recepción y mezcla, secado, fusión, conversión, refinación a fuego y moldeo. Además, durante el año 2014, se reemplazaron los tres Hornos de Limpieza de Escorias por una nueva Planta de Flotación. Las principales razones de este proyecto fueron el aumento de la recuperación metalúrgica del cobre de la Fundición y la eliminación de la emisión de "humos negros" generados por el uso de petróleo como agente reductor.

Por otro lado, desde el 2017 se está llevando a cabo el Proyecto Mejoramiento Integral en la Capacidad de Captación y Procesamiento de Gases en la Fundición Potrerillos. El Proyecto se desarrolla en dos etapas, donde la primera tiene como objetivo fundamental efectuar ciertas modificaciones en la Fundición y Planta de Ácido que garanticen condiciones operativas seguras, hasta la implementación de la Etapa 2 en Diciembre del 2018, en la cual se harán las modificaciones necesarias de modo de cumplir con la nueva normativa de emisiones recientemente publicada.

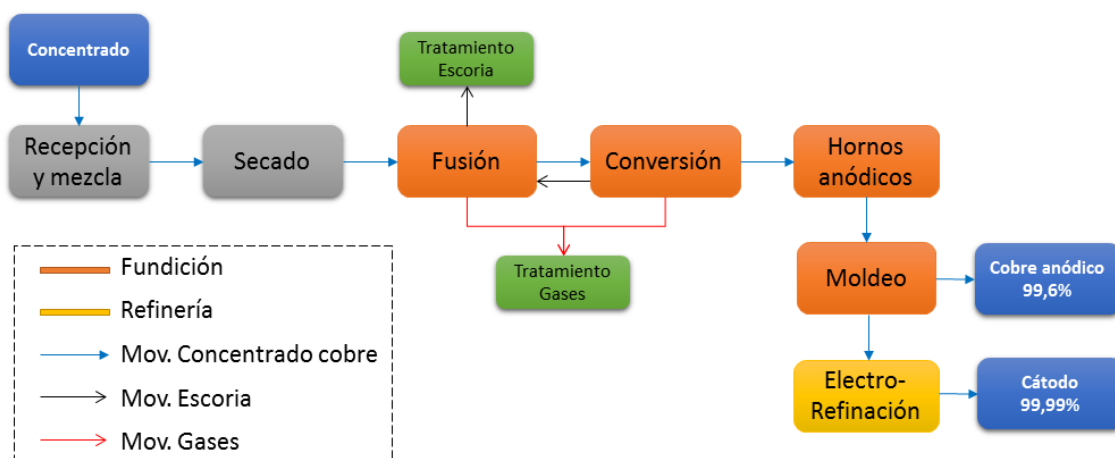


Figura 10: Proceso Productivo FURE.

Fuente: Elaboración propia.

3.2.1. Planta de Recepción y Mezclado de Concentrado

La Planta de Recepción y Mezclado (PRM), es la encargada de recibir los distintos concentrados que llegan con 7 % de humedad, aproximadamente. La primera etapa de esta planta consiste en la recepción del concentrado cargado en camiones siguiendo la siguiente secuencia:

- Garita: Autoriza el ingreso del camión (patente, nombre conductor, origen, carga, etc).
- Báscula: Primer pesaje. Se pesa el camión completo. Se verifica carga. No puede

haber una diferencia mayor a 500 [Kg] con el dato original.

- **Fiscalización:** Revisa físicamente el camión, las guías y papeles que traen de su origen. Autoriza su ingreso si no hay problemas, en caso de no estar en regla la documentación necesaria para el ingreso los camiones deben ser remitidos a su lugar de origen.
- **Muestreo:** Se realiza con un brazo robótico (KUKA). Éste toma 4 muestras aleatorias en 4 puntos del camión para ver el porcentaje de humedad. Si llega un correo especial, se realiza un quinto muestreo para el SAG, el cual además de tomar el porcentaje de humedad, muestrea la ley de cobre proveniente.
- **Descarga a estanques:** Los camiones depositan su carga en estanques asignados previamente para esta tarea.
- **Báscula:** Pesa la tara. Se vuelve a verificar. Esta vez no debe haber una diferencia de 200 [Kg].
- **Despacho.**

La segunda fase de esta planta consiste en el mezclado de estos concentrados.

Línea crítica: Con un cargador frontal se procede a entregar cada concentrado en una correa (R07) mediante la carga de dos tolvinos. Esta carga pasa a una segunda correa (R03) la cual tiene como misión distribuirla con ayuda de un triper en uno de los 7 silos existentes (6 son para concentrado de 350 [Ton] y 1 para sílice 180 [Ton]). Una vez almacenados todos los concentrados, se espera órdenes de descarga según la cantidad de % componentes que necesiten, lo que comúnmente es 25,6 % Cu, 26 % Fe y 32 % S, ya que de esta manera se asegura el buen funcionamiento del CT5. Ya mezclado los distintos concentrados húmedos, pasan a una tercera correa (R04), luego a un vibrador con el fin de obtener una buena mezcla y finalmente pasan por la correa de transferencia tubular a la siguiente etapa, la de secado.

En esta zona existen 3 líneas de circulación: la crítica que es la que lleva el concentrado húmedo, la que transporta sílice o zona fundente (arena proveniente de la garita) que sirve para separar fases en la zona de CT5 y la línea circulante, que es la que tiene la escoria, importante para mezclas y enfriamiento en la zona de CT5.

3.2.2. Planta de Secado de Concentrado

La Planta de Secado consiste en secar el concentrado que será alimentado al CT5, para evitar accidentes por explosión debido a la alimentación de concentrado húmedo.

El concentrado llega a la Planta mediante una correa tubular la cual descarga en el silo húmedo que tiene una capacidad de 315 [Ton], el cual alimenta un flujo de 130 [Ton/h] al Lecho Fluidizado en donde el concentrado es secado mediante el aire caliente y la gravilla que se encuentran a 105°C. Luego mediante el V.T.I el concentrado es transportado 50 % a la cámara deflectora mientras que el resto es derivado a los filtros de manga, para eliminar el resto de agua y así obtener un concentrado de 0,18 % a 0,2 % de humedad. El vapor es eliminado por chimenea.

Después el concentrado es derivado a la tolva de compensación de 25 [Ton] por aerodeslizadores. La tolva tiene 5 etapas; despresurizado, llenado, presurizado, transporte a los

vasos y el remanente es devuelto a la cámara deflectora. Los vasos son los encargados de enviar el concentrado a 2 silos secos que alimentan el CT.

3.2.3. Fusión en el Convertidor Teniente

El objetivo es fundir y concentrar el cobre. El Convertidor Teniente tiene 3 toberas de inyección de concentrado, 4 paños de toberas para picada (inyección de aire), 2 máquinas hidráulicas tipo Gaspé encargadas de destapar las toberas de aire y dos Maquinas taponadoras, una para el orificio de la escoria y la otra para el de la escoria. El CT es un reactor en forma cilíndrica de 5 [m] de diámetro y 22 [m] de largo, en donde el concentrado seco será inyectado al baño fundido en forma sumergida a través de toberas especiales. En el CT los concentrados se funden en forma térmicamente autónoma produciendo Metal Blanco, el cual se extraerá intermitentemente a través de un pasaje de sangría, por grúas-puente a los CPS para dar partida al proceso de conversión a cobre blíster. La escoria también se extrae de forma para su posterior traslado a la zona de enfriamiento de escoria. Además, se adiciona la escoria del CPS para recuperar el cobre que fue arrastrado en el proceso de conversión.

3.2.4. Conversión en los Convertidores Peirce Smith

Para el proceso de conversión se utilizan los siguientes equipos: 3 Convertidores Peirce Smith, máquina punzadora Gaspé y campana de gases. El proceso de conversión en los CPS consiste en el insuflado de aire enriquecido con oxígeno al baño fundido, con alimentación de carga fría para controlar la temperatura. Al insuflar el aire enriquecido se oxida el hierro y el azufre del baño fundido, produciéndose los siguientes flujos de materiales:

- Cobre blíster líquido: 99,26 % Cu. El cual será transportado a los hornos anódicos.
- Escoria semi-líquida: 32 % Cu. Ésta será recirculada al Convertidor Teniente 5.
- Gases con alto contenido de SO_2 y contenido menor de polvo, para ser procesados en MALIGAS y PAS.

3.2.5. Proceso de los Hornos Anódicos

Existen dos hornos anódicos los cuales están encargados de oxidar y reducir el cobre blíster con el objetivo de eliminar el azufre. Cada horno mide 4 [m] de diámetro y 9,1 [m] de largo, con un quemador y 4 líneas de toberas con 10 tuberías cada una. Cada horno debe ser cargado con cobre blíster líquido, el cual será sometido a la etapa de oxidación mediante insuflado de aire por toberas. Posteriormente, el cobre será sometido a la etapa de reducción, mediante el soplado de una mezcla reformado con aire. La escoria producida será recirculada al proceso de fusión como circulante, previo enfriamiento, chancador y manejo.

3.2.6. Rueda de Moldeo

La etapa de moldeo está compuesta por un sistema formado por dos ruedas de moldeo gemelas de 16 moldes cada una, sistema de pesaje automático. Aquí es donde el cobre líquido es transformado a ánodos de cobre.

3.2.7. Electrorrefinación

La electrorrefinación se realiza en celdas electrolíticas, donde se colocan en forma alternada un ánodo (que es una plancha de cobre obtenido de la fundición), y un cátodo, (que es una plancha muy delgada de cobre puro), hasta completar 30 ánodos y 31 cátodos en cada celda.

La electrólisis consiste en hacer pasar una corriente eléctrica por una solución de ácido sulfúrico y agua. Al aplicar una corriente eléctrica, los componentes de la solución se cargan eléctricamente produciéndose una disociación iónica en la que el anión sulfato (SO_4^{-2}) es atraído por el ánodo (+) y el catión (Cu^{2+}) es atraído por el cátodo (-). El anión SO_4^{-2} ataca al ánodo formando sulfato de cobre, el que se ioniza en la solución por efecto de la corriente eléctrica, liberando cobre como catión que migra al cátodo, y se deposita en él. El ion sulfato liberado migra al ánodo y vuelve a formar sulfato de cobre que va a la solución, recomenzando la reacción.

Este proceso es continuo durante 20 días. El día 10, se extraen los cátodos, para luego ser reemplazado por nuevos ánodos y los ánodos se dejan 10 días más y se reemplazan por otros. De esta forma, al final del día 20, nuevamente se extraen los cátodos y se renuevan los ánodos. Una vez terminado el proceso de refinación, cada 10 días los cátodos son sacados de las celdas y se examinan cuidadosamente para asegurar la calidad, descartándose todos aquellos que tengan algún defecto.

Parte del proceso productivo pero no así de la línea principal de producción, se encuentran 2 grandes plantas encargadas de tratar los remanentes producidos junto al cobre: la escoria y los gases. Estos productos se generan en las etapas de fusión y conversión, y como desecharlos no es una opción ambiental ni económica, se decide tratarlos para así también aprovecharlos al máximo reutilizándolos dentro del proceso productivo.

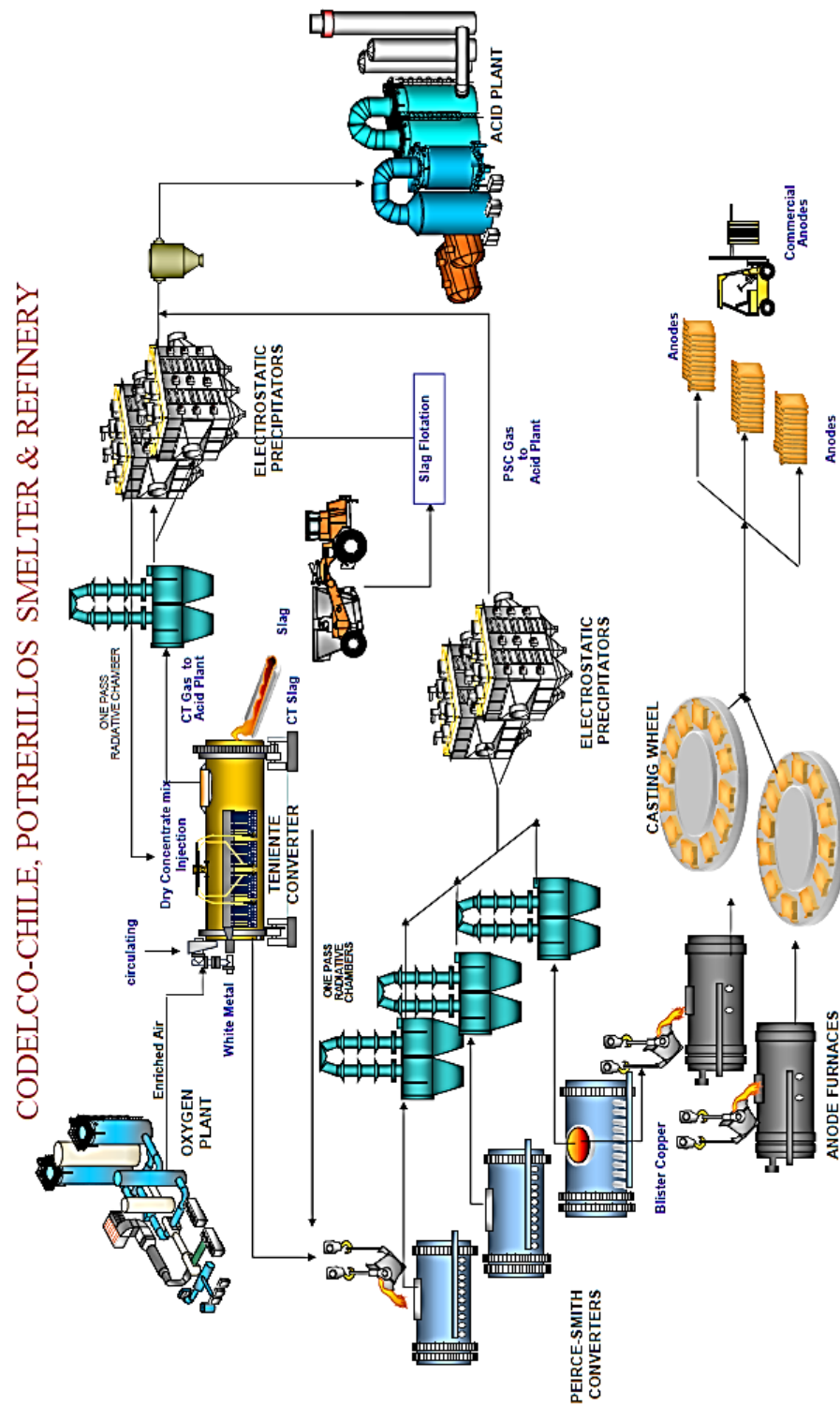


Figura 11: Flowsheet Fundición Potrerillos.

3.2.8. Tratamiento de Gases

Debido a la combinación de características de los gases emanados en las etapas de fusión y conversión, resulta dificultoso el manejo de gases aguas abajo de la boca del horno, por lo que se hace necesario un tratamiento de los gases. De esta manera también, se siguen las normas ambientales, ya que no se deben eliminar al ambiente gases con alto contenido de contaminantes como el SO_2 , material particulado y arsénico.

La planta de gases general se compone de la planta de limpieza y enfriamiento de gases y planta de ácido sulfúrico.

- La primera planta contempla la limpieza y enfriamiento de gases en estado seco (MALIGAS), es decir, los gases recién emanados del CT5 y CPS a más de 1260°C y con alto contenido de SO_2 , material particulado y arsénico. Se sigue con la limpieza y enfriamiento pero con gases tratados a 350°C , por lo que se trabaja con gases “húmedos” (área 100). De esta planta los gases salen con menos concentración de SO_2 y arsénico a 24°C .
- Los gases a bajas temperaturas y limpios pasan a la planta de ácido sulfúrico, donde el objetivo principal es obtener este ácido, para reutilizarlo en los procesos de lixiviación (tratamiento realizado en División Salvador) y a la vez eliminarlo de los gases en proceso. Para obtener este componente, el SO_2 se debe convertir en SO_3 , por lo que los gases pasan por etapas de secado, aumento de temperatura (hasta 630°C), absorción (área 400) y conversión (área 500), para finalmente tener un almacenamiento de ácido sulfúrico (área 600-900) y liberación al ambiente de gases limpios.

3.2.9. Tratamiento de Escoria

La escoria extraída del Convertidor Teniente es tratada en la Planta de Tratamiento de Escoria para poder recuperar la mayor cantidad de Cobre arrastrado y/o atrapado en el proceso de fusión. La escoria es extraída de forma intermitente desde el CT trasladadas por camiones a la zona de enfriamiento.

La Planta de Flotación se puede dividir en las siguientes secciones; Área de Enfriamiento, Área de Trituración y Molienda, Área de Flotación-Filtración, Área de Deposito de Relave.

- El proceso de enfriamiento en parrones consiste en 1 hora de enfriamiento natural y luego son rociadas por agua mediante. La escoria ya chancada es trasladada mediante un cargador frontal a una tolva de alimentación de la planta de escoria.
- La planta de escoria trabaja con un proceso inverso, el cual tiene un cajón de descarga para el molino SAG que se junta con la descarga del molino de bolas, en donde además se adiciona el colector. El concentrado de este cajón es derivado al hidrociclón el cual manda el overflow a la flotación y el underflow al molino de bolas. El concentrado bajo tamaño es llevado a un estanque de acondicionamiento en donde se adiciona el espumante para luego ser derivado a la flotación.
- El proceso de flotación consiste en dos sistemas en paralelo los cuales tiene 2 celdas Rougher y 3 celdas Scavenger. De donde se obtienen 2 flujos de material; Concentrado: 35 % Cu y Relave: 0,57 % Cu. Cada flujo es derivado a su respectivo espesador y luego a sus filtros. El concentrado luego de pasar por el filtro es almacenado en

un silo para luego ser enviado a la PRM, mientras que el relave después del filtro es derivado al depósito de relave.

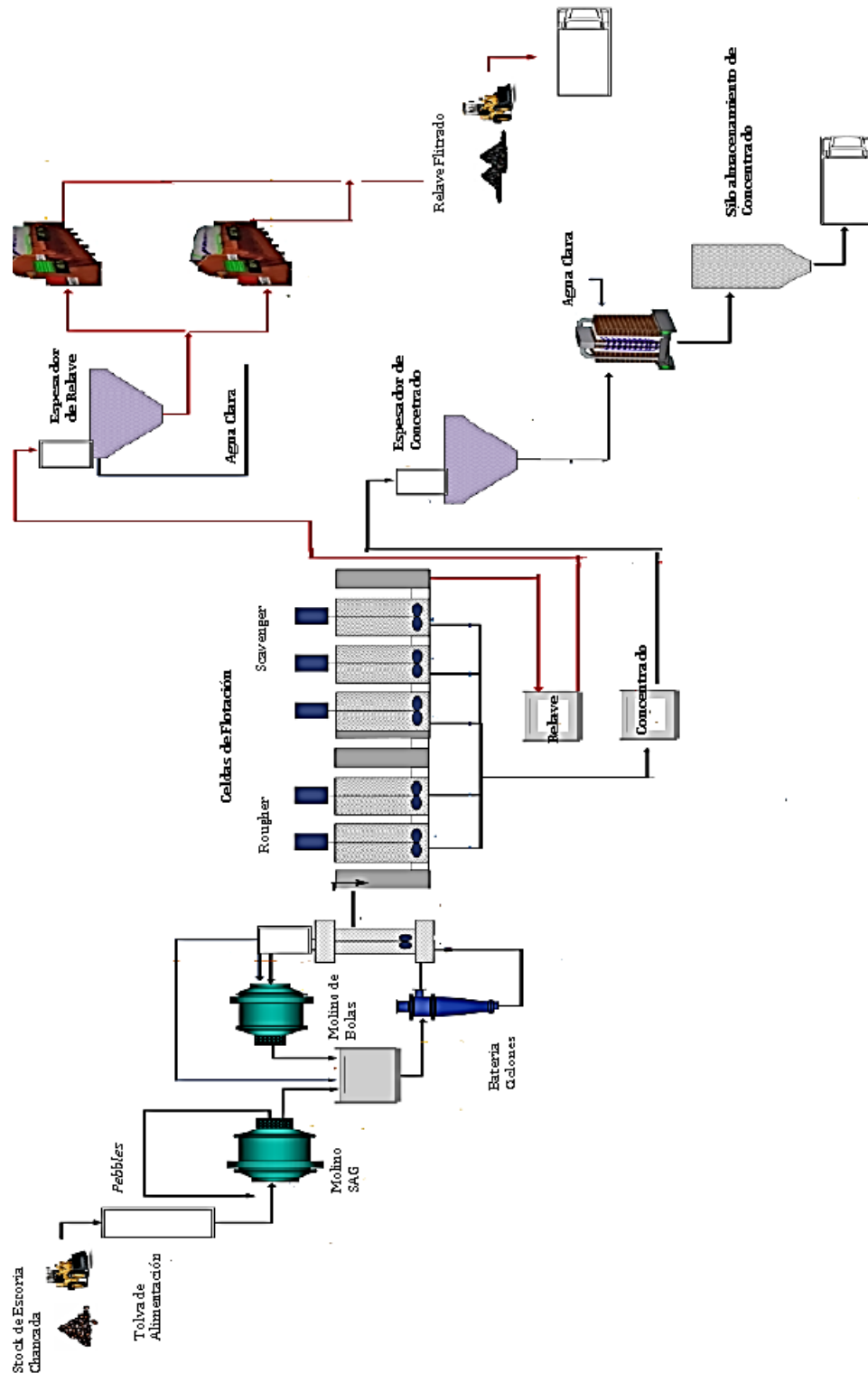


Figura 12: Flowsheet Flotación de Escorias.

4. Importancia de Lubricar

La importancia de la lubricación en la gestión del mantenimiento es alta, sin embargo, muchas veces no se le presta la debida atención. Continuando en el marco contextual, se presentan fundamentos del por qué es necesario darle la importancia que corresponde a la labor de lubricar.

4.1. Fallas de equipos por Lubricación

Los equipos pueden fallar por diversas razones, lo cual implica que pierden su función de diseño o lo que se espera de él. El profesor emérito del MIT Ernest Rabinowicz estima en su libro, *Fricción y Desgaste de los Materiales* [22], que cerca del 70 % de los casos en donde los equipos pierden su utilidad, el desgaste y la corrosión son las causas principales de la degradación de las superficies. A esta pérdida de función, se le atribuyen 3 razones principales [29]: obsolescencia, accidentes y degradación de la superficie. De las tres, la degradación de la superficie de los componentes internos es la causante de la pérdida de la función de las máquinas en la gran mayoría de los casos, lo que se debe principalmente al desgaste corrosivo y al desgaste mecánico.

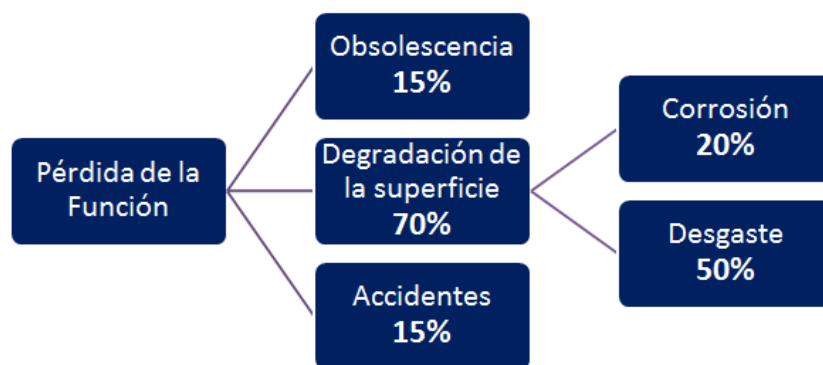


Figura 13: Pérdida de Función de equipos.

Fuente: Noria Latín América (2014).

El desgaste mecánico ocurre cuando las superficies de la máquina se desgastan mecánicamente una sobre la otra, por motivo de fricción. Lo cual indica que la labor de lubricación no está siendo bien empleada.

Y dentro de las fallas (catastróficas y funcionales), entre el 60 % al 80 %, según estudios de Noria Latín América (2014) [25], están relacionadas con la lubricación, independientemente que sean por una mala selección del lubricante, mala aplicación, por contaminación o degradación del lubricante; lo cual confirma la importancia de la lubricación en las plantas y como una buena aplicación de un sistema puede crear grandes oportunidades de ahorro en costos al eliminar no sólo las fallas catastróficas y funcionales que impactan la producción, sino también al extender la vida de muchos componentes lubricados con grasa y aceite a través de lubricación de precisión.

Es difícil precisar una secuencia exacta de eventos que conlleven a la causa raíz principal. Las evidencias de esas causas a menudo son destruidas en el transcurso de la falla o quedan

encubiertas durante la limpieza o reparación y la causa raíz que se presenta con mucha frecuencia es precisamente la falta de lubricación.

A pesar de que la mayoría de la gente conoce este principio y está consciente de la necesidad de abasto adecuado de lubricante, frecuentemente es ignorado porque la mayoría de las formas comunes de falta de lubricante se mantienen ocultas a la vista. Cada vez que el desgaste controlado se sale de control, se pierde una oportunidad de prolongar la vida del componente e incrementar su confiabilidad.

Los antecedentes anteriores, llevan a la premisa de que la falta de lubricación puede acelerar el daño de equipos y el tiempo de inactividad no planificado [28]. Ya que la pérdida de sus funciones puede provocar temperaturas extremas, desgaste acelerado y una mayor acumulación de contaminantes, debido a que la película de fluido ya no es capaz de mantener la separación completa de las superficies en movimiento, lo que conduce a la fricción y un calor excesivo, el desgaste, ruido, vibración y posteriormente incautación de partes mecánicas en movimiento.

Expuesto todo lo anterior, es que se hace énfasis en las labores de lubricación que se deben hacer en todos los procesos industriales donde existan activos en funcionamiento. Pero el problema en la mayoría de los casos no es tan solo de un mal lubricante, sino también de un inadecuado sistema de lubricación, refiriéndose a que en las plantas esta tarea es afectada por el comportamiento de quien lo realiza, siendo relativo a las personas (entendiéndose operadores, técnicos en lubricación, mano de obra calificada, mecánicos, etc.). La razón principal por la cual las máquinas fallan prematuramente es el resultado de lo que la gente hace y no hace. [25]

4.2. Fundamentos de Lubricación

A continuación, se muestra una serie de fundamentos cuantitativos que potencian lo ya descrito en cuanto a la importancia de la Lubricación en la Industria:

- Según una encuesta realizada por Machinery Lubrication en su página Web [26], el 60 % de todos los problemas de una planta pueden atribuirse directamente a "factores humanos", específicamente a la carencia de un procedimiento apropiado (23.78 %), falta de entrenamiento (15.05 %) o al error humano/personal (22.54 %), lo cual, aunque no siempre, se debe típicamente a que se carece de un documentación (procedimiento) o a que no se cuenta con el entrenamiento apropiado.
- Expertos en la industria generalmente concuerdan en que entre el 40 % y el 75 % de todo el desgaste en equipos industriales está relacionado de alguna forma con la lubricación, haciéndola responsable de entre un 25 % y un 50 % de la pérdida de utilidad de los equipos industriales. [20]
- Esta aceptado en la comunidad de lubricación, que al menos el 60 % de todos los fallos mecánicos, son debidos a una inadecuada o falta de prácticas de lubricación. [3]
- Aproximadamente el 36 % de las fallas prematuras de los rodamientos se deben a la lubricación incorrecta, con mucho, poco o un tipo incorrecto de lubricante. Otro 14 % de fallas de los rodamientos se producen debido a la contaminación a través de sellos deficientes o malas prácticas de manipulación de lubricantes. [23]

- Es realmente cierto que la mayoría de los equipos, o están muy lubricados, o les falta lubricación, y en muchas plantas la dirección o no cuenta con esta información. [18]
- Según una encuesta realizada por Machinery Lubrication en su página Web, el 40 % de los profesionales de la lubricación afirman que el entrenamiento de su personal es el factor más importante para la mejora continua de un programa de lubricación [30] y el 81 % han visto los efectos de la falta de lubricante en sus plantas. [28]
- Un estudio de "The british hydromechanics research association" [19] da como resultado, que un sistema extendido de limpieza de lubricación, reduce entre 20 y 80 veces los tiempos de reparación, dependiendo del nivel de limpieza.

4.3. Situación Actual FURE

Parte del análisis contextual, está el evaluar la situación actual de la FURE. Para eso se identificaron los problemas recurrentes en todas las plantas y sus posibles causas. Junto con esta evaluación, se describe también la propuesta de esta memoria con su plan de acción.

4.3.1. Criticidad en el proceso productivo

Se define un proceso crítico al proceso que afecta de forma directa a la satisfacción del cliente y a la eficiencia económica de la organización. Los procesos críticos demandan no sólo mayor atención, sino además requieren un mayor nivel de inversión para asegurarse de que no fallen o incluso para evitar que su criticidad golpee a la operación.

En el caso de la FURE, como se pudo apreciar en el proceso productivo, se cuenta con equipos que manipulan grandes cargas, haciendo que las maniobras de operación se tornen peligrosas debido a las consecuencias que podría generar una falla. Estas consecuencias representan la pérdida en el ámbito de la seguridad, medio ambiente, producción y costos de reparación, lo que afecta directamente a la eficiencia productiva y económica de la organización.

Además de las severas consecuencias que presenta el proceso productivo, es importante destacar las altas frecuencias de fallas que muestran algunos equipos. La causa de esta situación se debe principalmente al desgaste de los activos, tanto en sus componentes como en sus estructuras. Y la razón del desgaste es por la antigüedad de los equipos y plantas; datan en su mayoría de hace más de 30 años, lo que implica la prolongación excedida de vida útil.

4.3.2. Problemas con sistema de lubricación

Área de lubricación: Actualmente no existe una unidad ni plan matriz exclusivo de lubricación. Las labores de mantenimiento en esta área se realizan junto con las mecánicas, como mantenimiento general. Además, tampoco existen procedimientos específicos que indiquen lo que se debe o no hacer ni registros de análisis de falla o información detallada en SAP. Esta falta de procedimientos e información, transmite la idea de que está bien hacer las tareas de cualquier manera, lo cual no es el fin esperado.

Cultura del personal: Como la lubricación está influenciada en gran manera por la ciencia del comportamiento, el fallo de las máquinas en su mayoría se ve afectada por factores humanos. En FURE, la poca costumbre de realizar estas acciones debidamente se ve muy a menudo, situación que afecta directamente a la inexistencia de un plan matriz de lubricación. Esto da la libertad al operador o mantenedor de hacer o no hacer lo que se debe, logrando realizar las escasas indicaciones que tienen algunos planes de mantenimiento mecánico. Este comportamiento también es crítico para el proceso productivo.

Experiencia del personal: Existe personal con mucha experiencia, mostrando habilidades en sus obligaciones, pero con edades avanzadas. El problema está en que los datos y experiencia acumulada por estos trabajadores durante años residen solamente en sus cabezas y no en un documento escrito o en la memoria de una computadora. Esto significa que cuando se vayan, al alcanzar la edad de retiro, la información se perderá hasta que la empresa vuelva a invertir para aprender todo nuevamente (a menudo a un costo más elevado).

Falta de lubricante: Esta es una de las causas dominantes, aunque largamente ignorada, de falla prematura de la maquinaria. El factor que más dificulta a las plantas de la FURE, es la falta lubricantes por parte de abastecimiento. Este es un problema que está más allá de la responsabilidad de abastecimiento y la gerencia; simplemente a Potrerillos no llegan todos los recursos necesarios. Esto trae como consecuencia la necesidad de ingenio para garantizar una buena operación, lo cual no siempre se puede lograr.

4.4. Descripción de propuesta de lubricación

Se plantea la idea de intervenir en el proceso productivo y para eso se tienen dos opciones:

- Reingeniería: Implica un cambio total radical del proceso y es aconsejable contar con la participación de expertos en el tema.
- Mejora continua: Optimiza los procesos existentes con continuidad en el tiempo y no se necesitan especialistas para intervenir.

Una primera solución podría darse con reingeniería, lo que implicaría la compra de activos nuevos; sin embargo, y debido a los bajos recursos con los que cuenta la FURE, la mejor alternativa a la que se puede optar es a la mejora continua mediante labores de mantenimiento. Y dado todos los antecedentes recabados con anterioridad, se decide profundizar el estado del mantenimiento de los equipos mediante la incorporación de planes exclusivos de lubricación.

Esta solución conlleva la creación de planes de mantenimientos de lubricación, en primera instancia para los equipos críticos de la FURE, a modo de disminuir la criticidad del proceso productivo. Con esta primera etapa se crea un Plan Matriz de lubricación, el cual debe quedar plasmado en el sistema SAP, pero para poder llevar a cabo estas labores de mantenimiento, es necesario contar con una unidad o equipo especializado en el tema, dándole así la importancia que requiere el área de lubricación. El desarrollo de la unidad toma en cuenta la carga laboral que se necesita una vez creado el plan matriz, proyectando así un organigrama.

La implicancia de esa solución, establece la separación de la lubricación de las labores de mantenimiento mecánico general.

La solución al proceso crítico de la FURE, se debe presentar como una propuesta a la Gerencia, siendo el primer paso a la mejora continua de lubricación en el área de mantenimiento.

4.4.1. Metodología para elaboración de Planes de Mtto.

Para lograr crear un plan matriz de lubricación, es necesario considerar una metodología para desarrollar planes de mantenimiento. Existen diferentes modos de elaborarlos, considerando factores de alcance de información particular para cada planta y/o equipo que requiera de mantenimiento:

- Modo 1: Recopilando instrucciones de los fabricantes de los diferentes equipos que componen la planta, logrando agruparlos en gamas de mantenimiento.
- Modo 2: Basado en protocolos de mantenimiento, agrupando equipos por tipos y a cada tipo le corresponde la realización de una serie de tareas con independencia del fabricante.
- Modo 3: Análisis de falla que se realiza con el fin de evitar las fallas futuras. Es un análisis completo y eficaz.

Los modos 1 y 2 son los modos que más adoptan los operarios y mantenedores en las industrias. El modo 3 resulta ser el más completo, sin embargo, no es un modo cómodo de realizar para ellos. Es por esto, que este trabajo de generación de un plan matriz de lubricación es el primer paso a realizar como etapa preliminar en el área de lubricación, basado en los modos 1 y 2, donde se complementará información (equipos, OEM, situación actual, etc) con la experiencia de los propios mantenedores. Posteriormente, una vez implementado este plan matriz, se recomienda a la gerencia continuar con una segunda etapa que considere el modo 3.

4.4.2. Plan de acción

Se establece un plan de acción para el desarrollo de la propuesta, el cual contempla el levantamiento de información, su análisis y estrategias de lubricación para alcanzar el objetivo de esta memoria, en cuanto a la creación de una Unidad de Lubricación y generación del Plan Matriz.



Figura 14: Plan de Acción.
Fuente: Elaboración propia.

Junto a este plan de acción, se desarrolló la programación de las acciones y asignación de tiempos para realizar el plan desde el inicio de la memoria hasta el cumplimiento de los objetivos. En total, se cuenta con 20 semanas, las cuales, se distribuyeron de la siguiente manera:

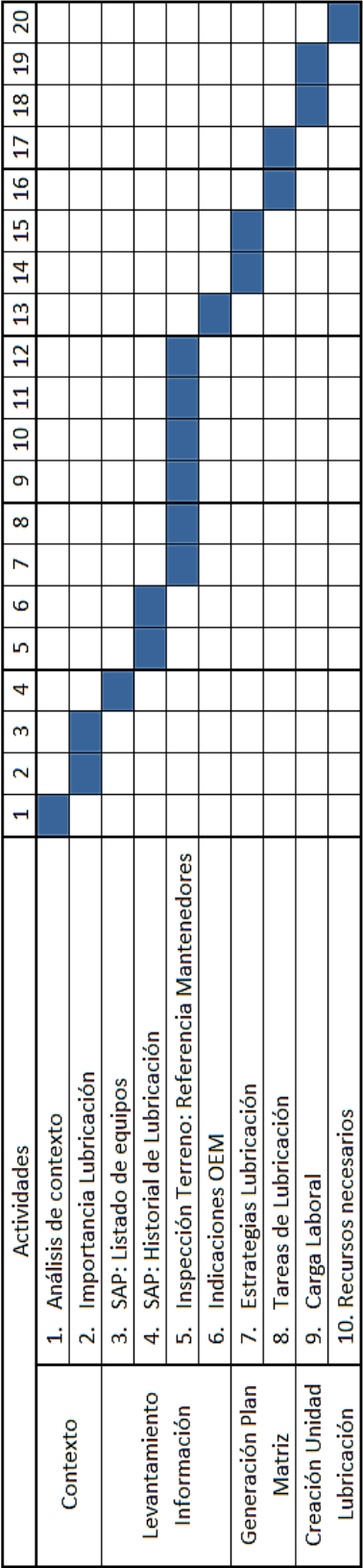


Figura 15: Carta Gantt.
Fuente: Elaboración propia.

5. Levantamiento y Análisis de Información

Para la generación de un plan matriz de lubricación, se debe iniciar el levantamiento de información. Como se mostró en el detalle de la solución propuesta, para la elaboración de planes de lubricación se necesita un listado de equipos a los cuales se le realizará las labores de lubricación. El listado de equipos contempla a los más críticos en el proceso productivo y su análisis basado en historiales de lubricación (o en su defecto, el estado actual). Esta información fue obtenida desde el Sistema SAP, módulo PM, en el cual se encuentra toda la información referida al mantenimiento aplicado en la FURE.

El levantamiento de información también abarca los siguientes datos obtenidos en terreno: inspección presencial de los equipos, recolección de conocimientos, experiencia de los mantenedores y manuales de fabricantes de los equipos.

5.1. Listado de Equipos

La determinación de los equipos críticos de la FURE, fue realizada mediante una metodología de análisis de criticidad, elaborada por el sistema de gestión de la División Salvador (2016) [8], la cual se muestra antes del listado de equipos críticos para un mejor entendimiento de la información.

5.1.1. Metodología de criticidad de equipos

Se entiende por criticidad a lo siguiente: **Criticidad = Frecuencia x Consecuencia**

Para la realización del análisis de criticidad se establecieron los siguientes criterios fundamentales: seguridad, medio ambiente, producción y costos de reparación.

- Frecuencia de Falla

La evaluación de la probabilidad de ocurrencia de los riesgos identificados se realizó mediante una escala relativa, la cual representa la probabilidad estimada de ocurrencia del evento, o en caso de tener antecedentes, en base a la frecuencia de ocurrencia del mismo. La escala se presenta a continuación.

Tabla 1: Cuantificación Frecuencia de Falla.

Fuente: Evaluación del Nivel de Criticidad de un Activo (2016).

Frecuencia 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 cada seis meses	3
Ocurren fallas una vez al año	2
Ocurren fallas cada 10 años	1

- Consecuencia Es la cuantificación de la magnitud de pérdida en ámbito de Seguridad, Medio Ambiente, Producción y Costos de Reparación, que registra la Compañía producto de la ocurrencia de un evento.

Para obtener la magnitud de la consecuencia se evaluó el evento para cada una de los ámbitos descritos según la siguiente tabla:

Tabla 2: Cuantificación Consecuencias de Fallas.
Fuente: *Evaluación del Nivel de Criticidad de un Activo (2016)*.

Seguridad	Medio Ambien- te	Producción	Costos Repara- ción
40- Riesgo de accidente con fatalidades múltiples	40- Riesgo de daño medioambiental severo y de largo plazo	12- Pérdida de producción equivalente mayor a 1 día (46.500 ton)	10- >500KUSD
38- Riesgo de accidente con una fatalidad	32- Riesgo de daño medioambiental de largo plazo	8- Pérdida de producción equivalente entre 12 horas y 1 día (≥ 22.800 ton - ≤ 46.500 ton)	8- >100KUSD - <500KUSD
30- Riesgo de accidente con discapacidad permanente	28- Riesgo de daño medioambiental de corto plazo	4- Pérdida de producción equivalente entre 2 y 12 horas (≥ 3.875 ton - ≤ 22.800 ton)	5- >50KUSD - <100KUSD
12- Riesgo de accidente con tiempo perdido	10- Riesgo de daño medioambiental menor	2- Pérdida de producción equivalente hasta 2 horas (≥ 3.875 ton)	2- >10KUSD - <50KUSD
0- Sin riesgo para las personas	0- Sin daño al medio ambiente	0- Sin pérdida de producción	1- <10KUSD

- Evaluación de Consecuencia

Una vez obtenido el valor de la consecuencia del evento para cada uno de los ámbitos evaluados, se sumaron los resultados para obtener el valor de consecuencia total (C_{total}):

$$C_{total} = C_{seguridad} + C_{m.ambiente} + C_{produccion} + C_{costoreparacion}$$

De acuerdo al valor de consecuencia total, se obtiene el Indicador de Consecuencia de la Falla, desde la siguiente tabla:

Tabla 3: Evaluación de consecuencias.

Fuente: Evaluación del Nivel de Criticidad de un Activo (2016).

Puntaje en evaluación de consecuencia	Indicador de consecuencia
Consecuencia total ≥ 38	6
Consecuencia total ≥ 28 y < 38	5
Consecuencia total ≥ 20 y < 28	4
Consecuencia ≥ 10 y < 20	3
Consecuencia total ≥ 4 y > 10	2
Consecuencia total ≤ 4	1

- **Riesgo** El riesgo inherente asociado a la falla de una planta o equipo es determinado por medio de la consideración de las consecuencias y la probabilidad de ocurrencia de una falla cuando no existen controles en vigencia con respecto a la confiabilidad y a la protección. El Riesgo es probabilidad por consecuencia, lo que traducido a nuestros indicadores es:

$$\text{RIESGO} = \text{INDICADOR CONSECUCENCIA} \times \text{INDICADOR FRECUENCIA}$$

Con este valor, se accede a la tabla de criticidad, o matriz de riesgos siguiente:

Tabla 4: Matriz de Riesgo.

Fuente: Evaluación del Nivel de Criticidad de un Activo (2016).

- **Criticidad** Una vez que determinado el valor del riesgo en la falla de los equipos, estos se clasifican de acuerdo a su nivel de criticidad.

Tabla 5: Nivel de Criticidad.

Fuente: Evaluación del Nivel de Criticidad de un Activo (2016).

Riesgo	Nivel de Criticidad
12 – 36	1
5 – 11	2
1 – 4	3

5.1.2. Equipos críticos

A partir de lo anterior, se considerarán críticos los equipos que presenten criticidad 1 y 2. A continuación, se muestra el listado de equipos críticos actuales pertenecientes a sus respectivas áreas y obtenidos a partir de la metodología ya descrita, los cuales no necesariamente estos tengan o necesiten de un sistema de lubricación:

Tabla 6: Equipos Críticos, FURE.

Fuente: Elaboración propia en base a información en SAP.

Área	Equipo	Criticidad
Convertidor Teniente CT5	Compuerta	1
	Sistema Soplado	1
	Sistema Inyección Concentrado	1
	Gur-gun Sistema de Carguío	1
	Válv. y Líneas Sistema Inyección Aire	1
	Máq. Taponeadora Sangría M/Blanco	1
Planta Enfriamiento de Gases CT5	Campana Convertidor Primario	1
	Cámara de polvo	1
	Torre de Enfriamiento Evaporativa	1
	Sistema agua de enfriamiento	1
	Precipitador Electrostático Línea de Flujo	1
Planta de Acido Sulfúrico	Soplador C 400A	1
	Variador de Frecuencia Soplador C 400A	1
	Soplador C 400B	1
	Variador de Frecuencia Soplador C 400B	1
	Precalentador F570	1
	Duchas de Emergencia	1
Planta de Secado Fluosólido	Correa Pesométrica	1
	Quemador	1
	Ventilador Aire Combustión	1
	Ventilador Fluidización	1
	Ventilador Descarga	1
PRM	Báscula de camiones	1
	Báscula Pesaje de Concentrados	1
	Correa 003 - COR - 001	1
	Correa Transporte Tubular	1
Casa Compresora Potrerillos	Turbocompresor 2	1
	Turbocompresor 7	1
Planta de Tratamiento de Escoria	Chute de descarga alimentador de placa	1
	Molino de Bolas	1
	Molino SAG	1
	Cajón alimentación molino de bolas	1
	Chute móvil de alimentación Molino SAG	1
	Chute descarga Molino SAG	1
	Bombas cajón descarga Molinos	1
	Filtro prensa Concentrado	1
	Filtro Cerámico #1	2
	Filtro Cerámico #2	2
Refinería	Máq. Lavadora de cátodos (M.L.C.)	2
	Máq. Prep. Hojas de Partida (M.P.H.P.)	2

5.2. Historial de Lubricación

Los equipos críticos obtenidos tienen ubicaciones técnicas en el sistema SAP, por lo que para revisar información respecto a planes de mantenimiento actuales y antiguos se debe ingresar a cada uno. Por lo tanto, lo primero que se realizó fue detectar los planes e inspecciones de mantenimiento activos, en cuanto al tipo de mantenimiento y frecuencia con el que se realiza. Luego, se verificó si estas labores estaban descritas y detalladas en el sistema (hojas de rutas). Finalmente, a cada plan descrito se le realizó una búsqueda de comentarios de lubricación o algún antecedente que indique que se realiza esta labor.

Los resultados obtenidos en esta etapa se pueden apreciar en el apartado de anexos, en la Tabla 19.

Además, a las frecuencias se les asignaron las siguientes siglas:

D:	Diaria	S*:	Semestral
S:	Semanal	BA:	Bianual
B:	Bimensual	A:	Anual
M:	Mensual	C6S:	Cada 6 semanas
T:	Trimestral		

5.3. Inspección en Terreno

Las salidas a terreno consistieron en la observación visual de los equipos críticos, es decir, ver si tienen sistema de lubricación, si la necesitan, cómo son las condiciones de los equipos y verificar los factores externos presentes en los procesos de cada uno (temperatura, presión, polución, etc).

5.3.1. Equipos que necesitan lubricación

Los equipos que necesitan un plan de lubricación, fueron confirmados por los encargados del mantenimiento. Por lo tanto, a partir del listado de equipos críticos inicial, se obtiene un nuevo listado de equipos:

Tabla 7: Equipos con necesidad de sistema de lubricación.
Fuente: *Elaboración propia en base a información en SAP.*

Área	Equipo Crítico
PRM	Correa 003 - COR - 001
	Correa Transporte Tubular
PSF	Correa Pesométrica
	Ventilador Aire Combustión
	Ventilador Fluidización
	Ventilador Descarga
CT5	Máq. Taponeadora Sangría M/Blanco
	CT5
MALIGAS	Campana Convertidor Primario
	Cámara de polvo
	Torre de Enfriamiento Evaporativa
	Precipitador Electrostático Línea de Flujo
PAS	Soplador C 400 A
	Soplador C 400 B
Casa Compresora	Turbocompresor 2
	Turbocompresor 7
PFE	Molino de Bola
	Molino SAG
	Cajón Alimentación Molino de Bolas
	Chute Móvil Alimentación Molino SAG
	Bombas Cajón Descarga Molinos
	Filtro Prensa Concentrado
	Filtro Cerámico #1
	Filtro Cerámico #2
Refinería	Máquina Lavadora de Cátodos (M.L.C.)
	Máquina Prep. Hojas de Partida (M.P.H.P.)

5.3.2. Preguntas a Mantenedores

Parte de la mejora continua consiste en conocer la experiencia de los mantenedores de los equipos, tanto de los que realizan la acción como de los encargados del área. Esto es importante, ya ellos conocen bien sus máquinas y son capaces de detectar las necesidades que puedan surgir. La información recopilada en SAP se debe complementar con estas experiencias, comprendiendo al máximo el contexto operacional de los equipos.

A continuación se muestran una serie de preguntas, las cuales fueron realizadas a los mantenedores y van enfocadas a los equipos críticos y sus componentes:

Sistema de lubricación

- Aplicación: automático o manual
- Tipo de lubricación: Grasa o aceite
- Marca del lubricante
- ¿El equipo cuenta con catálogo del fabricante?
- Instrumentos y herramientas que utilizan para lubricar.

Puntos de lubricación

- ¿Están demarcados?
- ¿Están en buenas condiciones? Si no, cual es el problema

Fallas históricas

- Causas
- Consecuencias
- Solución

Procedimientos de lubricación

- Documentos que utilicen: general, seguridad, otro
- Frecuencias y ejecución de lubricación

Proceso de lubricación

- ¿Se realiza la lubricación como corresponde?
- ¿La máquina debe estar detenida o funcionando?
- ¿Se realizan análisis de aceite como post-mantenimiento?

Otros

- Condiciones ambientales y factores externos presentes
- Particularidad de la máquina y componentes
- Opiniones, comentarios

5.3.3. Observaciones

Utilizando las preguntas a mantenedores y la información obtenida en SAP se realizó la inspección a terreno en todas las plantas con equipos críticos. Lo que se obtuvo en esta etapa fue principalmente el entendimiento del contexto real del proceso productivo, especialmente en el área de lubricación.

Planta de recepción y mezclado de concentrado:

De manera general, se pudo observar que la lubricación de algunos equipos presentaban sistemas manuales, y otros un sistema dosificado de lubricación mediante unidades desechables. Estos sistemas son aplicados en equipos presentes en líneas no críticas. Para el caso de la línea crítica, hay varios equipos con sistema de lubricación, principalmente correas, dentro de las cuales las más críticas son la correa R03 en la zona de mezclado y la correa tubular que lleva el concentrado mezclado y húmedo a la planta de secado fluosólido. Estos equipos ocupan sistema automático de lubricación por grasa en sus sistemas de rodado y transmisión (rodamiento y reductores) que están programados para realizar su función cada 3 meses. Este sistema lleva un año implementado y las indicaciones de lubricación se realizan según lo plasmado en SAP, a partir del manual de fabricantes de rodamientos SKF. El beneficio de este tipo de lubricación es que al ser automático, la presión es positiva y la grasa nunca se contamina, problema principal que hay en esta planta debido a la polución. Las condiciones de trabajo son a baja velocidad pero con grandes esfuerzo.



(a) Correa 003 - COR - 001.



(b) Correa transporte tubular.

Figura 16: Equipos críticos Planta Mezclado de concentrado.

Planta de Secado Fluosólido:

La planta completa trabaja con un 80 % de sistema neumático (mediante aire para recircular el concentrado seco). Y de los equipos críticos que necesitan lubricación se encuentra la correa pesométrica y todos los ventiladores. La correa ocupa exactamente el mismo sistema que las correas críticas de la PRM. En cuanto a los ventiladores, estos equipos son muy peculiares debido al gran tamaño que tienen y las condiciones de trabajo: grandes velocidades lo cual genera elevadas temperaturas y cambios bruscos de esta, por lo que va cambiando las propiedades de su lubricante. La lubricación se hace de manera manual, con grasa y con los ventiladores detenidos. En el lado motriz y libre se desmontan y lavan los rodamientos, se ingresa la grasa (diferente cantidad para cada lado), la cual se va

distribuyendo de manera constante. Los ventiladores cuentan con manuales de fabricantes en el taller. Demoran en lubricar 2 horas por rodamientos y la labor es realizada por dos operadores. Esta es la tarea más importante dentro del mantenimiento mecánico y a la que le dan mayor prioridad. No hay contaminación en la grasa, debido a que el sistema de lubricación es cerrado.



(a) Correa pesométrica.



(b) Ventilador descarga 08-VEN-040.

Figura 17: Equipos críticos Planta Secado Fluosólido.

Convertidor Teniente 5:

Este equipo completo representa un sistema crítico, debido a todos los factores extremos al cual es sometido. Dentro de sus componentes y subsistemas, tanto la máquina taponeadora de sangría de metal blanco como la compuerta del CT5 son equipos críticos que deben contar con sistema de lubricación. Actualmente, no hay información de lubricación en SAP, ya que recién se están creando pautas o guías. Para este trabajo solo se considerará la taponeadora, polines y bogiflex del CT5, ya que la compuerta es un elemento del cual no se tienen parámetros de operación ni mantenimiento, por lo que aún es un tema que requiere implementar un sistema de mantenimiento. En general, no se cuenta con información relevante de lubricación a realizar en toda la planta de fusión, ya que es estimada y depende de los encargados de mantención cuando realizan inspección. El factor más crítico a considerar es la temperatura extrema, la cual evidentemente daña las estructuras y elementos presentes al contacto y al ambiente. Particularmente en el sistema de lubricación de polines, el cual se hace con graseras automáticas programadas, estas no suelen durar mucho, ya que la temperatura hace que los resortes de las graseras se agripen, disminuyendo la vida útil.



(a) Brazo extensible de máquina taponeadora.

(b) Polines radiales y axiales del CT5.

Figura 18: Equipos críticos CT5.

Tratamiento de Gases

La planta de manejo y limpieza de gases se encuentra actualmente en desarrollo, entrando a la segunda parte del “Proyecto Mejoramiento Integral Capacidad de Captación y procesamiento de Gases en Fundición Potrerillos”. La etapa 1 contempló a los gases de salida del CT5 y la etapa 2 lo hará para los gases de salida de los CPS. Al ser un proyecto nuevo, la ingeniería básica y de diseño está documentada y detallada, por lo que se recurrió a obtener toda la información a partir del manual “Potrerillos Pre Training”. Particularmente, del “listado de lubricantes para la etapa 1” se pudo ver todo en detalle de frecuencias, sin embargo, tras la conversación con el encargado, indicó que eso no sigue en el plan matriz actual, y que aún está en modificaciones. Es por eso que la información no está en SAP. Se pudo observar, que el factor externo que repercute en la planta es la alta temperatura, ya que el rango en el cual están inmersos los equipos está entre 300°C – 1200°C . En esta sección del tratamiento de gases es donde se precipitan los polvos de mayor tamaño, los cuales saldrán en primera instancia por la cámara de polvo y posteriormente por el precipitador electrostático seco. Dependiendo de la torre de enfriamiento evaporativa podría formarse depósitos de residuos de agua, que en conjunto con el SO_3 que ingresa en los gases podrían formar neblina ácida y corroer los equipos.



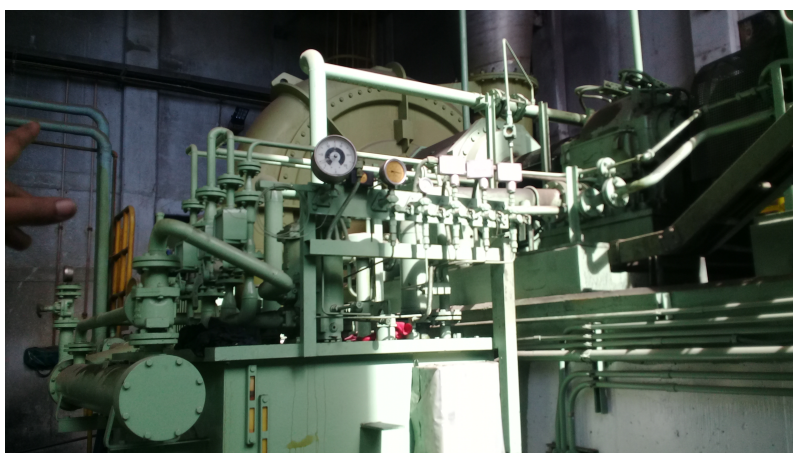
(a) Campana CT5.

(b) Precipitador Electrostático.

Figura 19: Equipos MALIGAS.

Planta de Ácido Sulfúrico:

La planta de ácido tiene muchos equipos en su proceso, sin embargo, solo los sopladores resultan ser equipos críticos con sistema de lubricación, los cuales cumplen la función de transportar el gas proveniente de la planta de enfriamiento de gases por toda la planta de ácido sulfúrico. El sistema actual que tienen consiste en lubricar los descansos automáticamente y los sellos de manera manual. El mantenimiento se hace con una frecuencia determinada y siempre se revisan los niveles de aceites, para casos más puntuales se asesoran con un especialista de Brasil quien les da pautas de lubricación. Este tema es importante para estos equipos pero se debe mejorar, ya que la mayor falla fue provocada por problemas de lubricación, y la consecuencia fue la compra de un nuevo descanso.



Sistema hidráulico Soplador C 400 A.

Figura 20: Equipos críticos Planta Ácido Sulfúrico.

Tratamiento de Escoria:

Solo se encontraron equipos críticos a lubricar en la zona 3200 de Molienda y 3500 de Filtrado. Esta planta es una de las más avanzadas en cuanto a sistemas de lubricación. Desde que se instauró en el 2014, han ido mejorando su sistema y actualmente la mayoría de los equipos cuentan con lubricación automática programada y unidades hidráulicas. Solo en la zona 3200 se puede encontrar aun algunas bombas con lubricación manual. Una de las particularidades de esta planta, es que en toda el área hay mucha polución debido al tratamiento que le dan a la escoria para transformarla en concentrado.

En la zona de molienda, los molinos SAG y de bolas son críticos, si uno de los dos falla, el proceso de molienda se detiene en su totalidad, por lo tanto, las consecuencias son severas. La falla más importante que han presenciado ha sido con el molino SAG y precisamente fue debido a la lubricación. En la zona de filtrado, toda la lubricación está programada de manera automática.



(a) Molino SAG.

(b) Molino de Bolas.

Figura 21: Equipos críticos Planta tratamiento de Escoria.

Casa Compresora:

La casa compresora es el área de suministros donde se desarrolla la generación de aire de alta y baja presión, abasteciendo a toda la FURE de aire servicio, instrumentación, control de presión para los CPS y control de flujo para e CT5. Es un lugar con mucho riesgo acústico, llegando a niveles de 146 dB; también la contaminación es importante, debido a la nube ácida que cae a ciertas horas por el área. Los equipos que funcionan en esta planta son turbocompresores (alta presión), turbosopladores (baja presión), bombas y unidades secadoras. Dentro de estos, los equipos críticos a lubricar son el turbocompresor 2 y 7, los cuales proveen aire a los hornos de ánodos, para inyección y para el accionamiento de válvulas en el MALIGAS. Respecto al proceso de lubricación, este se realiza siguiendo un poco las instrucciones de fabricante y con la experiencia que han tenido. El sistema de lubricación para estos equipos es forzada, es decir, que a partir de una bomba mecánica se inicia la lubricación principal, esencialmente al descanso de los motores. Cabe destacar que estos son muy antiguos, por lo que la lubricación debe ser constante. Lo más importante de esta planta, es que no hay registros ni información alguna en el sistema SAP, ni procedimientos claros de operación.



(a) Turbocompresor 2.

(b) Turbocompresor 7.

Figura 22: Equipos críticos Casa Compresora.

Refinería

Esta es una de las plantas más importante ya que de aquí sale el producto final: cátodos de cobre. Como se vio en el proceso productivo, es una zona donde la presencia de ácido en el aire es invariable, lo que afecta sobre todo en cables de sujeciones grúas. Los equipos críticos encontrados son: la máquina preparadora de hojas de partida (M.P.H.P. o M.P.C.I.) y la máquina lavadora de cátodos (M.L.C.), ambas con criticidad media. La M.P.H.P. funciona continuamente con 4 operadores activos. Como equipo representa un proceso crítico y riesgoso, por lo que se debe estar trabajando siempre en estado de alerta. Junto con la lavadora de cátodos, la M.P.C.I. necesitan mantención constantemente, ya que debido a su antigüedad e inexistencia de repuestos sus frecuencias de fallas son altas. En la máquina lavadora de cátodos, falta lubricación pillowblock, unidad hidráulica y cadenas. Esta información no está en el plan matriz en SAP.



(a) Máquina preparadora de hojas de partida.



(b) Máquina lavadora de cátodos.

Figura 23: Equipos críticos Refinería.

5.4. Indicaciones OEM

Parte fundamental del levantamiento de información es analizar las instrucciones de los fabricantes originales de los equipos. Estos documentos debiesen estar presentes en todas las áreas, sin embargo, en el caso de las plantas de la FURE no fue posible conseguirlos en su totalidad. Es por esto que para la búsqueda de estas instrucciones, se solicitó las especificaciones de todos los equipos críticos a lubricar, para finalmente revisar las indicaciones referentes a la lubricación específica de cada equipo.

5.4.1. Especificaciones equipos críticos

A continuación, se presenta una tabla con las especificaciones básicas que se pudo obtener de cada equipo crítico a lubricar:

Tabla 8: Especificaciones de Equipos.

Fuente: Elaboración propia..

Área	Equipo Crítico	Marca	Modelo	Capacidad	Potencia [kW]
PRM	Correa 003-COR-001	-	-	200 [t/h]	26,25
	Correa Transporte Tubular	-	-	200 [t/h]	-
PSF	Correa Pesométrica	-	-	120 [t/h]	-
	Ventilador Aire Combustión	TLT CO-VENT	CPB 6 S 5425	83.3 [tph]	93,212
	Ventilador Fluidización	TLT CO-VENT	A 20 S 9200	83.3 [tph]	-
	Ventilador Descarga	TLT CO-VENT	-	83.3 [tph]	-
CT5	Máq. Taponeadora Sangría M/Blanco	-	-	-	-
MALIGAS	Campana Convertidor Primario	Outotek	2331-HD-3101	122000 [Nm ³ /h]	-
	Cámara de polvo	Outotek	-	135000 [Nm ³ /h]	-
	Torre de Enfriamiento Evaporativa	Outotek	-	121000 [Nm ³ /h]	-
	Precipitador Electrostático Línea de Flujo	FLSmidth	-	-	-
PAS	Soplador C 400 A	-	-	-	3500
	Soplador C 400 B	-	-	-	3500
Casa Compresora	Turbo Compresor 2	Elliot	700 DA 3	5000 [S.C.F.M]	s/inf
	Turbo Compresor 7	Elliot	700 DA 3	5000 [S.C.F.M]	s/inf
PEF	Molino de Bolas	-	-	-	2500
	Molino SAG	-	-	-	1200
	Cajón Alimentación Molino de Bolas	-	-	-	-
	Chute Móvil Alimentación Molino SAG	-	-	-	-
	Bombas Cajón Descarga Molinos	-	-	-	-
	Filtro Prensa Concentrado	-	-	-	-
	Filtro Cerámico #1	-	-	-	-
	Filtro Cerámico #2	-	-	-	-
Refinería	Máquina Lavadora de Cátodos (M.L.C.)	Flender-Himmel	2190/01	600-650 [cat/h]	4
	Máquina Prep. Hojas de Partida (M.P.H.P.)	-	-	-	-

Como puede apreciarse, la falta de información de lo propios equipos es un factor recurrente en la mayoría de las plantas de la FURE. Son diversos los argumentos del porqué no se cuenta con esta información, como por ejemplo la antigüedad de los activos, pero como en esta memoria esta información es primordial, se complementó lo faltante con las observaciones de los mantenedores y jefes de áreas, a partir del conocimiento de sus equipos.

5.4.2. Indicaciones de lubricación

La falta de información técnica de los equipos afecta al análisis de lubricación según el fabricante original. En general es complicado encontrar estas indicaciones ya que la mayoría de las máquinas son antiguas, en otras situaciones se modifican los antecedentes de lubricación quedando obsoleta las instrucciones OEM o simplemente éstas no se llevan a cabo.

Se obtuvo información de los siguientes equipos críticos:

- Bigiflex, CT5.
- Cámara de polvo, MALIGAS
- Torre de enfriamiento, MALIGAS
- Precipitador electrostático, MALIGAS
- Turbocompresores 2 y 7, Casa Compresora
- Máquina lavadora de cátodos, Refinería

5.5. Análisis de información SAP

A continuación, se presenta una tabla con el resumen de información obtenida en SAP en cuanto a equipos y sus planes de mantenimiento:

Tabla 9: Resultados información obtenida en SAP.
Fuente: *Elaboración propia en base a información en SAP.*

Equipos críticos		Equipos a lubricar	
Equipos	40	Equipos	26
Equipos con planes de Mtto. Mecánico	34	Equipos con referencias de Lubricación	21
Planes de Mantenimiento Mecánico	69	Planes de Mantenimiento Mecánico	58
Hojas de Ruta	60	Hojas de ruta con lubricación	36

Se contrastó lo obtenido en terreno con la información en SAP. Se analizó que tan completa era la planificación y descripción de tareas de lubricación y cómo ésta se aplicaba en la práctica. Los resultados se pueden observar en la siguiente tabla:

Tabla 10: Antecedentes lubricación.

Fuente: Elaboración propia.

Área	Equipos	SAP	Terreno
PRM	Correa 003 - COR - 001		Se aplica, se puede mejorar
	Correa Tubular		Se aplica, se puede mejorar
PSF	Correa Pesométrica		Se aplica, se puede mejorar
	Ventilador Aire Combustión		Se aplica
	Ventilador Fluidización		Se aplica
	Ventilador Descarga		Se aplica
CT5	Máq. Taponeadora M/Blanco		Lubricación estimativa
MALIGAS	Campana CT5		Realizan más acciones
	Cámara Polvo		Realizan más acciones
	Torre Enfriamiento		Realizan más acciones
	Precipitador Electrostático		Realizan más acciones
PAS	Sopladores C 400 A/B		Se aplica
Casa Compresora	Turbocompresor 2 y 7		Realizan acciones
PFE	Molino Bolas		Se aplica + Mejora Continua
	Molino SAG		Se aplica + Mejora Continua
	Cajón Ali. Molino Bolas		Se aplica + Mejora Continua
	Chute Móvil Ali. Molino SAG		Se aplica + Mejora Continua
	Bombas Cajón Descarga Molinos		Se aplica + Mejora Continua
	Filtro Prensa Concentrado		Se aplica + Mejora Continua
	Filtro Cerámico 1 y 2		Se aplica + Mejora Continua
Refinería	M.P.C.I.		Se aplica
	M.L.C.		Realizan más acciones



Sistema Lubricación con información apropiada o correcta

Sistema Lubricación con falta de información o incompleta

Sistema de Lubricación con información ineficiente o inexistente en SAP

5.6. Análisis inspección en terreno

El Plan Matriz de Lubricación en cada equipo debe atacar a los factores más críticos que lo afectan, los cuales fueron detectados en las inspecciones en terreno. Para cada planta se obtuvo el siguiente análisis:

Tabla 11: Factores críticos en Plantas FURE.

Fuente: Elaboración propia.

Área	Lubricación	Polución	Temperatura	Emanación ácida
PRM		X		
PSF		X	X	
CT5	X	X	X	
MALIGAS			X	X
PAS				X
Casa Compresora				X
PFE		X		
Refinería	X			X

Cada X representa el o los factores presente en las plantas, los cuales se describen como:

- Lubricación: Implica el sistema actual, el cual si es ineficiente o inadecuado afecta directamente a la operación.
- Polución: Esto tiene que ver con la polución en todo el ambiente, lo cual afecta a los equipos y los filtros en los sistemas hidráulicos.
- Temperaturas: las altas temperaturas impiden ocupar buenos sistemas de lubricación y dañan a equipos con sus componentes.
- Emanación ácida: El contacto directo con los equipos trae como consecuencias corrosión y desgaste.

Es importante considerar estos factores y las diferencias de contextos operacionales de cada planta a la hora de elaborar los planes de lubricación, esto es para determinar el sistema de lubricación correspondiente y la selección de lubricantes óptimos.

6. Plan Matriz y Unidad de Lubricación

La generación del Plan Matriz de Lubricación se forma en base a la aplicación de estrategias de los planes de lubricación de cada equipo crítico. Con esto, se tienen las frecuencias de las tareas, que servirán posteriormnete para la creación de la unidad de lubricación, mediante el cálculo de carga laboral.

6.1. Planes de Lubricación

La elaboración de las pautas de lubricación se dividió en 2 pasos:

- Estrategias de mantenimiento en lubricación:
 - Sistema de aplicación de grasas.
 - Sistema de aplicación de aceites.
 - Limpieza y remoción de contaminantes.
 - Análisis de aceite.
 - Inspecciones y pruebas de rutina de eficiencia en lubricación.
 - Mediciones y seguimiento del desempeño.
- Hoja de Ruta:
 - Descripción corta de la tarea.
 - Nombre del equipo y del área.
 - Condición del equipo (detenido o funcionando).
 - Instrucciones de la tarea.
 - Fecha y hora propuesta de la realización de la tarea.
 - Disposiciones de seguridad.
 - Selección de lubricantes.

6.1.1. Estrategias de lubricación

En cuanto a las estrategias de mantenimiento en el área de lubricación, las tareas a realizar se pueden clasificar en 3 áreas:

- Labores de rutina: Inspecciones y limpieza.
- Lubricación: Sistema de aplicación de grasas y aceites.
- Post-mantenimiento: Análisis de aceite, mediciones y seguimientos de desempeño.

Mediante el análisis realizado, es evidente que la criticidad en todos los equipos es alta ya que los factores presentes muy extremos (presión, temperatura, carga, etc). Por lo tanto, las estrategias de mantenimiento a considerar tienen relación con el mantenimiento preventivo, que es netamente “Lubricar” y el mantenimiento predictivo, el cual abarca el post-mantenimiento. Debido al alcance de esta memoria, en el cual se solicita una unidad de lubricación, es que solo se considera el mantenimiento preventivo. Como parte del mantenimiento preventivo, la acción de lubricar también debe abarcar los pasos previos que son la inspección y la limpieza. Sobre todo el último punto, ya que antes de lubricar un equipo, éste se debe tdejar en estado óptimo y libre de agentes contaminantes que afecten su rendimiento.

6.1.2. Hoja de Ruta

Las tareas a realizar en un plan matriz, se proyectan en el Sistema SAP mediante hojas de rutas y son exclusivas del equipo a intervenir. Por lo tanto, los ítems de descripción *tarea corta, identificación y condición del equipo, instrucciones de tareas y tiempo de programación* son relativos para cada uno. Los ítems desarrollados en esta memoria son las *indicaciones de seguridad, actividades previas y al término*, las cuales se hicieron genéricas. Además, se hace énfasis a la selección de lubricantes, el cual es un tema muy importante debido a los distintos factores que presentan cada planta.

El formato de este documento descriptivo de las tareas de mantenimiento es el siguiente:

SUPERINTENDENCIA DE MANTENIMIENTO Y SUMINISTROS**GERENCIA FUNDICIÓN Y REFINERÍA****NOMBRE DEL EQUIPO, ÁREA****TIPO DE MANTENIMIENTO - FRECUENCIA**

TIPO DE MANTENIMIENTO	MANTENIMIENTO PREVENTIVO
ESPECIALIDAD	LUBRICACIÓN
EQUIPO	
UBICACIÓN TÉCNICA SAP	
CONDICIÓN DEL EQUIPO	
TURNO	
EJECUTORES	1. 2. 3.
FECHA	
HORA DE INICIO – HORA DE TÉRMINO	

A. INDICACIONES PREVIAS

B. DISPOSICIÓN DE SEGURIDAD

C. HERRAMIENTAS, MATERIAL E INSUMOS NECESARIOS

D. DOCUMENTOS

notas o comentarios particulares

E. INSTRUCCIONES DE TAREAS

F. ACTIVIDADES DE TÉRMINO

Los ítems A, B y F son generales para todos los equipos y sus desarrollos se muestran a continuación:

A. ACTIVIDADES PREVIAS

• ACTIVIDADES

- | | |
|---|-------------|
| 1. Realizar ART. | Si[] No[] |
| 2. El EPP se encuentran en buen estado para la tarea. | Si[] No[] |
| 3. Herramientas cuentan con sello color. | Si[] No[] |
| 4. Realizó charla de inducción (5 minutos). | Si[] No[] |
| 5. Cuenta con la difusión de los siguientes procedimientos de trabajo: | |
| - Procedimiento bloqueo | Si[] No[] |
| - Procedimiento uso Hrrtas. manuales | Si[] No[] |
| 6. Cuenta con los procedimientos mencionados en el punto anterior en terreno para consulta: | |
| - Procedimiento bloqueo | Si[] No[] |
| - Procedimiento uso Hrrtas. manuales | Si[] No[] |
| 7. Existe interferencia en área de trabajo. | Si[] No[] |
| 8. Realizó análisis cruzado (si aplica). | Si[] No[] |

• DISPOSICIONES DE ENTREGA EQUIPO

- | | |
|--|-------------|
| 1. Cumple con procedimiento de desbloqueo de equipo. | Si[] No[] |
| 2. Deja área de trabajo limpia, basura segregada. | Si[] No[] |
| 3. Hizo recuento de herramientas utilizadas. | Si[] No[] |
| 4. Dispuso de los materiales sobrantes. | Si[] No[] |

• IMPORTANTE

1. Completar tabla de notificación inserta al final de la OT.
2. Informar cualquier incidente ocurrido a personas, equipos e instalaciones. Si detecta problemas asociados a salud ocupacional, seguridad o medio ambiental debe informar verbalmente a la supervisión ya sea vía radio o llamando al 3911 y luego por escrito.
3. Antes de comenzar la tarea revisar tarjeta verde.

B. DISPOSICIÓN DE SEGURIDAD

• EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL (MARCAR CON TICKET)

Observaciones: ---- Lentes de seguridad
 ---- Casco aislante
 ---- Zapatos de seguridad
 ---- Guantes de cabritilla
 ---- Protector auditivo
 ---- Protector respiratorio

Según área: ---- Buzo protector desechable blanco TIVEX
 ---- Guantes de látex o nitrilo
 ---- Buzo anti-ácido
 ---- Guantes de cabritilla
 ---- Buzo ignífugo
 ---- Arnés 2 colas

• GENERALIDADES

- | | |
|---|-------------|
| 1. Cumple con protocolo de solicitud equipo | Si[] No[] |
| 2. Cumple con procedimiento bloqueo equipo detenido | Si[] No[] |
| 3. Cumple con protocolo de entrega equipo | Si[] No[] |
| 4. Verificó riesgos críticos mencionados en ART. | Si[] No[] |

• INSTRUCCIONES PREVIAS (MARCAR CON TICKET)

1. ----Realizar Planificación de Tarea. Registrar en Terreno Hoja de Análisis de Riesgos en la Tarea (ART) adjunta. Corroborar los controles de riesgos en terreno.
2. ----Preparar materiales en taller, verificando buen estado de equipos y herramientas según código de color del trimestre. También los elementos de izaje deben ser revisados y mantenidos.
3. ----Solicitar al Jefe de Área de Mantenimiento y Operador de Sala la intervención del equipo.
4. ----Solicitar a Operador Mantenedor y Especialista Eléctrico la desenergización del equipo, bloqueo y "Prueba de Energía Cero".
5. ----Se debe verificar que el área esté limpia eliminando el riesgo de caída de materiales desde niveles superiores, en el mismo nivel de trabajo y hacia niveles inferiores.

• PRECAUCIONES

1. Mantenga accesos despejados, Restrinja el acceso a personas externas a la Tarea delimitando el área.
2. En todo momento se debe usar el equipo de protección personal requerido para la actividad. En particular los EPP deberán encontrarse en buenas condiciones de conservación y operación.
3. Es obligación de todo el personal informar los incidentes ocurridos a las personas, equipos e instalaciones, además de informar a la supervisión de toda condición subestándar que se presente en el área.

F. ACTIVIDADES POSTERIORES

1. Limpiar y ordenar el área de trabajo, recogiendo en un recipiente los pernos, tuercas, golillas, materiales de desechos, etc. Retirar todas sus herramientas.
2. Retirar personalmente candado y tarjeta de bloqueo.
3. Entregar el equipo a su Supervisor y al Operador para realizar pruebas.
4. Se debe chequear con equipo operando el correcto funcionamiento, oleohidráulico, neumático y mecánico.

6.1.3. Selección de lubricantes

Los lubricantes tienen como función disminuir el roce y el desgaste de las distintas partes de un equipo minero en movimiento. Estos deben contener un especial contenido de aditivos detergentes y dispersantes, para tener la capacidad de limpiar de la superficie todas esas partículas y, a su vez, mantenerlas en suspensión, evitando así la formación de lodos. Otra característica fundamental de este tipo de lubricantes, específicamente los utilizados en los sistemas de transmisión, dice relación con la capacidad de soportar extrema presión y altas temperaturas.

El levantamiento de información en terreno indicó que las plantas sufrían problemas debido a factores críticos presentes en el proceso productivo. Para el caso del factor lubricación, la estrategia a tomar tiene que ver netamente con realizar un plan de lubricación, es decir, que si no se sigue uno, o no está la información necesaria en SAP, se debe generar. Con los otros factores, la estrategia a seguir está relacionada con la selección de lubricantes. Es por esto, que se analizó el ambiente donde se desenvuelven los equipos y tras esta información se decide ocupar los 4 parámetros más importantes:

- Temperatura de Trabajo.
- Velocidad de Funcionamiento.
- Presión o Carga.
- Resistencia a la Humedad.

El tipo de lubricante a seleccionar tiene que estar elaborado para soportar las particulares condiciones de trabajo. Además de los parámetros anteriores, también se consideraron casos especiales de lubricantes para equipos expuestos a polución, elaborados para compresores y engranajes abiertos, que son los equipos más importantes en la industria de la minería.

Polución: El sistema de lubricación más recomendable para estos casos son los sistemas automáticos de un solo punto con accionamiento electromagnético. La ventaja de este sistema, es que suministra automáticamente las grasas a áreas críticas, eliminando sobre engrasado o subengrasado mediante presión positiva, lo cual evita la entrada de polvo.

Lubricante sintético para compresores de aire: La necesidad indica la resistencia al trabajo con temperaturas extremas y con tasas altas de rendimiento. Que idealmente entregue estabilidad a la oxidación y resistencia térmica que para combatir la formación de lodo, barniz y depósitos en los equipos.

Lubricante para molinos: Un aceite sintético de alta viscosidad para engranajes abiertos, que asegure una película tenaz en los bancos de trabajo de los engranajes abiertos de toda aplicación que involucre molinos estacionarios rotatorios. Que entregue protección al desgaste y oxidación.

Y para los componentes más comunes de toda maquinaria expuestos a cargas elevadas, con altas y bajas temperaturas y con o sin presencia de agua o fluidos (rodamientos, descansos, bujes, juntas, cojinetes) está la lubricación más usual que es el engrase mediante grasas multipropósito EP2, que son grasas de grado NGLI 2 y con espesante de litio, que gracias a la gama de aplicaciones que cubre permite racionalizar los stocks y simplificar las operaciones de mantenimiento, reemplazando numerosas grasas.

A continuación, se muestra una tabla con los componentes y sistemas básicos, más los parámetros necesarios de lubricación:

Tabla 12: Selección lubricantes.

Fuente: Elaboración propia.

Componente	Velocidad	Temperatura	Cargas / Presión	Humedad	Tipo	Lubricante
Generales (Rodamientos, descansos, bujes, cojinetes, etc)	Media	Variable	Alta	Alta	Grasa	EP2 (NGLI 2)
Sistemas Hidráulicos	-	Alta	Alta	Alta	Aceite Mineral	ISO VG 32
						ISO VG 46
						ISO VG 68
Sistema hidráulico motor	-	Alta	Alta	Media	Aceite Mineral	SAE W10
Engranajes	Variable	Alta	Alta	Media	Aceite Sintético	ISO VG 150
						ISO VG 220
Engranajes abiertos (molinos)	Baja	Media	Alta	Alta	Aceite Sintético	Especial
Acoplamientos	Alta	Alta	Alta	-	Aceite Mineral	Especial NGLI 2
Cadenas	-	Alta	Alta	Alta	Spray Aceite Mineral	Especial
Compresores	-	Media	Alta	Alta	Aceite Mineral	ISO VG 32
Componentes Motor	Alta	Media	Media	-	Grasa	NGLI 3
Componentes CT5	-	Alta	Alta	-	Grasa	Especial NGLI 1

Cabe destacar que los parámetros son establecidos de manera cualitativa y estimada, según lo visto en terreno y conversado con los mantenedores.

A partir de este análisis también se seleccionan los lubricantes y sus fabricantes. Esta tabla se puede encontrar en Anexos, en la tabla 20.

6.2. Generación de Plan Matriz

En base a toda la información y análisis desarrollados a lo largo de esta memoria se genera el Plan Matriz de Lubricación, que abarca a todos los equipos críticos a lubricar con sus respectivas frecuencias, las cuales fueron establecidas a partir de la información obtenida de 6 fuentes:

- Planes de Mantenimiento en Sistema SAP.
- Instrucciones de fabricantes originales de los equipos (OEM).
- Indicaciones de lubricación de los mantenedores.
- Gestiones de mantenimiento por parte de los Jefes de Áreas.
- Personal del área de Planificación y Programación de la SMS.
- Literatura y manuales de lubricación.

El Plan Matriz considera a las los equipos críticos con sus respectivas áreas y a sus puntos de lubricación dentro de sus sistemas, subsistemas o componentes a los cuales se les deben realizar labores de lubricación, ya sea de inspección, limpieza, cambios de aceite, lubricación y muestras de aceite. Además, se incluye el tipo de lubricante a utilizar, como puede apreciarse en la siguiente tabla:

Tabla 13: Frecuencias y puntos de Lubricación.

Fuente: Elaboración propia.

<i>Área</i>	<i>Equipo</i>	<i>Pto Lubricación</i>		<i>Actividad</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Lubricante</i>
Planta	Equipo crítico	Sistema	Subsistema o Componente	- Inspección - Limpieza - Cambio de Aceite - Lubricar - Muestra de Aceite	- Semanal - Quincenal - Mensual - c/3 meses - Trimestral - Semestral - Anual	Aceite Grasa Aceite Spray

El detalle de este Plan Matriz puede encontrarse en el apartado de Anexos, en la Tabla 21.

En total hay 284 puntos desarrollados, de los cuales solo 152 son de mantenimiento preventivo (tarea de lubricar).

Cabe mencionar que hay tareas que no se modificaron como en el caso de los equipos de la PFE, ya que en cuanto a lubricación es la única planta que realiza mejora continua. A todas las otras plantas, se les modificó las frecuencias y también se les agregaron otros puntos de lubricación no considerados en la actualidad.

6.3. Creación de Unidad de Lubricación

La unidad de lubricación, representa la cantidad de personal necesario para realizar las labores de lubricación, el cual idealmente debe ser un equipo especializado en esta área.

Para calcular esta cantidad, primero se establecieron los tiempos de lubricación, en base a las siguientes definiciones:

- Tiempo Principal: Tiempo efectivo de lubricación.
- Tiempo Secundario: Traslado, búsqueda de herramientas y recursos para lubricar, actividades previas, actividades al término.

Por el alcance de esta memoria, solo se hizo el cálculo a partir del tiempo efectivo de lubricación, obteniendo una unidad base mínima. Estos tiempos fueron establecidos según lo visto en terreno, lo conversado con los mantenedores y planificadores y lo indicado en manuales de lubricación. Se ordenó la información en una tabla incluida en Anexos, en la Tabla 22, pero su formato puede verse a continuación:

Tabla 14: Tiempos y puntos de Lubricación.

Fuente: Elaboración propia.

<i>Área</i>	<i>Equipo</i>	<i>Pto Lubricación</i>		<i>Frecuencia</i>	<i>Tiempo Principal</i>	<i>Tiempo Principal</i>	<i>Semanas</i>
Planta	Equipo crítico	Sistema	Subsistema o Componente	- Semanal - Quincenal - Mensual - c/3 meses - Trimestral - Semestral - Anual	Minutos	Horas	Frecuencia en semanas

El número de personal en el área de mantenimiento se define como "Recursos" y su determinación fue hecha en base al cálculo de los HH requeridos (unidad de estimación del esfuerzo necesario para realizar una tarea cuya unidad equivale a una hora de trabajo ininterrumpido de un trabajador medio), bajo la siguiente fórmula:

$$R = \frac{HTS}{HE \cdot 5}$$

Donde:

HTS: Horas totales semanales requeridas para lubricar [h].

HE: Horas Efectivas de trabajo en mantenimiento [h].

Las *HE* son un dato entregado por el área de planificación y programación y fue determinado a partir de datos históricos en el área. Las horas efectivas de mantenimiento que calcularon fue de 3 horas por día, y se multiplica por 5 siguiendo la lógica del Turno 5x5, existente en la GFURE para los operadores y mantenedores en general.

El *HTS* se obtuvo con la sumatoria de los tiempos de los 152 puntos de lubricación, siendo la frecuencia míninma una semana, por lo que el *HTS* es semanal.

Se proyectó la carga horaria a lo largo de un año laboral de 48 semanas, ya que es la frecuencia máxima, asignando las frecuencias de cada punto de lubricación. No tomando en cuenta los factores logísticos (distancias entre equipos y entre plantas) ni de gestión del tiempo, se llega a una primera aproximación o línea base del peor escenario que podría plantearse en cuanto a la organización:

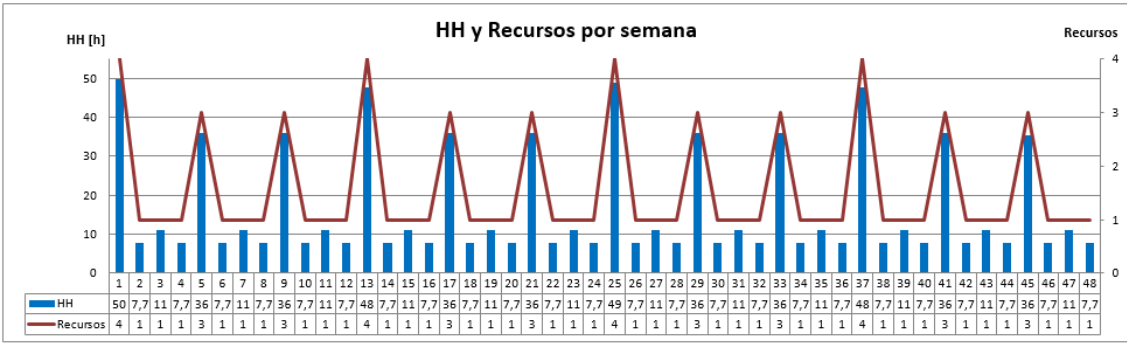


Figura 24: HH por semana, primera proyección.

Máxima Cantidad de HH	50 [h]
Mínima Cantidad de HH	8 [h]
Máxima Cantidad de Recursos	4
Mínima Cantidad de Recursos	1

Los resultados obtenidos en la primera proyección indicaron elevada variabilidad en cuanto a la carga laboral y los recursos necesarios por semana. Teniendo eso en cuenta se recomienda generar una proyección en la cual la distribución del tiempo sea más uniforme para que así los recursos sean bien utilizados en pos del beneficio del objetivo de esta propuesta de lubricación. Esta línea base es un ejemplo de proyección ante la desorganización, caso que no está lejos de la realidad.

Para mejorar esa situación, se desplazaron los trabajos a lo largo del tiempo en semanas (sin modificar sus frecuencias), en base a la distribución logística-espacial entre las plantas. Más que optimización, lo que se logró fue un acercamiento al control de la disposición de los recursos. Entonces, utilizando estos recursos de manera que en el tiempo no ocupe tantos trabajadores y que los trabajos sean hecho dentro de sus plazos establecidos es que se proyecta la siguiente situación:

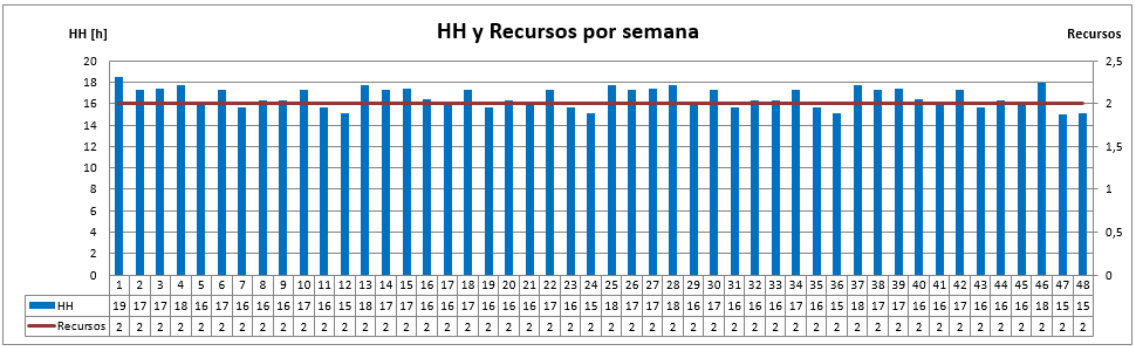


Figura 25: HH por semana, proyección final.

Máxima Cantidad de HH	19 [h]
Mínima Cantidad de HH	16 [h]
Máxima Cantidad de Recursos	2
Mínima Cantidad de Recursos	2

Sin dudas lo que se obtuvo es el mejor escenario en cuanto a la disminución de la máxima HH por semana y los recursos necesarios, generando una distribución uniforme de los recursos en el tiempo. Por lo tanto, junto con la generación de Plan Matriz de Lubricación, se puede crear la Unidad de Lubricación, en base al tiempo efectivo de esta tarea, proyectando un equipo mínimo base de 2 personas.

7. Conclusiones y Sugerencias

En cuanto al objetivo principal de este trabajo, se pudo completar pudiendo generar un plan matriz de lubricación a partir de toda la información recopilada a lo largo de todo este tiempo y junto con eso se pudo proyectar una unidad de lubricación, que hasta el momento no existe en la empresa. El plan matriz, además de considerar todos los puntos de lubricación de los equipos críticos, también consideró el esbozo de una hoja de ruta genérica con la descripción de todas las actividades complementarias a la labor de lubricar. Los resultados obtenidos muestran una primera etapa al desarrollo de nuevas ideas en el área de lubricación, lo cual da un paso en la mejora continua en el mantenimiento realizado en la FURE.

Conocer el contexto en cual se desenvuelve la problemática principal, fue el primer paso y el más importante a la hora de analizarla, ya que los factores que lo conforman pueden ser fuente de riesgos y también porque puede existir una relación estos y los objetivos de la organización, por lo que fue necesario analizarlos en su conjunto como un todo. Y como pudo apreciarse en este documento, el contexto en la FURE es bastante particular, siendo ésta una planta que cuenta con pocos recursos (abastecimiento, información, mano de obra, etc) y que debido a esto los trabajadores tienen que salir adelante cuando tienen incidentes, utilizando el ingenio; también es una planta aislada en el desierto y que presentan un nivel no despreciable de desorganización, pero a pesar de esto, están apostando constante en el mejoramiento continuo. Es por esto, que la propuesta a presentar en la GFURE es basada en la mejora continua, para así utilizar los recursos existentes sin necesidad de invertir en otros.

El factor más recurrente que se presentó durante este trabajo, fue sin duda la falta de información en todo ámbito. La empresa cuenta con el software SAP y no lo utilizan a su máximo potencial, por lo que encontrar información básica como pautas de mantenimiento general, en algunas plantas fue casi nulo. Esto genera la falta de conocimiento técnico en los mantenedores al no tener indicaciones del qué hacer, provocando desorganización y un sinnúmero de consecuencias como de tiempos muertos, no realización de algunas tareas e incluso accidentes.

En base la información disponible que es acotada (planes de mantenimiento, tareas de lubricación y especificaciones de equipos) es que se tuvo que recurrir constantemente a las observaciones de los propios mantenedores de los equipos y encargados de áreas que son útiles como herramienta de conocimiento verbalizado no descrito. El levantar información en terreno referente equipos, ya sea mediante el conocimiento de estos así como su análisis fue fundamental a la hora de poder llevar a cabo los objetivos pedidos por la gerencia. Así se pudo comprender la situación real del proceso de mantenimiento y las dificultades por las que pasan los propios mantenedores debido al punto descrito anterior respecto a la falta de recursos. Cabe destacar que a partir de la experiencia de los mantenedores, éstos son capaces de desarrollar las tareas encomendadas y a pesar de los incidentes de la labor, ellos cumplen con el cometido, debido a esto FURE es una escuela ingenieril. Si bien hay muchas cosas que mejorar en la gestión de información, es importante destacar la disposición de todos los trabajadores en ayudar a conseguir la información necesitada.

Respecto a la lubricación, es evidente que los sistemas en las plantas no son los más adecuados, debido a las causas presentadas con anterioridad, por lo tanto, siguiendo esta lógica se tuvo que recurrir a utilizar a fondo la información recopilada y por sobre todo a lo

conversado con los mantenedores para poder establecer los ciclos de lubricación y tiempos para llevarlos a cabo. El plan desarrollado cuenta con complementación de bibliografía y en una situación ideal por lo cual al momento de generar nuevos planes podía implementarse planes alternativos que no contemplen sólo la mejor situación, sino que una intermedia con el fin de no vivir la situación actual.

Con estos antecedentes se pudo iniciar proyecciones para la creación de la unidad de lubricación, para que la gerencia tenga en consideración la cantidad necesaria como mínima para realizar las labores de lubricación, ya que solo se consideró el tiempo efectivo de la tarea. Se recomienda que para seguir mejorando esta unidad se le agregue los tiempos secundarios, y con esto poder optimizar los recursos a través del tiempo mediante programas o métodos de optimización (debido a que habrá mayor información). Debido al alcance de esta memoria no se realizó esta parte, ya que el tiempo necesario en determinar los tiempos secundarios es más de lo que se otorgó, porque es necesario ir a terreno diariamente, compartir con los mantenedores en sus tareas, analizar las ubicaciones de manera logística, y un sinfín de otros factores a considerar.

Por último, lo que se quiso lograr va más allá de lograr realizar las tareas de lubricación en la FURE: esto tiene que ver también con seguir protocolos, ya que una vez que se sigan, los tiempos serán estandarizados y la calidad de la lubricación también se verá beneficiada.

Otras conclusiones que complementan este trabajo, tiene que ver con el perfil adecuado de la persona que desee trabajar en este tipo de industria y a las facultades que la propia universidad le otorgó. Particularmente en la División El Salvador, el ambiente es muy duro, está aislada en la Cordillera de los Andes y en plenos desierto, pudiendo encontrar la ciudad urbana más cercana a más de 3 horas de viaje. También, el ambiente climático es extremo: en invierno la temperatura llega bajo los 0°C y en verano sobre los 30°C , y la falta de humedad está presente siempre. Es por esto, que la persona que decida trabajar en un ambiente así debe estar preparada. En cuanto a las aptitudes que se debe tener, está el ingenio y la capacidad de salir de incidentes y dificultades constantemente, tener la solución en el momento y con argumentos válidos, ya que particularmente en el área en mantenimiento de la FURE, siempre había problemas, por lo que la capacidad de reacción ante esto era lo mínimo que se esperaba. Para esto, la universidad preparó debidamente en cuanto trabajar bajo circunstancias de mucha presión y poder salir con una solución consecuente con los conocimientos teóricos otorgados; sin embargo, se debe resaltar la proactividad de la persona para salir de estas situaciones, ya que, si no se cuenta con la experiencia de trabajar en este de industria, lo único que queda es la motivación y el querer seguir aprendiendo para mejorar continuamente.

Referencias

- [1] Arata, A. (2009). Ingeniería y gestión de la confiabilidad operacional en plantas industriales. RIL editores, Santiago, Chile.
- [2] Arata, A. y Furlanetto L. (2005). Manual de gestión de activos y mantenimiento. RIL editores, Santiago, Chile.
- [3] Bloch, H., Bannister K. (2016). Practical lubrication for industrial facilities. Lilburn, USA: The Fairmont Press.)
- [4] CODELCO CHILE (2018). Manual SOMA.
- [5] CODELCO CHILE (2016). Ciclo de Trabajo del Mantenimiento, CODELCO. Sistema de Gestión, División Salvador.
- [6] CODELCO CHILE (2010). Documento interno Complejo Fundición Potrerillos. Sistema de Gestión, División Salvador.
- [7] CODELCO CHILE. (2018). Entrega de Resultados 2017. Sitio Web <https://www.codelco.com/>.
- [8] CODELCO CHILE (2016). Evaluación del Nivel de Criticidad de un Activo. Sistema de Gestión, División Salvador.
- [9] CODELCO CHILE (2013). Manual para la gestión del Mantenimiento. Sistema de Gestión, División Salvador.
- [10] CODELCO CHILE, página Web, https://www.codelco.com/prontus_codelco/site/edic/base/port/nosotros.html
- [11] CODELCO CHILE, página Web, https://www.codelco.com/division-salvador/prontus_codelco/2016-02-25/165441.html
- [12] CODELCO CHILE (2015). Sistema de Gestión de Activos. Sistema de Gestión, División Salvador.
- [13] Crespo, A. (2007). The maintenance management framework. Models and methods for complex systems maintenance. Springer Verlag, London.
- [14] EN 13306:2001 (2001). Maintenance Terminology. European Standard. CEN (European Committee for Standardization), Brussels.
- [15] ENCYCLOPÆDIA BRITANNICA (2014). Vista aérea del Campamento minero El Salvador. Recuperado de <https://www.britannica.com/place/El-Salvador-Chile>.
- [16] ENCYCLOPÆDIA BRITANNICA (2014). Área minera de Potrerillos, Fundición y Refinería de cobre de Chile. . Recuperado de <https://www.britannica.com/place/Potrerillos>.
- [17] Linares, O. (2008). Tribología y Mantenimiento Proactivo. Widman International S.R.L., Santa Cruz, Bolivia.

- [18] Llewellyn, P. (2011, October). Even I Can Understand That! Uptime, 11, pp.34-35.
- [19] MCB UP Limited (1958) "The british hydromechanics research association", Industrial Lubrication and Tribology, Vol. 10 Issue: 4, pp.42-42, <https://doi.org/10.1108/eb052518>.
- [20] Páez F. (2014). El proceso FMEA para las fallas de lubricación. Agosto 20, 2014, de Noria Latín América, Sitio web: <http://noria.mx/lublearn/el-proceso-fmea-para-las-fallas-de-lubricacion/>
- [21] Páez, F. (2016). Las mejores prácticas para las rutas de lubricación. Junio 3, 2016, de Noria Latín América, Sitio web: <http://noria.mx/lublearn/las-mejores-practicas-para-las-rutas-de-lubricacion/>.
- [22] Rabinowicz, E. (1995) Friction and Wear of Materials, Second Edition, John Wiley & Sons: New York.
- [23] SKF. (2017). Productos de Mantenimiento y Lubricación SKF PUB MP/P1 03000 ES.
- [24] STLE - Asociación de Tribología e Ingenieros en Lubricación. <https://www.stle.org/>
- [25] Trujillo G. (2013). ¿Qué es exactamente una falla de lubricación? Noviembre 21, 2013, de Noria Latín América, Sitio web: <http://noria.mx/lublearn/que-es-exactamente-una-falla-de-lubricacion/>.
- [26] Trujillo G. (2013). Fundamentos de la Lubricación Basada en Procedimientos. Noviembre 12, 2013, de Noria Latín América, Sitio web: <http://noria.mx/lublearn/fundamentos-de-la-lubricacion-basada-en-procedimientos/>
- [27] Trujillo, G. (2002). La lubricación como elemento fundamental del Mantenimiento de Clase Mundial, México.
- [28] Trujillo, G. (2013). Los peligros ocultos de la falta de lubricante. Noviembre 6, 2013, de Noria Latín América, Sitio web: <http://noria.mx/lublearn/los-peligros-ocultos-de-la-falta-de-lubricante/>.
- [29] Trujillo, R. (2014). Causas más comunes de falla de las máquinas. Diciembre 10, 2014, de Noria Latín América, Sitio web: <http://noria.mx/lublearn/causas-mas-comunes-de-falla-de-las-maquinas/>.
- [30] Trujillo, R. (2017). Seis claves para implementar un programa de lubricación centrado en confiabilidad. Agosto 25, 2017, de Noria Latín América, Sitio web: <http://noria.mx/lublearn/seis-claves-para-implementar-un-programa-de-lubricacion-centrado-en-confiabilidad/>.
- [31] 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 N° 1, 125-138.

Anexos

A. Marco Teórico

A.1. Mantenimiento

A.1.1. Definción

El mantenimiento se define [14] como la combinación de todos los aspectos técnicos, acciones administrativas y gerenciales durante el ciclo de vida de un activo, con el fin de conservar y valorizar los bienes que constituyen el patrimonio activo fijo de una empresa. La finalidad del mantenimiento es conseguir el máximo nivel de efectividad en el funcionamiento del sistema productivo y de servicios con la menor contaminación del medio ambiente y mayor seguridad para el personal al menor costo posible.

Lo anterior implica: [2]

- Conservar el sistema de producción y servicios funcionando con el mejor nivel de confiabilidad posible.
- Reducir la frecuencia y gravedad de las fallas.
- Aplicar las normas de higiene y seguridad del trabajo.
- Minimizar la degradación del medio ambiente.
- Controlar y reducir los costos a su mínima expresión.

El mantenimiento debe asegurar, además, el mejoramiento permantente orientado a eliminar los puntos críticos de las maquinarias e instalaciones y a reducir los costos de mantención [2]. Finalmente, se debe considerar como punto de referencia estratégica el actuar en sintonía con los objetivos de la empresa, presentando la máxima atención a los aspectos económicos.

A.1.2. Objetivos

Como se mencionó anteriormente, el actuar en sintonía con la empresa implica alinerase con sus objetivos. Es por esto, que los objetivos del mantenimiento deben ser específicos y estar presentes en las acciones que realice el área.

Entre estos objetivos se mencionan [13]:

- Máxima producción:
 - Asegurar la óptima disponibilidad y mantener la fiabilidad de los sistemas, instalaciones, máquinas y equipos.
 - Reparar las averías en el menor tiempo posible.
- Mínimo costo:
 - Reducir a su mínima expresión las fallas
 - Aumentar la vida útil de las máquinas e instalaciones.

- Manejo óptimo de stock.
- Manejarse dentro de costos anuales regulares.
- Calidad requerida:
 - Cuando se realizan las reparaciones en los equipos e instalaciones, aparte de solucionar el problema, se debe mantener la calidad requerida.
 - Mantener el funcionamiento regular de la producción sin distorsiones.
 - Eliminar las averías que afecten la calidad del producto.
- Conservación de la energía:
 - Conservar en buen estado las instalaciones auxiliares.
 - Eliminar paros y puestas de marcha continuos.
 - Controlar el rendimiento de los equipos
- Conservación del medio ambiente:
 - Mantener las protecciones en aquellos equipos que pueden producir fugas contaminantes.
 - Mantenimiento, su implementación y gestión.
 - Evitar averías en equipos e instalaciones correctoras de poluciones.
- Higiene y seguridad:
 - Mantener las protecciones de seguridad en los equipos para evitar accidentes.
 - Adiestrar al personal sobre normas para evitar los accidentes.
 - Asegurar que los equipos funcionen en forma adecuada.
- Implicación del personal:
 - Obtener la participación del personal.
 - Implicar a los trabajadores en las técnicas de calidad.

A.2. Ingeniería y Gestión del Mantenimiento

Según la European Committee for Standardization, define como gestión de mantenimiento lo siguiente:

"Todas las actividades de la gerencia que determinan los objetivos de mantenimiento (definidos como objetivos asignados y aceptados por departamento de gestión y mantenimiento), estrategias (definidas como método de gestión para lograr los objetivos de mantenimiento) y responsabilidades, con el fin de implementarlas mediante planificación, control y supervisión de mantenimiento, tomando en cuenta los aspectos económicos de la organización". [14]

Las funciones del mantenimiento dan lugar a instaurar la ingeniería de mantenimiento en base a la mejora continua de un sistema de gestión del mantenimiento como medida de referencia para evaluar: la planificación, ejecución y control, el conjunto de actividades propias de la función, que permiten el uso efectivo y eficaz de los recursos con que cuenta la Organización, con el objetivo de satisfacer los requerimientos de los diferentes grupos de interés, cuyo fin se justifica en el incremento de disponibilidad en los activos mediante su funcionamiento eficiente y confiable.

A.2.1. Ciclo del Mantenimiento

Un sistema de gestión del mantenimiento basado en un ciclo de mantenimiento debidamente estructurado, controlado y sostenido es vital para la mejora de la productividad del personal, la disponibilidad del equipo y la reducción de los costos de mantenimiento. El desarrollo e implementación de la mejora de los procesos de gestión de trabajo estandarizados producirá una mayor adherencia a los procedimientos y procesos, aumentando el cumplimiento de los trabajos planificados.

Se pueden reconocer dos ciclos de trabajos [1]: el primero, es el ciclo de trabajo estándar, en el cual se procede la secuencia del proceso de mantenimiento como *planificación, programación, asignaciones de tareas y su ejecución*. Para la retroalimentación de la implementación del modelo de gestión, es necesario contar con la adición de nuevas etapas que reflejen las oportunidades de mejora, es por esto que nace un segundo ciclo de trabajo de mantenimiento, basado en la mejora continua. Por lo que al ciclo estándar de trabajo se le agregan el proceso de *análisis de lo ya ejecutado y el proceso de identificación de tareas* necesarias para implementar la mejora definida anteriormente.

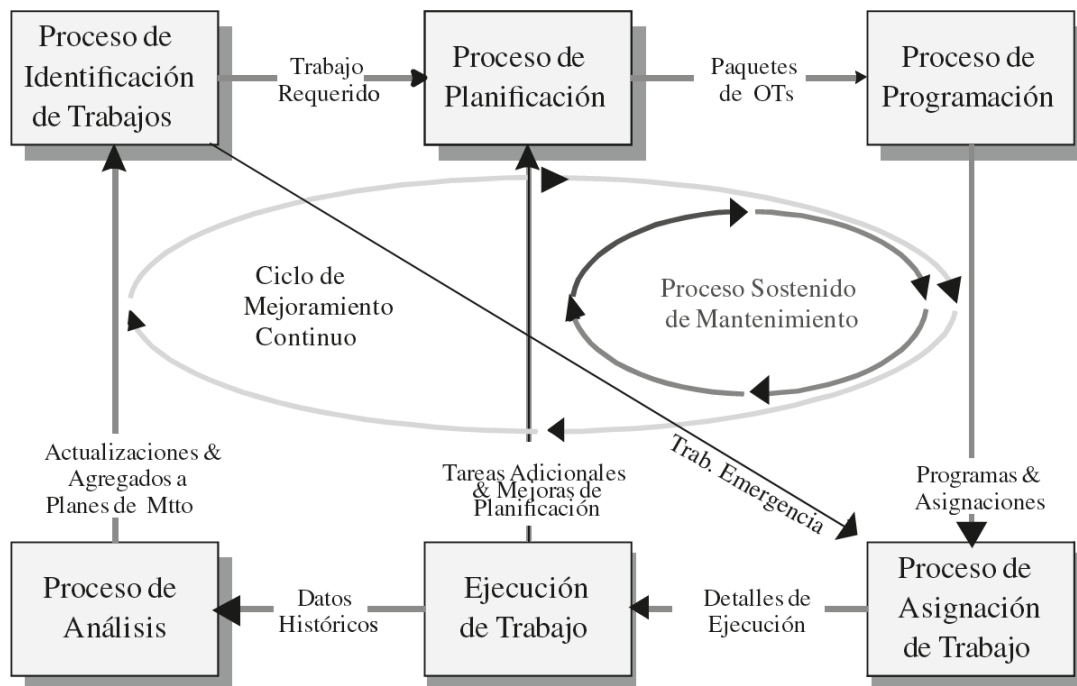


Figura 26: Ciclo de trabajo del mantenimiento.

Fuente: Propuesta de un modelo de gestión de mantenimiento y sus principales herramientas de apoyo (2012) [31]

A continuación, se describen las etapas del Ciclo de Trabajo de Mantenimiento: [5]

a. Identificación y validación de Mantenimiento:

En este proceso se recibe, valida y canalizan todos los requerimientos de operaciones, proyectos, entre otros. Fundamentalmente existen tres tipos de trabajos de mantenimiento:

- Trabajo de mantenimiento preventivo e inspecciones de mantenimiento predictivo.
- Trabajos de carácter correctivo en equipo que ha fallado o está a punto de fallar y que se pueden planificar y programar, comúnmente conocidos como mantenimiento correctivo programado.
- Trabajos de mantenimiento correctivo que deben ser ejecutados inmediatamente con carácter de urgencia, comúnmente conocidos como trabajos de emergencia.

b. Planificación del Mantenimiento:

Una vez identificados y validados los requerimientos de mantenimiento, se debe entender de manera detallada todos los recursos involucrados para su ejecución de manera de poder decidir qué actividades y cómo se deben realizar, conjugando también dentro de esta ecuación la disponibilidad de estos recursos, pudiendo generar o traducir todos los avisos de mantenimiento de la etapa anterior en órdenes de trabajo de Mantenimiento capaces de capturar todos los recursos ya descritos.

Una planificación adecuada es una parte clave para la ejecución eficiente y eficaz de los trabajos a ser ejecutados y contribuirá a minimizar el impacto de mantenimiento en operaciones a través de:

- Menos tiempo de inactividad no programado, más tiempo de actividad.
- Mayor advertencia de las interrupciones que se programarán.
- Garantizar el uso eficaz y eficiente de los recursos.

c. Programación del Mantenimiento:

Al contar con todas las actividades de mantenimiento con recursos asignados en un horizonte de mediano plazo en orden de trabajo de Mantenimiento y al mismo tiempo estar más cerca de los plazos de la ejecución de los trabajos de mantenimiento (descritos en las mismas órdenes de trabajo), se debe comenzar a generar un programa de trabajo capaz de identificar de manera más detallada todas las actividades a realizar tanto con *fechas, horas, secuencias y grupos de trabajo ejecutores*, comprometiendo de esta manera horas hombres para la realización de las mismas.

El mejor programa de mantenimiento preventivo en el mundo no evitará que se produzcan fallas no programadas. En algún momento, el equipo tendrá que suspender el trabajo programado para atender casos de emergencia, especialmente en aquellos equipos o componentes en los que el patrón de fallas es aleatorio. En consecuencia, *no debe asignarse todas las personas disponibles a trabajos programados*.

d. Ejecución de Mantenimiento:

Contando con todas las actividades claramente definidas con recursos, tiempos de duración, secuencias y fechas, y a la vez asegurando y comprometiendo todos los recursos requeridos, estas deben ser ejecutadas correctamente desde un punto de vista de la calidad de los trabajos y la seguridad involucrada en cada actividad. Si bien la ejecución oportuna

es importante en esta etapa también es muy relevante la supervisión que se realiza de la ejecución tanto por parte de la misma área como de la planificación y programación de manera de asegurar que el programa y los recursos involucrados se están llevando a cabo según lo programado. Adicionalmente, este proceso no sólo involucra la ejecución de actividades provenientes de la planificación y programación, sino que también la ejecución de requerimientos de mantenimiento las cuales no dan tiempo para pasar por estas etapas, las cuales deben realizarse inmediatamente con las consecuencias correspondientes que pudiese involucrar una reasignación de recursos hacia estas actividades.

e. Análisis:

Habiendo entregado los equipos a operaciones después de finalizadas las actividades ejecución, los trabajos deben reflejar lo que efectivamente fueron respecto a lo programado, registrando tanto los aspectos técnicos como de recursos utilizados y no utilizados. Toda esta información queda registrada tanto en los Avisos de Mantenimiento (aspectos técnicos) como Órdenes de Trabajo (recursos reales utilizados). En relación a los recursos materiales y herramientas, si no todos fueron utilizados, entonces es necesario devolverlos a bodega, y también informar posibles mejoras o hallazgos de seguridad o medio ambiente.

Uno de los aspectos más importantes dentro de todo diseño de procesos, es el poder determinar cómo mejorar las actividades que se están desarrollando desde la perspectiva de poder incrementar el desempeño de los equipos manteniendo siempre la rentabilidad del negocio. Por lo tanto, este proceso es fundamental dentro de un contexto de mejoramiento y por lo tanto se convierte en el "cerebro" que debe dictar ya sea modificaciones o nuevas tácticas de mantenimiento que deben ser implementadas por la Planificación.

A.2.2. Plan de Mantenimiento

La planificación de mantenimiento es la actividad de gestión de mantenimiento que se lleva a cabo para preparar un plan de mantenimiento. Según European Committee for Standardization [14], el plan de mantenimiento consiste en un *"conjunto estructurado de tareas que incluyen actividades, procedimientos, recursos y la escala de tiempo requerida para llevar a cabo el mantenimiento"*.

Una vez identificada la tarea de mantenimiento requerida, se deben establecer las necesidades de soporte de mantenimiento, es decir, recursos, servicios y gestión, necesarios para llevar a cabo el plan. Para esto, se deben priorizar los equipos según la siguiente estrategia de mantenimiento: [13]:

- Adoptar las recomendaciones de los fabricantes, como las contenidas en el manual de mantenimiento y operación o documentos similares, etc .;
- Confiar en la experiencia real con el artículo o artículos similares;
- Estudiar y analizar la documentación técnica de cada elemento, como diagramas de dibujos, procedimientos técnicos, etc., para mejorar y adaptar las recomendaciones provenientes del fabricante a la realidad condiciones de trabajo o necesidades especiales de mantenimiento;
- Usar técnicas de ingeniería de mantenimiento, como Reliability Centered Maintenance (RCM) basado en FMECA u otros métodos con este propósito;

- Considerar requisitos regulatorios u obligatorios, como la seguridad condiciones de operación del artículo, regulaciones ambientales para el activo, etc .;
- Cosiderar experiencias históricas de mantenedores.

El fabricante generalmente no puede anticipar los factores tales como las consecuencias de la falla relacionadas con el negocio, consideraciones de seguridad, requisitos regulatorios, el uso de técnicas de monitoreo de condiciones, disponibilidad de recursos y condiciones ambientales únicas. Para los activos que cuentan con registros históricos de mantenimiento, se pueden establecer prácticas de mantenimiento reales en base a las experiencias registradas.

Para situaciones donde las tareas de mantenimiento basadas en el fabricante no están especificadas o son adecuadas y donde equipo se considera *crítico*, un análisis estructurado como RCM debe ser llevado a cabo.

El análisis de la tarea de mantenimiento determina la información y los recursos específicos para cada activo que requiere mantenimiento, incluyendo: [13]

- Descripción de la tarea de mantenimiento (con el nivel de detalle requerido para una persona de mantenimiento especializada);
- Frecuencia de la tarea (basada en una medida relevante tal como transcurrido tiempo, horas de funcionamiento, número de ciclos operativos o distancia);
- Número de personal, nivel de habilidad y tiempo requerido para realizar la tarea;
- Procedimientos de mantenimiento para el desmontaje y el montaje;
- Procedimientos de seguridad a seguir;
- Procedimientos para manejo, transporte y eliminación de materiales peligrosos materiales;
- Se requieren herramientas especiales, equipo de prueba y equipo de soporte;
- Piezas de repuesto, materiales y consumibles para ser utilizados o reemplazados;
- Observaciones y mediciones a realizar;
- Procedimientos de compra para verificar el funcionamiento correcto y exitoso finalización de la tarea de mantenimiento.

Luego se revisan las tareas y se realizan ajustes a su frecuencia como resultado de restricciones como la necesidad de maximizar disponibilidad o la optimización de recursos. Al definir las operaciones de mantenimiento detalladas, es necesario determinar en qué línea de mantenimiento (es decir, la posición en una organización donde se deben llevar a cabo niveles de mantenimiento específicos en un equipo) debe ser reparado o reemplazado.

El resultado de este análisis detallado facilita la asignación de una línea de mantenimiento para cada pieza de equipo y proporciona información en el análisis de tareas de mantenimiento y la identificación de soporte de mantenimiento recursos.

A.2.3. Tipos de Mantenimiento

De acuerdo con la definición de mantenimiento desarrollada anteriormente, éste es una combinación de acciones destinadas a retener un activo o restaurarlo a, un estado en el que puede realizar la función que se requiere para el elemento a proporcionar un servicio determinado. Tras esto, se pueden clasificar las labores de mantenimiento en dos acciones principales: *mantenimiento correctivo*, orientado a retención de operación de un activo y el *mantenimiento preventivo*, basado en la restauración de este. [2]

Mantenimiento Correctivo

A grandes rasgos se entiende por mantenimiento correctivo a la sustitución del elemento debido a una falla; es decir sólo se corrige lo que ya no funciona. Esta actividad se divide en dos tipos: [13]

- **Mantenimiento Correctivo No planificado:** Es el mantenimiento realizado en operaciones de emergencia y se debe proceder de manera urgente.
- **Mantenimiento Correctivo Planificado:** Cuando se sabe que un activo tiene altas probabilidades de presentar una falla se aplica este mantenimiento y se deciden acciones a tomar para cuando suceda.

Mantenimiento Preventivo

El mantenimiento preventivo se define como mantenimiento llevado a cabo de forma pre-determinada o según los criterios destinados a reducir la probabilidad de falla del equipo.

- **Mantenimiento Preventivo predeterminado:** Mantenimiento preventivo llevado a cabo en de acuerdo con los intervalos de tiempo establecidos o la cantidad de unidades de uso (es decir mantenimiento programado) pero sin investigación previa de condición del artículo.
- **Mantenimiento Preventivo basado en la condición:** Mantenimiento preventivo basado en la supervisión del rendimiento y / o de los parámetros y las acciones posteriores. Dentro del mantenimiento basado en la condición, se incluye el *mantenimiento predictivo*, el cual es llevado a cabo siguiendo un pronóstico derivado del análisis y la evaluación de parámetros significativos de la degradación del equipo.

A.3. Lubricación Industrial

A.3.1. Lubricación basada en la Tribología

La Tribología se define como la ciencia y tecnología que estudia la interacción de las superficies en movimiento relativo, así como los temas y prácticas relacionadas.

El propósito de la lubricación es la separación de dos superficies con deslizamiento relativo entre sí de tal manera que no se produzca daño en ellas [17]: se intenta con ello que el proceso de deslizamiento sea con el rozamiento más pequeño posible. Para conseguir esto se pretende, siempre que sea posible, que haya una película de lubricante de espesor suficiente entre las dos superficies en contacto para evitar el desgaste.

Objetivos y campo de aplicación

El objetivo de la lubricación es reducir el rozamiento, el desgaste y el calentamiento de las superficies en contacto de piezas con movimiento relativo. La aplicación típica en ingeniería mecánica es el cojinete, constituido por muñón o eje, manguito o cojinete. [17]

Los principales campos de aplicación son:

- Cojinetes del cigüeñal y bielas de un motor (vida de miles de [km]).
- Cojinetes de turbinas de centrales (fiabilidad de 100 %).

Los factores a considerar en diseño son técnicos y económicos:

- Cargas aplicadas y condiciones de servicio.
- Condiciones de instalación y posibilidad de mantenimiento.
- Tolerancias de fabricación y funcionamiento; vida exigida.
- Costo de instalación y mantenimiento.

Tipos de lubricación

- **Lubricación Hidrodinámica:** Las superficies están separadas por una película de lubricante que proporciona estabilidad. No se basa en introducir lubricante a presión (puede hacerse), exige un caudal de aceite, la presión se genera por movimiento relativo. Se habla también de lubricación de película gruesa, fluida, completa o perfecta.
- **Lubricación Límite:** La película de lubricante es tan fina que existe un contacto parcial metal-metal. La acción resultante no se explica por la hidrodinámica. Puede pasarse de lubricación hidrodinámica a límite por caída de la velocidad, aumento de la carga o disminución del caudal de aceite. En este tipo de lubricación (de película delgada, imperfecta o parcial) mas que la viscosidad del lubricante es más importante la composición química.
- **Lubricación hidrostática:** Se obtiene introduciendo a presión el lubricante en la zona de carga para crear una película de lubricante (no es necesario el movimiento relativo entre las superficies). Puede emplearse aire o agua como lubricante.

A.3.2. Lubricantes: Especificaciones y Normativa

La importancia de los lubricantes está originada por las funciones que deben ejercer:

- Evitar los efectos del rozamiento. Se interponen entre las superficies en movimiento, formando una película separadora, que evita el contacto directo entre ellas. Un lubricante consigue:
 - Disminuir el desgaste
 - Ahorrar energía y disminuir el calentamiento
 - Facilitar el arranque en frío
 - Disminuir el ruido
- Refrigerar. Disipan entre un 10 y un 25 % del calor total generado en la máquina por fricción y/o combustión.
- Eliminar impurezas. Eliminan las impurezas generadas por la máquina (combustión, partículas de desgaste o corrosión, contaminantes externos) llevándolas hasta los elementos filtrantes y el cárter.
- Prevenir la herrumbre (anticorrosión). Los lubricantes protegen contra la corrosión y la herrumbre producida por la humedad.
- Sellar. Hacen estancas zonas donde pueden existir fugas de otros tipos o gases que contaminan el aceite y reducen el rendimiento del motor.
- Transmitir energía. Función típica de los fluidos hidráulicos, además de las funciones anteriores, transmiten energía de un punto a otro del sistema.

Características de los lubricantes

- Densidad (untuosidad). Es el peso de una materia en relación al volumen que ocupa. Debido a la densidad, las superficies metálicas permanecen con una fina capa de lubricante, incluso tras un largo tiempo después de haber sido aportado el mismo.
- Viscosidad. Es la propiedad fundamental de un lubricante líquido. Se define como la resistencia interna de un líquido a fluir. La viscosidad depende de la presión y la temperatura:
 - Al aumentar la temperatura disminuye la viscosidad
 - Al aumentar la presión aumenta la viscosidad

Las escalas más usadas para medir la viscosidad son la SAE (Society of Automotive Engineers) y la ISO (Organización Internacional de Normalización):

- Grados SAE: aceites motor
- Grados SAE: aceites de engranajes
- Grados ISO: aceites hidráulicos o industriales

Composición de los lubricantes

Los lubricantes se componen de aceite base y una serie de aditivos que potencian o confieren propiedades que el aceite base, por sí solo, no es capaz de alcanzar.

Bases:

- Aceites minerales. Proviene del refinado del petróleo.
- Aceites semi-sintéticos. Aceites obtenidos mediante la mezcla de una base mineral con una sintética. (Aceites hidrocrackeados. Derivados del petróleo y los más refinados que pueden conseguirse a partir de aceite mineral. Por lo general son etiquetados como semi-sintéticos o sintéticos.)
- Aceites sintéticos. Fabricados químicamente, perfeccionan todas las propiedades que un buen lubricante puede tener. Poseen un alto grado de pureza y aportan características casi ideales (resistencia a la oxidación, menor aditivación) que les confieren un mejor rendimiento:
 - Intervalos más largos entre cambios de aceite
 - Menor consumo de combustible
 - Mayor vida útil del motor

Aditivos:

Los aditivos son productos que añaden al lubricante con el objetivo de aumentar sus propiedades, tienen la particularidad que se consumen (desaparecen a medida que se va utilizando la carga de aceite que los contiene), por lo que nos pueden dar una pista sobre el nivel de deterioro del lubricante.

Entre ellos podemos encontrar: mejoradores del índice de viscosidad, depresores del punto de congelación, antioxidantes, anti-herrumbre, extrema presión, antiespumantes, detergentes, dispersantes, emulgentes, anti-desgaste, anti-niebla, modificadores de fricción.

A.3.3. Lubricantes en automoción**Aceite motor**

- Aceite monogrado: Presenta un comportamiento correcto en unas condiciones de temperatura ambiente concretas. Los aceites acompañados de la sigla “W” (grado de invierno “Winter”) aseguran un comportamiento determinado en frío.
- Aceite multigrado: Parte de un aceite “W” al que se añaden aditivos mejoradores del índice de viscosidad. Este polímero se expande conforme incrementa la temperatura, compensando parte del efecto de adelgazamiento o pérdida de viscosidad.

Tabla 15: Tabla SAE J300: Lubricantes para motor.

Grado de Viscosidad SAE	Temperatura máxima para una viscosidad de 60 Pa.s (°C)	Viscosidad Cinemática Mínima a 100°C (cSt)	Viscosidad Cinemática Máxima a 100°C (cSt)
0W	-40°C	3.8	-
5W	-35°C	3.8	-
10W	-25°C	4.1	-
15W	-20°C	5.6	-
20W	-15°C	5.6	-
25W	-	9.3	-
20	-	5.6	<9.3
30	-	9.3	<12.5
40	-	12.5	<16.3
50	-	16.3	<21.9
60	-	21.9	<26.1

Los aceites multigrado aseguran el comportamiento en frío (permiten la rápida lubricación de las partes altas del motor, protegiéndolo contra el desgaste). Al aumentar la temperatura, la estabilización de la viscosidad, les permiten comportarse como un fluido de verano (sosteniendo una viscosidad adecuada para el tiempo que opera en condiciones "normales" de temperatura, garantizando la correcta lubricación).

Aceite para engranajes

Tabla 16: Tabla SAE J306: Lubricantes para engranajes.

Grado de Viscosidad SAE	Temperatura máxima para una viscosidad de 150 Pa.s (°C)	Viscosidad Cinemática Mínima a 100°C (cSt)	Viscosidad Cinemática Máxima a 100°C (cSt)
70W	-55°C	4.1	-
75W	-40°C	4.1	-
80W	-26°C	7.0	-
85W	-12°C	11.0	-
80	-	7.0	<11.0
85	-	11.0	<13.5
90	-	13.5	<18.5
110	-	18.5	<24.0
140	-	24.0	<32.0
190	-	32.5	<41.0
250	-	41.0	-

A diferencia de los aceites para motor, la escala SAE para transmisiones es mucho más dinámica: un cambio en el grado SAE supone grandes variaciones de la viscosidad (cSt).

Aceite hidráulico e industrial

A la hora de seleccionar un aceite hidráulico debe tenerse en cuenta la temperatura de funcionamiento, la viscosidad ISO (afecta a las propiedades de fricción del fluido, al funcionamiento de la bomba, la cavitación, el consumo de energía, y la capacidad de control del sistema), la compatibilidad con juntas de cierre y metales y la velocidad de respuesta (depende de sus características de incompresibilidad y su viscosidad). La tabla DIN 51519 determina la viscosidad ISO (Organización Internacional de Normalización):

Tabla 17: Tabla DIN 51519: Viscosidad ISO.

Viscosidad ISO VG	Viscosidad cinemática (cSt) a 40 °C mínima	Viscosidad cinemática (cSt) a 40 °C máxima
2	1.98	2.42
3	2.88	3.52
5	4.14	5.06
7	6.12	7.48
10	9.00	11
15	13.50	16.5
22	19.80	24.2
32	28.80	35.2
46	41.40	50.6
68	61.20	74.8
100	90.00	110
150	135.00	165
220	198.00	242
320	288.00	352

Grasas

Las grasas son productos de consistencia semisólida obtenidos por dispersión de un agente espesante en un líquido lubricante. Pueden incluir aditivos: extrema presión EP, resistencia a la oxidación y corrosión. Podemos encontrar distintos tipos de grasas dependiendo de su aplicación (grasas de altas temperaturas, para juntas homocinéticas, grasas líquidas, grasas para extrema presión, etc)

Tabla 18: Grado NLGI (National Lubricating Grease Institute).

Grado NLGI	Consistencia	Aplicaciones
0	Líquida	Engranajes
0	Líquida	Engranajes
0	Semi-fluida	Cojinetes. Sistemas centralizados
1	Semi-fluida	Cojinetes. Sistemas centralizados
2	Blanda	Cojinetes
3	Regular	Cojinetes
4	Semidura	Cojinetes lisos. Grasa en briquetas
5	Dura	Cojinetes. Grasa en briquetas
6	Extra-dura	Cojinetes. Grasa en briquetas

El grado NLGI (National Lubricating Grease Institute) indica la consistencia o penetración de la grasa, según ensayo ASTM D217. La escala NLGI va desde el 000, muy blanda, al 6, muy dura (no deben bombearse grasas con NLGI superior a 2).

B. Política Corporativa de Mantenimiento

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

Esta política aplica a todos los Centros de Trabajo de CODELCO, sus empresas contratistas y subcontratistas.

Enunciado

CODELCO CHILE, empresa minera del Estado, líder en la producción de sustancias minerales, declara:

1. CUMPLIR LAS POLÍTICAS CORPORATIVAS VIGENTES, PROCEDIMIENTOS, NORMAS, ESTÁNDARES Y REGLAMENTACIÓN dentro de un marco ético, íntegro, de confianza y de respeto al resto de la organización y sus terceros.
2. ACTUALIZAR ESTRATEGIAS Y PLANES DE MANTENIMIENTO continuamente con foco en mejoras de productividad.
3. PROMOVER LA MEJORA CONTINUA A TRAVÉS DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA OPERATIVO C+, definiendo y actualizando estándares operacionales, detectando oportunamente nuestras brechas, promoviendo la estandarización y las mejores prácticas de la industria.
4. PROGRAMAR PLANES DE MANTENIMIENTO COHERENTES CON LOS PLANES DE PRODUCCIÓN, Y EJECUTARLOS CON ADHERENCIA, asegurando efectividad en el cumplimiento de planes y eficiencia en el uso de recursos.
5. TENER LA ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL Y COMPETENCIAS PARA ASEGURAR LOS ROLES, FUNCIONES Y RESPONSABILIDADES de todas y todos los trabajadores de las áreas de mantenimiento, de acuerdo a los roles definidos corporativamente.
6. MEDIR Y GESTIONAR CONTINUAMENTE EL GRADO DE MADUREZ DEL MANTENIMIENTO con el objetivo de asegurar el desarrollo hacia un mantenimiento proactivo.
7. GENERAR INSTANCIAS DE PARTICIPACIÓN ACTIVA que permitan asegurar acciones estandarizadas de mejora del mantenimiento y transferencias de mejores prácticas entre las áreas y divisiones.
8. UTILIZAR EL SISTEMA SAP como herramienta oficial y única para la administración de la gestión del mantenimiento.
9. IMPULSA EL USO DE TECNOLOGÍAS que aporten al mejoramiento de la gestión del mantenimiento en todos sus ámbitos.

C. Diagramas Procesos de Mantenimiento en FURE

C.1. Proceso de identificación y priorización

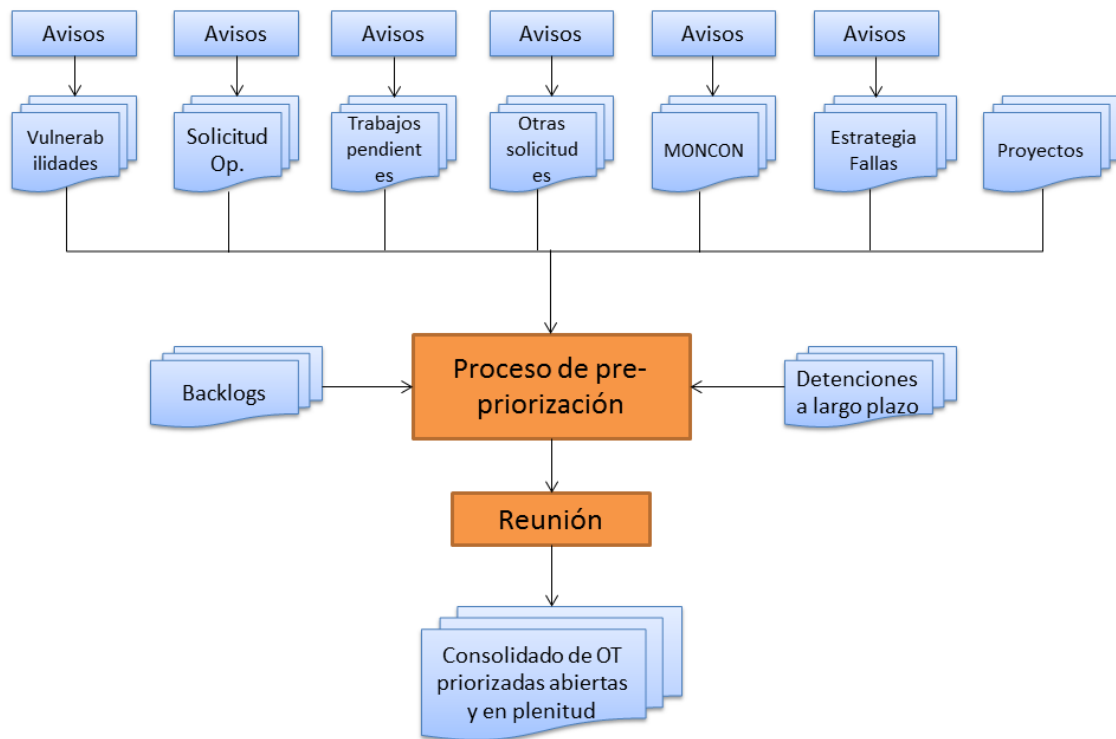


Figura 27: Flujo del proceso de identificación y priorización.

Fuente: Manual SOMA (2018).

C.2. Proceso de planificación

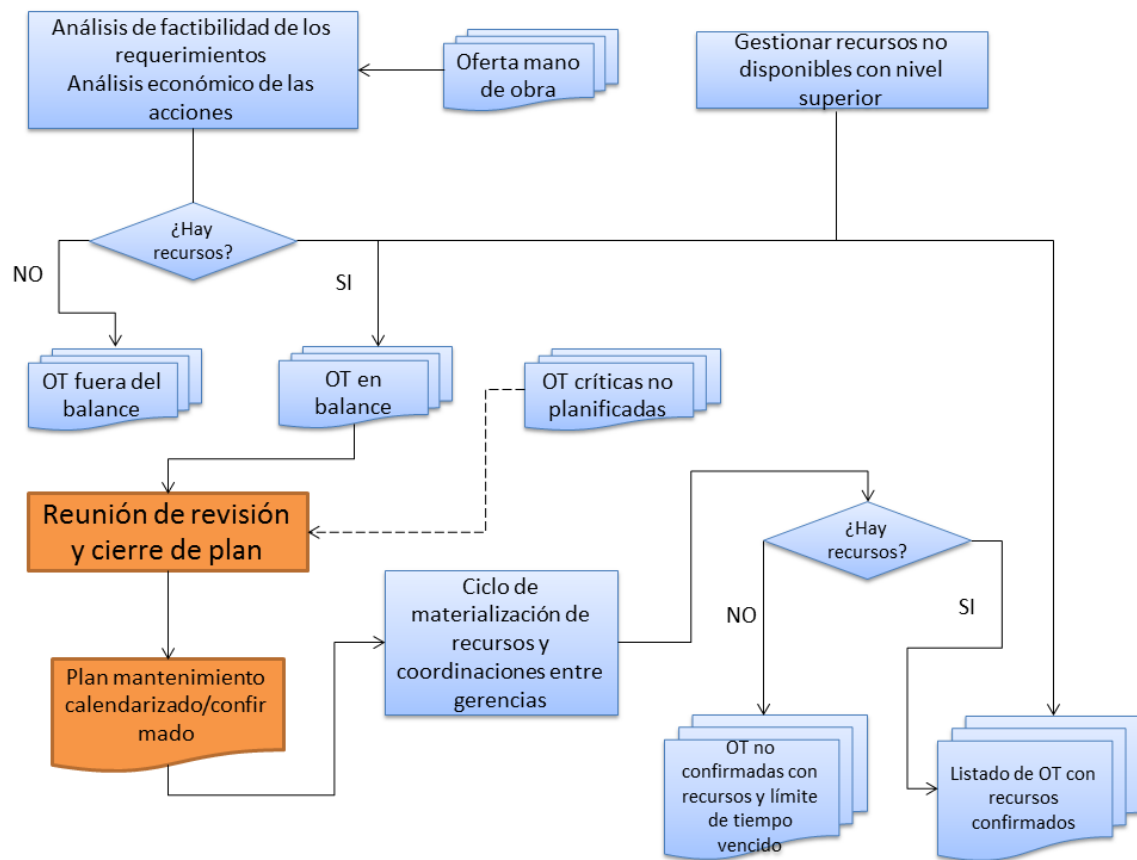


Figura 28: Flujo de proceso de planificación.

Fuente: Manual SOMA (2018).

C.3. Proceso de programación

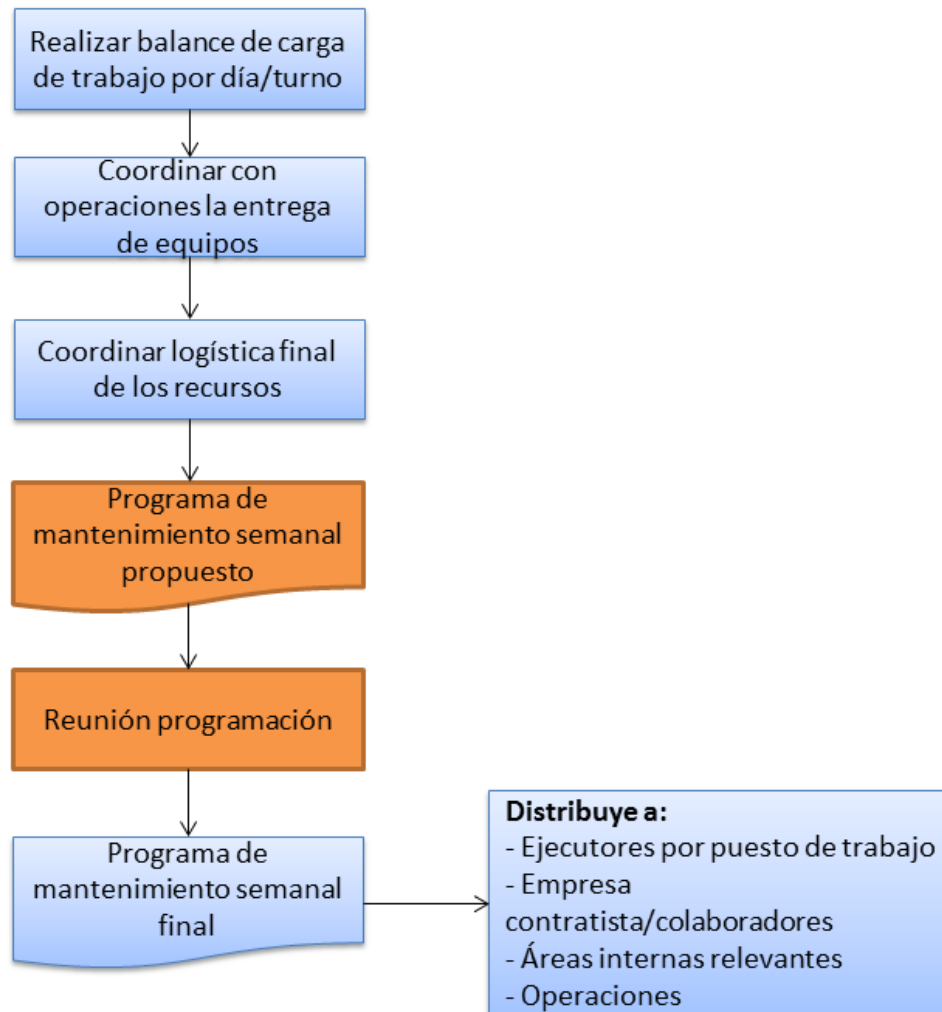


Figura 29: Flujo de proceso de programación.

Fuente: Manual SOMA (2018).

D. Tablas generadas

D.1. Planes de Mantenimiento actuales

Tabla 19: Pautas de Mantenimiento activas.

Fuente: Elaboración propia en base a información en SAP.

Equipo Crítico	Mantenimiento/ Inspección	Frecuencia	Hoja Ruta	Referencia Lubricación
Sistema de Soplado	Mtto. Preventivo	Anual	Si	No
	Mtto. Preventivo	Quincenal	Si	No
Sistema Inyección Concentrado	Mtto. Preventivo	Anual	Si	No
	Mtto. Preventivo	Semanal	Si	No
	Inspección	Diaria	Si	No
Gur-gun Sistema de Carguío	Mtto. Preventivo	C/3 Semanas	Si	No
	Inspección	Semanal	Si	No
Válv. y Líneas Sistema Inyección Aire	Mtto. Preventivo	Anual	Si	No
Máq. Taponeadora Sangría M/Blanco	Mtto. Preventivo	Anual	Si	No
	Inspección	Diaria	Si	No
Campana Convertidor Primario	Mtto. Preventivo	Mensual	Si	Si
	Mtto. Preventivo	Semanal	Si	Si
	Mtto. Predictivo	Mensual	Si	No
	Mtto. Predictivo	Semestral	Si	Si
Cámara de polvo	Mtto. Preventivo	Mensual	Si	Si
	Mtto. Predictivo	Mensual	Si	No
Torre de Enfriamiento Evaporativa	Mtto. Preventivo D	Mensual	Si	SI
	Mtto. Preventivo F	Mensual	Si	SI
	Mtto. Predictivo D	Anual	Si	No
Precipitador Electrostático Línea de Flujo	Mtto. Preventivo D	Anual	Si	No
	Mtto. Preventivo F	Semestral	Si	Si
	Mtto. Preventivo D	Semestral	No	No
	Mtto. Preventivo F	Bimensual	Si	No
	Mtto. Preventivo D	Mensual	Si	No
	Mtto. Preventivo F	Mensual	Si	No
	Mtto. Predictivo F	Semanal	Si	No
	Mtto. Predictivo D	Mensual	Si	No
	Mtto. Predictivo D	Bimensual	Si	No
Soplador C 400 A - B	Mtto. Preventivo	Anual	Si	Si
	Análisis aceite	C/3 Meses	No	No
	Inspección	Semanal	Si	Si
Precalentador F570	Mtto. Off	Anual	Si	Si
	Inspección	Mensual	Si	Si
Duchas de Emergencia (Área 400, 600 y 900)	Inspección	Semanal	Si	No
Correa Pesométrica	Mtto. Preventivo	Mensual	Si	Si
Quemador	Mtto. Preventivo	Semanal	Si	No
Ventilador Aire Combustión	Mtto. Preventivo	Trimestral	Si	Si
	Mtto. Preventivo	Anual	Si	Si
DGR	Inspección	Semanal	Si	Si

Equipo Crítico	Mantenimiento/ Inspección	Frecuencia	Hoja Ruta	Referencia Lubricación
Ventilador Fluidización	Mtto. Preventivo	Quincenal	Si	Si
	Mtto. Preventivo	Trimestral	Si	Si
	Mtto. Preventivo	Anual	Si	Si
	Inspección	Semanal	Si	Si
Ventilador Descarga	Mtto. Preventivo	Quincenal	Si	Si
	Mtto. Preventivo	Trimestral	Si	Si
	Mtto. Preventivo	Anual	Si	Si
	Inspección	Semanal	Si	Si
Báscula Pesaje de Concentrados	Mtto. Preventivo	Mensual	No	No
Correa 003 - COR - 001	Mtto. Preventivo	Mensual	Si	Si
Correa Transporte Tubular	Mtto. Preventivo	Anual	Si	Si
	Inspección	C/15 Días	Si	Si
Turbocompresor 2	Mtto. Preventivo	Anual	No	No
	Inspección	C/3 Semanas	No	No
Turbocompresor 7	Mtto. Preventivo	Anual	No	No
	Inspección	C/3 Semanas	No	No
Chute de Descarga Alimentador de Placa	Mtto. Preventivo	M/S*/A	Si	No
Molino de Bolas	Mtto. Preventivo	S/M/T/S*/A	Si	Si
Molino SAG	Mtto. Preventivo	S/M/T/S*/A	Si	Si
Cajón Alimentación Molino de Bolas	Mtto. Preventivo	Mensual	Si	Si
Chute Móvil Alimentación Molino SAG	Mtto. Preventivo	M/T/S*/A	Si	Si
Bombas Cajón Descarga Molinos	Mtto. Preventivo	D/S/M/T/S*/A	Si	Si
Filtro Prensa Concentrado	Mtto. Preventivo	S/B/M/S*/A/BA/C6S	Si	Si
Filtro Cerámico #1	Mtto. Preventivo	D/S/M/T/S*/A	Si	Si
Filtro Cerámico #2	Mtto. Preventivo	D/S/M/T/S*/A	Si	Si
Máquina Lavadora de Cátodos (M.L.C.)	Mtto. Preventivo	C/5 Días	Si	Si
Máquina Prep. Hojas de Partida (M.P.H.P.)	Mtto. Preventivo	C/5 Días	Si	Si
	Mtto. Preventivo	Trimestral	No	No
	Inspección	Bimensual	No	No

D.2. Selección de Lubricantes y opciones de Fabricantes

Tabla 20: Selección lubricantes, fabricantes.

Fuente: Elaboración propia.

Lubricación		Fabricantes				
		Mobil	Shell	Castrol	Belray	Otro
Engrasado genérico	EP 2	Mobilux EP2 - Mobilgrease XHP222	Shell Alvania EP2	Pyroplex Red EP 2	Molyube® 1% Moly Extreme Pressure Grease 680-1	-
Sistema y unidad hidráulica	ISO VG 32	Mobil-DTE-24	Shell Telluz S2 M 32	Castrol Hyspin VG 32	-	-
	ISO VG 46	Mobil-DTE-25	Shell Tellus S2 M 46	Castrol Hyspin VG 46	Raylene Ashless Multi-Viscosity Hydraulic Oil	-
	ISO VG 68	Mobil-DTE-26	Shell Telluz S2 M 68	Hydraulic Oil 68	-	-
Caja engranajes	ISO VG 150	Mobil SHC Gear Serie 150	Shell Omala S2 G 150	Castrol Optigear BM 150	100 Gear Oil Extreme Pressure Gear 150	-
	ISO VG 220	Castrol Optigear BM 220	Shell Omala S2 G 220	Castrol Optigear BM 220	100 Gear Oil Extreme Pressure Gear 220	-
Transmisiones	SAE 10W	Mobil Delvac Hydraulic 10W	Shell SPIRAX-S4-CX 10W	-	Transmission Oil TO- 4	-
Engranajes abiertos (molinos)		-	Shell Gadus S2 OG	-	Clear Gear Lubricant	Ceplattyn Kg 10 LC
Acomplamiento		Mobilgrease XTC	Shell Alvania Grease CG	-	-	Molykote D-321
Lubricación automática		-	TACTIC EMV	-	-	LUBRI-Cup em
Cadenas		Mobil FM 100 Spray Lubricant	-	-	Waterproof chain lubricant	Ceplattyn 300 Spray
Compresores		Mobil DTE light	Shell Corena S4 R	Castrol Aircol SR 32	Anti-Wear Lubricant 32	-
Motor	Rodamientos	Mobil Polyrex EM 103	-	-	-	-
	Actuadores	-	Shell Alvania 1029	-	-	-

D.3. Tablas Plan Matriz y Unidad de Lubricación

D.3.1. Plan Matriz de Lubricación

Tabla 21: Puntos y Frecuencias de Lubricación.

Fuente: Elaboración propia.

Área	Equipo	Pto Lubricación		Actividad	Frecuencia	Lubricante	
PRM	Correa R03	Sistema rodado	Rodamientos	Lubricar	Mensual	Dispensador automático EP2	
			Lubricador	Inspeccionar	Mensual	-	
			Descansos	Lubricar	Mensual	Dispensador automático EP2	
		Sistema transmisión	Rodamientos	Lubricar	Mensual	Dispensador automático EP2	
			Motor-Reductor	Cambiar/Muestra aceite	Mensual	ISOVG 46	
			Descansos	Lubricar	Mensual	Dispensador automático EP2	
			Reductor	Lubricar	c/3 meses	Shell Alvania 1029	
	Correa Tubular	Sistema rodado	Rodamientos	Lubricar	Mensual	Dispensador automático EP2	
			Descansos	Lubricar	Mensual	Dispensador automático EP2	
			Lubricador	Inspeccionar	Quincenal	-	
		Sistema transmisión	Rodamientos	Lubricar	Mensual	Dispensador automático EP2	
			Motor-Reductor	Cambiar/Muestra aceite	Quincenal	ISOVG 46	
			Descansos	Lubricar	Mensual	Dispensador automático EP2	
			Reductor	Lubricar	c/3 meses	Shell Alvania 1029	
PSF	Correa Pesométrica	Sistema rodado	Descansos	Lubricar	Mensual	Dispensador automático EP2	
			Rodamientos	Lubricar	Mensual	Dispensador automático EP2	
			Lubricador	Inspeccionar	Mensual	-	
		Sistema transmisión	Rodamientos	Lubricar	Mensual	Dispensador automático EP2	
			Reductor	Cambiar aceite	Mensual	-	
			Descansos	Lubricar	Mensual	Dispensador automático EP2	
			Reductor	Lubricar	c/3 meses	Shell Alvania 1029	
	Ventilador aire combustión	Damper	Sistema completo	Inspeccionar	Semanal	-	
				Inspeccionar	Anual	-	
			Cilindro actuador	Lubricar	Trimestral	Shell Alvania 1029	
			Tensores	Lubricar	Trimestral	Shell Alvania 1029	
		Descansos	Inspeccionar		Trimestral	-	
					Retirar grasa	Trimestral	-
					Lubricar	c/3 meses	Grasa EP2
		Rodamiento		Lubricar	c/3 meses	Grasa EP2	
		Acoplamiento	Inspeccionar		Trimestral	-	
					Retirar grasa	Trimestral	-
					Lubricar	c/3 meses	Grasa EP2
	Ventilador descarga	Damper	Mecanismo Actuador	Inspeccionar	Semanal	-	
			Tensores	Lubricar	c/3 meses	Shell Alvania 1029	
		Machones	Componentes	Inspeccionar	Quincenal	-	
		Descansos	Inspeccionar		Trimestral	-	
					Retirar grasa	Trimestral	-
					Lubricar	c/3 meses	Grasa EP2
		Acoplamiento	Inspeccionar		Trimestral	-	
					Retirar grasa	Trimestral	-
	Lubricar				c/3 meses	Grasa EP2	

PSF	Ventilador fluidización	Damper	Mecanismo Actuador	Inspeccionar	Semanal	-
			Tensores	Lubricar	c/3 meses	Shell Alvania 1029
		Machones	Componentes	Inspeccionar	Quincenal	-
		Descansos		Inspeccionar	Trimestral	-
				Retirar grasa	Trimestral	-
				Lubricar	c/3 meses	Grasa EP2
		Acoplamiento		Inspeccionar	Trimestral	-
				Retirar grasa	Trimestral	-
				Lubricar	c/3 meses	Grasa EP2
CT5	CT5	Polines	Axiales	Lubricar	Semanal	Grasa Extreme Pressure
			Radiales	Lubricar	Semanal	
		Bogiflex	Dentado	Lubricar	Quincenal	
			Rodamientos rodillos	Lubricar	Quincenal	Grasa EP2
			Rodamientos sin piñón	Lubricar	Quincenal	Grasa EP2
			Rótulas barras	Lubricar	Quincenal	Grasa EP2
			Transmisión Cardán	Lubricar	Mensual	Grasa EP2
	Máquina Taponeadora de Metal Blanco	Pasadores		Lubricar	Semanal	Grasa EP2
		Brazo telescópico		Lubricar	Semanal	Grasa Extreme Pressure
MALIGAS	Campana	Bomba 580	Acoplamiento	Lubricar	Mensual	Grasa EP2
			Impulsor	Lubricar	Mensual	Grasa EP2
			Motor	Lubricar	C/ 3 meses	Mobil Polyrex EM 103
		Bomba 581	Acoplamiento	Lubricar	Mensual	Grasa EP2
			Impulsor	Lubricar	Mensual	Grasa EP2
			Motor	Lubricar	C/ 3 meses	Mobil Polyrex EM 103
		Bomba 582	Acoplamiento	Lubricar	Mensual	Grasa EP2
			Impulsor	Lubricar	Mensual	Grasa EP2
			Motor	Lubricar	C/ 3 meses	Mobil Polyrex EM 103
		Bomba 184	Acoplamiento	Lubricar	Mensual	Grasa EP2
			Impulsor	Lubricar	Mensual	Grasa EP2
			Motor	Lubricar	C/ 3 meses	Mobil Polyrex EM 103
		Bomba 185	Acoplamiento	Lubricar	Mensual	Grasa EP2
			Impulsor	Lubricar	Mensual	Grasa EP2
			Motor	Lubricar	C/ 3 meses	Mobil Polyrex EM 103
		Winche Compuerta	Cuerda metálica	Lubricar	Mensual	Spray
			Polea	Lubricar	Mensual	Grasa Extreme Pressure
			Descansos	Lubricar	Mensual	Grasa Extreme Pressure
		Compuerta trasera	Sistema oleohidráulico	Cambiar aceite	Anual	ISO VG 46
				Inspeccionar	Semanal	-
			Cilindro	Lubricar	Semanal	Grasa EP2
			Filtro de venteo	Limpiar	Mensual	-
			Sistema de cañerías	Inspeccionar	Mensual	Filtraciones

MALIGAS	Cámara de Polvo	Válvula rotatoria de descarga	Descansos	Lubricar	Mensual	Grasa EP2
			Rodamientos	Lubricar	Mensual	Grasa EP2
			Cadena	Lubricar	Quincenal	Spray
			Caja empaquetadura	Lubricar	Mensual	Grasa EP2
			Piñones	Lubricar	Anual	Grasa EP2
			Pistón	Lubricar	Mensual	Grasa EP2
			Reductor	Lubricar	Mensual	Grasa EP2
	Torre de Enfriamiento	Bomba 511	Acoplamiento	Lubricar	Mensual	Grasa EP2
			Impulsor	Lubricar	Mensual	Grasa EP2
			Motor	Lubricar	C/ 3 meses	Mobil Polyrex EM 103
		Bomba 512	Acoplamiento	Lubricar	Mensual	Grasa EP2
			Impulsor	Lubricar	Mensual	Grasa EP2
			Motor	Lubricar	C/ 3 meses	Mobil Polyrex EM 103
		Bomba 601	Acoplamiento	Lubricar	Mensual	Grasa EP2
			Impulsor	Lubricar	Mensual	Grasa EP2
			Motor	Lubricar	C/ 3 meses	Mobil Polyrex EM 103
		Bomba 602	Acoplamiento	Lubricar	Mensual	Grasa EP2
			Impulsor	Lubricar	Mensual	Grasa EP2
			Motor	Lubricar	C/ 3 meses	Mobil Polyrex EM 103
		Rastras transportadoras de polvo	Cadena	Lubricar	Quincenal	Spray
			Piñones	Lubricar	Anual	Grasa EP2
			Rodamientos	Lubricar	Mensual	Grasa EP2
			Caja empaquetadura	Lubricar	Mensual	Grasa EP2
			Descansos	Lubricar	Mensual	Grasa EP2
	Precipitador	Martillos de Golpeo	Martillo de Electrodo	Lubricar	C/ 3 meses	ISO VG 220
			Martillo de Placa	Lubricar	C/ 3 meses	ISO VG 220
			Martillo de Tolva	Lubricar	C/ 3 meses	ISO VG 220
			Martillo de Pantalla	Lubricar	C/ 3 meses	ISO VG 220
CC	Turbocompresor 2	Bomba auxiliar	Estanque	Cambiar aceite	Semestral	Mobil DTE Light
			Filtro Aceite	Cambiar	C/3 Meses	-
			Cámara combustión	Inspeccionar	Mensual	Nivel de aceite
			Radiador Aceite	Limpiar	C/3 Meses	-
		Bomba retorno	Caja Reductora	Cambiar aceite	Semestral	ISO VG 86
	Turbocompresor 7	Bomba auxiliar	Estanque	Cambiar aceite	Semestral	Mobil DTE Light
			Filtro Aceite	Cambiar	C/3 Meses	-
			Cámara combustión	Inspeccionar	Mensual	Nivel de aceite
			Radiador Aceite	Limpiar	C/3 Meses	-
		Bomba retorno	Caja Reductora	Cambiar aceite	Semestral	ISO VG 86

PAS	Soplador C400 A	Estanque lubricación		Inspeccionar	Diaria	-
		Sellos mecánicos		Lubricar	c/3 Meses	Grasa EP2
		Bombas principal aceite		Inspeccionar	Diaria	-
				Cambiar aceite	Anual	ISO VG 46
	Soplador C400 B	Estanque lubricación		Inspeccionar	Diaria	-
		Sellos mecánicos		Lubricar	c/3 Meses	Grasa EP2
		Bombas principal aceite		Inspeccionar	Diaria	-
				Cambiar aceite	Anual	ISO VG 46
PFE	Bombas cajón Descarga Molino	Porta-rodamientos	Descansos	Inspeccionar	Diaria	Estado lubricación grasa
		Rodamientos porta-rodamientos	Descanso lado bomba	Lubricar	Mensual	Grasa EP2
			Descanso lado polea	Lubricar	Mensual	Grasa EP2
	Cajón alimentación Molino Bolas	Polea deflectora Frontal	Buje interior	Lubricar	Mensual	Grasa EP2
			Cojinetes	Lubricar	Mensual	Grasa EP2
		Winche RUFNEK RN20	Cable	Lubricar	Mensual	Grasa EP2
		Ruedas chute móvil	Cojinetes	Lubricar	Mensual	Grasa EP2
			Bujes	Lubricar	Mensual	Grasa EP2
	Chute movil alimentación Molino SAG	Polea deflectora Frontal	Buje interior	Lubricar	Mensual	Grasa EP2
			Cojinetes	Lubricar	Mensual	Grasa EP2
		Winche RUFNEK RN20	Cable	Lubricar	Mensual	Grasa EP2
		Winche RUFNEK RN20	Reductor	Inspeccionar	Semestral	Nivel de aceite
		Ruedas chute móvil	Cojinetes	Lubricar	Mensual	Grasa EP2
			Bujes	Lubricar	Mensual	Grasa EP2
	Molino Bolas	Muñon lado alimentación	Sello laberinto grasa del rodamiento	Inspeccionar/Limpiar	Semanal	Estado lubricación grasa
		Descansos principales Trunnions	Rodamientos de rodillos	Inspeccionar	Semanal	Estado lubricación grasa
			Tambor Molub Alloy 860/460-2	Inspeccionar	Semanal	Nivel de grasa
				Cambiar	Mensual	-
			Bomba LINCOLN	Inspeccionar	Semanal	Estado lubricación grasa
			Filtro lubricador línea de aire	Lubricar	Semanal	SAE 10W
		Eje-piñon y corona	Tambor Cepiattyn KG10 LC/ Belsay ClearGear MV	Inspeccionar	Semanal	Nivel de grasa
				Cambiar	Mensual	-
			Bomba LINCOLN	Inspeccionar	Semanal	Estado lubricación grasa
			Filtro lubricador línea de aire	Lubricar	Semanal	SAE 10W
			Rodamientos	Muestra aceite	Trimestral	

PFE	Molino Bolas	Motor principal	Descansos bomba DRIVE	Inspeccionar	Semanal	Nivel de aceite
				Limpiar	Mensual	-
				Cambiar aceite	Anual	Aceite ISO VG 68
		Descansos bomba NON DRIVE	Unidad hidráulica	Inspeccionar	Semanal	Nivel de aceite
				Limpiar	Mensual	-
				Cambiar aceite	Anual	Aceite ISO VG 68
		Descansos piñón	Unidad hidráulica	Inspeccionar/Limpiar	Semanal	Nivel de aceite
				Muestra aceite	Mensual	Aceite ISO VG 220
		Eje piñón	Sello lateral "V-Ring"	Lubricar	Mensual	Mobil Polyrex EM 103
			Filtro de aceite y respiraderos	Inspeccionar	Mensual	-
				Cambiar	Anual	-
			Unidad hidráulica: rodamientos	Muestra aceite	Semestral	-
			Unidad hidráulica: Descansos	Cambiar aceite	Anual	Aceite ISO VG 220
		Inching Drive	Reductor planetario	Inspeccionar	Trimestral	Nivel de aceite
				Muestra aceite	Trimestral	-
				Cambiar/Muestra aceite	Anual	Aceite ISO VG 220
			Unidad hidráulica	Inspeccionar	Trimestral	Nivel de aceite
				Muestra aceite	Trimestral	
				Cambiar aceite	Anual	Aceite ISO VG 46
			Acoplamiento	Lubricar	Mensual	Molykote D321
	Molino SAG	Muñon lado alimentación	Sello laberinto grasa del rodamiento	Inspeccionar/Limpiar	Semanal	Estado lubricación grasa
		Descansos principales Trunnions	Rodamientos de rodillos	Inspeccionar	Semanal	Estado lubricación grasa
			Tambor Mohb Alloy 860/460-2	Inspeccionar	Semanal	Nivel de grasa
				Cambiar	Mensual	-
			Bomba LINCOLN	Inspeccionar	Semanal	Estado lubricación grasa
			Filtro lubricador línea de aire	Lubricar	Semanal	SAE 10W
		Piñon - corona	Tambor Ceplattyn KG10 LC/ Belsay ClearGear MV	Inspeccionar	Semanal	Nivel de grasa
				Cambiar	Mensual	-
			Bomba LINCOLN	Inspeccionar	Semanal	Estado lubricación grasa
			Filtro lubricador línea de aire	Lubricar	Semanal	SAE 10W
		Motor principal	Descansos DRIVE: Rodamientos	Lubricar	Semestral	Mobil Polyrex EM 103
			Descansos NON DRIVE: Rodamientos	Lubricar	Semestral	Mobil Polyrex EM 103
		Descansos piñón	Unidad hidráulica	Inspeccionar/Limpiar	Semanal	Nivel de aceite

PFE	Molino SAG	Reductor Principal	Filtro de aceite y respiraderos	Inspeccionar	Mensual	-
				Cambiar	Anual	-
			Unidad hidráulica	Inspeccionar/Limpiar	Semanal	Nivel de aceite
				Muestra aceite	Mensual	ISO VG 220
		Eje piñón	Sello lateral "V-Ring"	Lubricar	Mensual	Mobil Polyrex EM 103
			Filtro de aceite y respiraderos	Inspeccionar	Mensual	-
				Cambiar	Anual	-
			Unidad hidráulica: rodamientos	Muestra aceite	Trimestral	Aceite ISO VG 220
				Muestra aceite	Trimestral	-
			Unidad hidráulica: Descansos	Inspeccionar/Limpiar	Trimestral	-
				Cambiar aceite	Anual	Aceite ISO VG 220
			Acoplamiento LSS del reductor	Lubricar	Semestral	Mobil Grease XTC
		Inching Drive	Reductor	Inspeccionar	Trimestral	Nivel de aceite
				Muestra aceite	Trimestral	-
				Cambiar/Muestra aceite	Anual	Aceite ISO VG 220
			Acoplamiento	Lubricar	Mensual	Molykote D321
	Filtro Prensa Concentrado	Unidad Hidráulica	Gabinete	Inspeccionar	Semanal	Nivel de aceite
		Cadenas y sprockets		Inspeccionar	Semanal	Estado lubricación grasa
		Rodillos de placas		Lubricar	Semanal	Grasa EP2
		Rodillo Motriz	Rodamientos	Lubricar	Semanal	Grasa EP2
		Rodillo Guía	Rodamientos	Lubricar	Semanal	Grasa EP2
		Rodillo centrador	Rodamientos	Lubricar	Semanal	Grasa EP2
		Rodillo de Presión		Lubricar	Semanal	Grasa EP2
		Rodillo de impulso		Lubricar	Quincenal	Grasa EP2
		Descansos rodillo de batea	Rodamientos	Lubricar	Quincenal	Grasa EP2
		Cilindros de Pasadores de bloqueo		Lubricar	Quincenal	Grasa EP2
		Cilindros de acción rápida	Circuito hidráulico	Inspeccionar	Bimensual	-
		Cilindros de Sellado	Circuito hidráulico	Inspeccionar	Bimensual	-
		Cilindros de Pasadores	Circuito hidráulico	Inspeccionar	Bimensual	-
		Rodillo tensor	Cadena	Lubricar	Quincenal	Grasa EP2
			Piñones Sprockets	Lubricar	Quincenal	Grasa EP2
		Unidad Hidráulica		Cambiar aceite	Bimensual	ISO VG 46
				Cambiar/Muestra aceite	Semestral	
				Cambiar filtros/muestra aceite	Semestral	-

PFE	Filtro cerámico 1	Válvulas de distribución		Inspeccionar	Diaria	-
				Lubricar	Mensual	Grasa EP2
		Rodamientos	Sistema de lubricación	Inspeccionar	Diaria	-
		Bomba de líquido Filtrado KSB MCPK		Lubricar	Semanal	Aceite ISO VG 46
				Cambiar aceite	Anual	Aceite ISO VG 46
		Bomba de ácido milton roy		Lubricar	Semanal	Aceite ISO VG 150
				Cambiar aceite	Anual	Aceite ISO VG 150
		Tambor de Placas	Reductor planetario	Lubricar	Mensual	Aceite ISO VG 150
			Rodamientos	Lubricar	Mensual	Grasa EP2
			Engranaje planetario	Cambiar aceite	Anual	Aceite ISO VG 150
		Agitador de rastras	Reductor del movimiento	Lubricar	Mensual	Aceite ISO VG 220
			Rodamientos	Lubricar	Mensual	Grasa EP2
			Engranaje planetario	Cambiar aceite	Anual	Aceite ISO VG 220
	Filtro cerámico 2	Válvulas de distribución		Inspeccionar	Diaria	-
				Lubricar	Mensual	Grasa EP2
		Rodamientos	Sistema de lubricación	Inspeccionar	Diaria	-
		Bomba de líquido Filtrado KSB MCPK		Lubricar	Semanal	Aceite ISO VG 46
				Cambiar aceite	Anual	Aceite ISO VG 46
		Bomba de ácido milton roy		Lubricar	Semanal	Aceite ISO VG 150
				Cambiar aceite	Anual	Aceite ISO VG 150
		Tambor de Placas	Reductor planetario	Lubricar	Mensual	Aceite ISO VG 150
			Rodamientos	Lubricar	Mensual	Grasa EP2
			Engranaje planetario	Cambiar aceite	Anual	Aceite ISO VG 150
		Agitador de rastras	Reductor del movimiento	Lubricar	Mensual	Aceite ISO VG 220
			Rodamientos	Cambiar aceite	Mensual	Grasa EP2
			Engranaje planetario	Cambiar aceite	Anual	Aceite ISO VG 220
Refinería	MPCI	Sistema brazo alimentador	Bujes	Lubricar	Mensual	SAE W40
			Rótulas cilindro	Lubricar	Mensual	Grasa EP2
		Sistema centrador láminas	Rodamiento mesa centradora	Lubricar	Mensual	Grasa EP2
			Cadena de polines centradores	Lubricar	Semanal	Spray
			Rótula y soporte cilindro neumático	Lubricar	Mensual	Grasa EP2
		Sistema Mesa Alisadora	Rodamientos	Lubricar	Mensual	Grasa EP2
			Polines centradores	Lubricar	Mensual	Grasa EP2
		Sistema mesa estación espera	Cadena	Lubricar	Semanal	Spray
			Polines	Lubricar	Mensual	Grasa EP2
			Piñones	Lubricar	Mensual	Grasa EP2
		Sistema cadena transportadora de hojas sin	Pillow Block	Lubricar	Mensual	Grasa EP2
			Cadenas	Lubricar	Semanal	Spray

Refinería	MPCI	Sistema alimentador de barras	Rótula y soporte cilindro neumático	Lubricar	Mensual	Grasa EP2
		Sistema Neumático Alimentador de Orejas	Rótula y soporte cilindro neumático	Lubricar	Mensual	Grasa EP2
		Sistema mesa sube y baja	Rótula y soporte cilindro neumático	Lubricar	Mensual	Grasa EP2
			Pillow Block	Lubricar	Mensual	Grasa EP2
		Sistema remachado	Rótula y soporte cilindro dobladores	Lubricar	Mensual	Grasa EP2
			Rótula y soporte cilindro mov horizontal	Lubricar	Mensual	Grasa EP2
		Sistema volteo y descarga	Rótula y soporte cilindro neumático	Lubricar	Mensual	Grasa EP2
		Sistema cadena transportadora de hojas remachadas	Pillow Block	Lubricar	Mensual	Grasa EP2
	Sistema central hidráulico			Cambiar aceite	Mensual	ISO VG 32
	MLC	Cilindro Centrador	Conexión oleohidráulica	Inspeccionar	Semanal	-
		Conveyor Salida	Unidad oleohidráulica	Lubricar	Mensual	ISO VG 46
			Manguera oleohidráulica	Inspeccionar	Semanal	-
		Sistema central hidráulico	Estanque	Cambiar aceite	Mensual	ISO VG 32
			Bujes	Lubricar	Mensual	Grasa EP2
			Bomba Recirculación	Inspeccionar	Semanal	Nivel de aceite
			Bomba 620	Inspeccionar	Semanal	Nivel de aceite
		Sistema apilador	Cilindro y manguera	Lubricar	Mensual	Grasa EP2
		Sistema cadena transportadora	Pillow Block	Lubricar	Mensual	Grasa EP2
			Cadenas	Lubricar	Semanal	Spray
			Descansos sistema motriz	Lubricar	Mensual	Grasa EP2
			Descansos sistema tensor	Lubricar	Mensual	Grasa EP2
		Ruedas	Descanso ejes	Lubricar	Mensual	Grasa EP2
		Rodillos	Cadenas	Lubricar	Semanal	Spray
		Volteador	Descansos	Lubricar	Mensual	Grasa EP2
		Ejes paralelos	Reductor	Lubricar	Anual	ISO VG 46
		Corona sinfin	Reductor	Lubricar	Anual	ISO VG 46

D.3.2. Unidad de Lubricación

Tabla 22: Puntos y Tiempos de Lubricación.

Fuente: Elaboración propia.

Área	Equipo	Pto Lubricación		Frecuencia	Tiempo Principal [min]	Tiempo Principal [h]
PRM	Correa 003 COR001	Sistema transmisión	Reductor	Mensual	10	0,167
	Correa Tubular	Sistema transmisión	Reductor	Mensual	10	0,167
PFS	Correa Pesométrica	Sistema transmisión	Reductor	Mensual	10	0,167
	Ventilador Aire Combustión	Damper	Cilindro actuador	Trimestral	5	0,084
			Tensores	Trimestral	10	0,167
		Descansos		c/3 meses	20	0,334
		Rodamientos		c/3 meses	60	1,000
		Acomplamientos		c/3 meses	30	0,500
	Ventilador descarga	Damper	Tensores	c/3 meses	10	0,167
		Descansos		c/3 meses	20	0,334
		Acomplamientos		c/3 meses	30	0,500
		Rodamientos		c/3 meses	60	1,000
	Ventilador fluidización	Damper	Tensores	c/3 meses	10	0,167
		Rodamientos		c/3 meses	60	1,000
		Acomplamientos		c/3 meses	30	0,500
		Descansos		c/3 meses	20	0,334
CT5	CT5	Polines	Axiales	Semanal	60	1,000
			Radiales	Semanal	60	1,000
		Bogiflex	Dentado	Quincenal	60	1,000
			Rodamientos rodillos	Quincenal	30	0,500
			Rodamientos sin piñón	Quincenal	30	0,500
			Rótulas barras	Quincenal	30	0,500
			Transmisión Cardán	Mensual	20	0,334
	Maquina Taponeadora de Metal Blanco	Pasadores		Semanal	40	0,667
Brazo telescópico		Semanal	10	0,167		
MALIGAS	Campana	Bomba 580	Acoplamiento	Mensual	30	0,500
			Impulsor	Mensual	20	0,334
			Motor	C/ 3 meses	20	0,334
		Bomba 581	Acoplamiento	Mensual	30	0,500
			Impulsor	Mensual	20	0,334
			Motor	C/ 3 meses	20	0,334
		Bomba 582	Acoplamiento	Mensual	30	0,500
			Impulsor	Mensual	20	0,334
			Motor	C/ 3 meses	20	0,334
		Bomba 184	Acoplamiento	Mensual	30	0,500
			Impulsor	Mensual	20	0,334
			Motor	C/ 3 meses	20	0,334

MALIGAS	Campana	Bomba 185	Acoplamiento	Mensual	30	0,500
			Impulsor	Mensual	20	0,334
			Motor	C/ 3 meses	20	0,334
		Winche Compuerta	Cuerda metálica	Mensual	10	0,167
			Polea	Mensual	20	0,334
			Descansos	Mensual	20	0,334
		Compuerta trasera	Cilindro	Semanal	5	0,084
	Cámara de Polvo	Válvula rotatoria de descarga	Descansos	Mensual	20	0,334
			Rodamientos	Mensual	20	0,334
			Cadena	Quincenal	5	0,084
			Caja empaquetadura	Mensual	20	0,334
			Piñones	Anual	10	0,167
			Pistón	Mensual	20	0,334
			Reductor	Mensual	39	0,650
	Torre de Enfriamiento	Bomba 511	Acoplamiento	Mensual	30	0,500
			Impulsor	Mensual	20	0,334
			Motor	C/ 3 meses	20	0,334
		Bomba 512	Acoplamiento	Mensual	30	0,500
			Impulsor	Mensual	20	0,334
			Motor	C/ 3 meses	20	0,334
		Bomba 601	Acoplamiento	Mensual	30	0,500
			Impulsor	Mensual	20	0,334
			Motor	C/ 3 meses	20	0,334
		Bomba 602	Acoplamiento	Mensual	30	0,500
			Impulsor	Mensual	20	0,334
			Motor	C/ 3 meses	20	0,334
		Rastra transportadora de polvo	Cadena	Quincenal	5	0,084
			Piñones	Anual	10	0,167
			Rodamientos	Mensual	20	0,334
			Caja empaquetadura	Mensual	20	0,334
			Descansos	Mensual	20	0,334
	Precipitador	Martillos de Golpeo	Martillo de Electrodo	C/ 3 meses	30	0,500
			Martillo de Placa	C/ 3 meses	30	0,500
			Martillo de Tolva	C/ 3 meses	30	0,500
			Martillo de Pantalla	C/ 3 meses	30	0,500
PAS	Soplador C 400 A	Sellos mecánicos		c/3 Meses	20	0,334
	Soplador C 400 B	Sellos mecánicos		c/3 Meses	20	0,334

PFE	Bombas cajón Descarga Molino	Rodamientos porta- rodamientos	Descanso lado bomba	Mensual	20	0,334
			Descanso lado polea	Mensual	20	0,334
	Cajón alimentación Molino Bolas	Polea deflectora Frontal	Buje interior	Mensual	10	0,167
			Cojinetes	Mensual	20	0,334
		Winche RUFNEK RN20	Cable	Mensual	5	0,084
		Ruedas chute móvil	Cojinetes	Mensual	20	0,334
			Bujes	Mensual	10	0,167
	Chute movil alimentación Molino SAG	Polea deflectora Frontal	Buje interior	Mensual	10	0,167
			Cojinetes	Mensual	5	0,084
		Winche RUFNEK RN20	Cable	Mensual	5	0,084
		Ruedas chute móvil	Cojinetes	Mensual	20	0,334
			Bujes	Mensual	10	0,167
	Molino de Bolas	Descansos	Filtro lubricador línea de aire	Semanal	20	0,334
		Eje piñón-corona	Filtro lubricador línea de aire	Semanal	20	0,334
		Eje piñón	Sello lateral "V- Ring"	Mensual	20	0,334
		Inching Drive	Acoplamiento	Mensual	30	0,500
	Molino SAG	Descansos principales Trunnions	Filtro lubricador línea de aire	Semanal	20	0,334
		Piñon - corona	Filtro lubricador línea de aire	Semanal	20	0,334
		Motor principal	Descansos DRIVE: Rodamientos	Semestral	20	0,334
			Descansos NON DRIVE: Rodamientos	Semestral	20	0,334
		Eje piñón	Sello lateral "V- Ring"	Mensual	20	0,334
			Acoplamiento LSS del reductor	Semestral	40	0,667
		Inching Drive	Acoplamiento	Mensual	30	0,500
	Filtro Prensa Concentrado	Rodillos de placas		Semanal	10	0,167
		Rodillo Motriz	Rodamientos	Semanal	20	0,334
		Rodillo Guía	Rodamientos	Semanal	20	0,334
		Rodillo centrador	Rodamientos	Semanal	20	0,334
		Rodillo de Presión		Semanal	10	0,167
		Rodillo de impulso		Quincenal	10	0,167

PFE	Filtro Prensa Concentrado	Descansos rodillo de batea	Rodamientos	Semanal	20	0,334
		Cilindros de Pasadores de bloqueo		Quincenal	10	0,167
		Rodillo tensor	Cadena	Quincenal	5	0,084
			Piñones Sprockets	Quincenal	10	0,167
	Filtro cerámico 1	Válvulas de distribución		Mensual	30	0,500
		Bomba de líquido Filtrado KSB MCPK		Semanal	20	0,334
		Bomba de ácido milton roy		Semanal	20	0,334
		Tambor de Placas	Reductor planetario	Mensual	10	0,167
			Rodamientos	Mensual	20	0,334
		Agitador de rastras	Reductor del movimiento	Mensual	10	0,167
			Rodamientos	Mensual	20	0,334
	Filtro cerámico 2	Válvulas de distribución		Mensual	30	0,500
		Bomba de líquido Filtrado KSB MCPK		Semanal	20	0,334
		Bomba de ácido milton roy		Semanal	20	0,334
		Tambor de Placas	Reductor planetario	Mensual	10	0,167
			Rodamientos	Mensual	20	0,334
		Agitador de rastras	Reductor del movimiento	Mensual	10	0,167
Refinería	MPCI	Sistema brazo alimentador	Bujes	Mensual	10	0,167
			Rótulas cilindro	Mensual	20	0,334
		Sistema centrador láminas	Rodamiento mesa centradora	Mensual	20	0,334
			Cadena de polines centradores	Semanal	5	0,084
			Rótula y soporte cilindro neumático	Mensual	10	0,167
		Sistema Mesa Alisadora	Rodamientos	Mensual	20	0,334
			Polines centradores	Mensual	20	0,334
		Sistema mesa estación espera	Cadena	Semanal	5	0,084
			Polines	Mensual	20	0,334
			Piñones	Mensual	10	0,167
		Sistema cadena transportadora de hojas sin	Pillow Block	Mensual	15	0,250
			Cadenas	Semanal	5	0,084
		Sistema alimentador de barras	Rótula y soporte cilindro neumático	Mensual	10	0,167

Refinería	MPCI	Sistema Neumático Alimentador de Orejas	Rótula y soporte cilindro neumático	Mensual	10	0,167
		Sistema mesa sube y baja	Rótula y soporte cilindro neumático	Mensual	10	0,167
			Pillow Block	Mensual	15	0,250
		Sistema remachado	Rótula y soporte cilindro dobladores	Mensual	10	0,167
			Rótula y soporte cilindro mov horizontal	Mensual	10	0,167
		Sistema volteo y descarga	Rótula y soporte cilindro neumático	Mensual	10	0,167
		Sistema cadena transportadora de hojas remachadas	Pillow Block	Mensual	15	0,250
	MLC	Conveyor Salida	Unidad oleohidráulica	Mensual	20	0,334
		Sistema central hidráulico	Bujes	Mensual	10	0,167
		Sistema apilador	Cilindro y manguera	Mensual	10	0,167
		Sistema cadena transportadora	Pillow Block	Mensual	15	0,250
			Cadenas	Semanal	5	0,084
			Descansos sistema motriz	Mensual	20	0,334
			Descansos sistema tensor	Mensual	20	0,334
		Ruedas	Descanso ejes	Mensual	20	0,334
		Rodillos	Cadenas	Semanal	5	0,084
		Volteador	Descansos	Mensual	20	0,334
		Ejes paralelos	Reductor	Anual	10	0,167
		Corona sinfin	Reductor	Anual	10	0,167