

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL MECÁNICA
VALPARAÍSO – CHILE



“PROPUESTA DE MEJORA DE SISTEMA DE LUBRICACIÓN EN TAMBORES
AGLOMERADORES PARA COBRE OXIDADO EN UNA EMPRESA MINERA DEL ESTADO
EN LA SEGUNDA REGIÓN.”

SALVADOR BARROS ROJAS

PROFESOR GUÍA: RENÉ VALDENEGRO OYANEDER

PROFESOR CO-REFERENTE: PEDRO SARIEGO PASTÉN

MEMORIA PARA OPTAR A TÍTULO DE INGENIERO CIVIL MECÁNICO

2024

1. Resumen ejecutivo

El presente trabajo se realizó en CODELCO, División Chuquicamata, a cargo de la Superintendencia de Mantenimiento de la Gerencia de Extracción y Lixiviación. Esta tesis tiene como principal objetivo proponer una tecnología que mejore el proceso de lubricación de tambores aglomeradores para cobre oxidado, esto con la finalidad de modernizar el proceso, disminuir las horas hombre utilizadas en el mismo, aumentar la eficiencia del sistema actual y eliminar las pérdidas asociadas al proceso mediante el uso de métodos de mejora continua.

Para el desarrollo de este trabajo de título se utilizó la norma ISO 31.000 como guía, la cual se enfoca en la gestión o administración del riesgo. La aplicación de esta norma permite crear o proteger el valor de alguna organización, facilitando la toma de decisiones, apoyando a las organizaciones en el establecimiento de sus estrategias y en el cumplimiento de sus objetivos. Su aplicación es adaptable a cualquier organización, contexto o actividad y es aplicable a lo largo de toda la vida de una organización. Se recomienda su utilización de manera iterativa con la finalidad de asegurar un proceso de mejora continua.

El desarrollo del presente trabajo de tesis se enfocó en el proceso de lubricación del sistema de rodado en tambores aglomeradores, debido a que este sistema presenta la mayor cantidad de horas de detención no planificada desde el año 2021 hasta agosto del año 2023 según el informe chanca. La suma de las detenciones de este sistema debido a vibración y temperatura corresponde a un total de 20,35 [horas de apilamiento], lo cual se traduce en 343.000 [USD/año] o en aproximadamente 29.000 [USD/mes]. A través de un análisis FMEA, se identifica que el proceso de lubricación del subsistema piñón-corona no logra controlar algunos modos de falla. Esto, en conjunto con otros factores operacionales, disminuye la vida útil del subsistema de 3 [año], según indica el proveedor, a 1,5 [año]. Se proyecta que la mejora propuesta puede aumentar la vida útil a 2 [año], lo cual se traduce en un ahorro de 171.040 [USD/año] o 14.253 [USD/mes]. A través de un análisis FODA, se identifican como principales riesgos los asociados con la exposición del trabajador. Estos son el riesgo de resbalamiento debido a la grasa derramada, consecuencia del proceso de lubricación actual, y el riesgo de atrapamiento por partes móviles, debido a que el proceso actual se realiza de

manera manual y con el equipo en operación. Las consecuencias de estos riesgos son críticas debido a que pone en riesgo la integridad física del trabajador.

Se definieron requerimientos que permitiesen la mitigación de los riesgos mencionados y se buscó en el mercado tecnologías que cumplieran con estos. Finalmente, se escoge la propuesta de la empresa SKF por cumplir con todos los requerimientos definidos, además de otorgar un servicio de monitoreo en línea y la creación de una base de datos de los puntos de lubricación para dar bases a un mantenimiento predictivo. Esta propuesta tiene un costo de 211.410 [USD] sin incluir el IVA y se proyecta que su costo de implementación será de 2.114,1 [USD] durante 3 meses.

Se realiza un flujo de caja en el cual se observa un EBITDA positivo a partir del noveno mes. Se concluye que la propuesta es viable y que logra mitigar los riesgos identificados, sin embargo, no logra mitigar riesgos asociados a operaciones o a otros componentes/subsistemas del tambor aglomerador.

Se concluye que la norma ISO 31.000 es una herramienta de gran utilidad en la gestión o administración del riesgo.



2. Abstract

This work was carried out at CODELCO, Chuquicamata Division, in charge of the Maintenance Superintendence of the Extraction and Leaching Management. The main objective of this thesis is to propose a technology to improve the process of lubrication of agglomerating drums for oxidized copper, in order to modernize the process, reduce the man hours used in it, increase the efficiency of the current system and eliminate losses associated with the process through the use of continuous improvement methods.

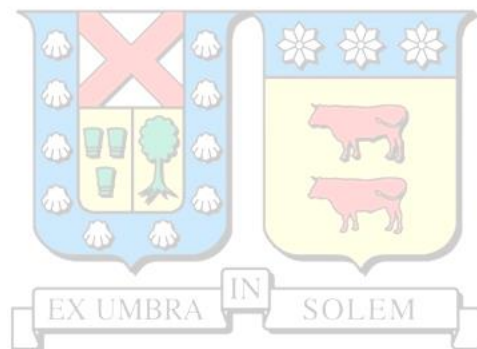
For the development of this degree work, ISO 31,000 was used as a guide, which focuses on risk management or administration. The application of this standard makes it possible to create or protect the value of an organization, facilitating decision making, supporting organizations in establishing their strategies and meeting their objectives. Its application is adaptable to any organization, context or activity and is applicable throughout the life of an organization. Its use is recommended in an iterative manner in order to ensure a process of continuous improvement.

The development of this thesis work focused on the lubrication process of the rolling system in agglomerator drums, because this system presents the highest number of hours of unplanned stoppage from the year 2021 to August 2023 according to the chanca report. The sum of the stoppages of this system due to vibration and temperature corresponds to a total of 20.35 [stacking hours], which translates to 343,000 [USD/year] or approximately 29,000 [USD/month]. Through an FMEA analysis, it is identified that the pinion-crown gear subsystem lubrication process fails to control some failure modes. This, in conjunction with other operational factors, decreases the life of the subsystem from 3 [year], as stated by the supplier, to 1.5 [year]. It is projected that the proposed improvement can increase the useful life to 2 [year], which translates to a savings of 171,040 [USD/year] or 14,253 [USD/month]. Through a SWOT analysis, the main risks are identified as those associated with worker exposure. These are the risk of slipping due to spilled grease, a consequence of the current lubrication process, and the risk of entrapment by moving parts, due to the fact that the current process is performed manually and with the equipment in operation. The consequences of these risks are critical because they put the worker's physical integrity at risk.

Requirements were defined that would allow the mitigation of the mentioned risks and technologies that would comply with them were searched in the market. Finally, SKF's proposal was chosen because it meets all the requirements defined, in addition to providing an online monitoring service and the creation of a database of lubrication points to provide the basis for predictive maintenance. This proposal has a cost of 211,410 [USD] excluding VAT and its implementation cost is projected to be 2,114.1 [USD] for 3 months.

A cash flow is made in which a positive EBITDA is observed from the ninth month onwards. It is concluded that the proposal is viable and that it manages to mitigate the risks associated to the operation and the environment and the risks associated to the worker's exposure.

It is concluded that the ISO 31,000 standard is a very useful tool in risk management or administration.



Índice

1.	Resumen ejecutivo.....	2
2.	Abstract.....	4
3.	Dedicatoria.....	11
4.	Agradecimientos.....	12
5.	Glosario	13
6.	Introducción.....	15
7.	Objetivos.....	16
7.1.	Objetivos generales:	16
7.2.	Objetivos específicos:.....	16
8.	Antecedentes.....	17
8.1.	Chuquicamata, CODELCO.....	17
8.2.	Gerencia de Extracción y Lixiviación.....	19
9.	Marco teórico.....	20
9.1.	ISO 31.000.....	20
9.2.	Tribología	24
9.3.	Lixiviación.....	33
9.4.	Aglomerado y Curado	36
9.5.	PESTEL	37
9.6.	6M.....	38
9.7.	FMEA	39
9.8.	Desperdicios	40
9.9.	FODA	41
10.	Estado del Arte	42

10.1.	Tambor Aglomerador	42
11.	Desarrollo	49
11.1.	Alcance de la Memoria.....	49
11.2.	Contexto global y operacional.....	50
11.3.	Identificación de Variables de Riego.....	58
11.4.	Evaluación y Jerarquización de variables de riesgo.	69
11.5.	Medidas de mitigación.....	75
11.6.	Solución escogida	81
11.7.	Evaluación económica.....	83
12.	Posibles mejoras	85
13.	Comentarios y conclusiones	86
14.	Bibliografía.....	89
15.	Anexos.....	91
15.1.	ETENCIONES DE TAMBORES AGLOMERADORES 2021 – AGOSTO 2023 91	
15.2.	MODOS DE FALLA PIÑÓN-CORONA	92
15.3.	MODOS DE FALLA RODAMIENTOS	94
15.4.	PRECIO COBRE.....	95
15.5.	CALCULO DE PÉRDIDAS	96
15.6.	COSTO PIÑÓN-CORONA.....	96
15.7.	PLANOS.....	97
15.8.	ANEXO 8: DETALLES PROPUESTA SKF.....	98
15.9.	ANEXO 9: DETALLES PROPUESTA BELRAY	103
15.10.	ANEXO 10: DETALLES PROPUESTA H-EPARTS	105

15.11. ANEXO 11: TECNOLOGÍAS CASTROL MFT- TOGA	109
15.12. ANEXO 12: REFERENCIAS A ARACENA (S.F.).....	111

Índice de Figuras

Figura 8.1.1 División Chuquicamata. Fuente: (CODELCO, 2024).	18
Figura 8.1.2: Mapa de procesos DCh. Fuente: (CODELCO, 2024).....	19
Figura 8.2.1: Mapa aéreo PTMP. Fuente: (Google Maps, 2024)	20
Figura 9.1.1: Proceso de aplicación de la norma ISO 31.000. Fuente: (ISO, 2018, p.3).	22
Figura 9.2.1: Diagrama de cuerpo libre. Fuente: (Elaboración propia).....	26
Figura 9.2.2: Diagrama de cuerpo libre. Fuente: (Elaboración propia).....	27
Figura 9.2.3: Representación esquemática de la resistencia de un fluido. Fuente: (Díaz del Castillo, 2007, p. 19).	30
Figura 9.2.4: Esquema para calcular el índice VI de un aceite. Fuente: (Díaz del Castillo, 2007, p. 21).....	32
Figura 9.2.5: Curva de Stribeck. Fuente: (Loehle, 2014, p. 26).	32
Figura 9.3.1: Formación de Pila de Lixiviación. Fuente: (Aracena, s.f., p. 82)	36
Figura 9.4.1: Unión de aglomerados. Fuente: (Aracena, s.f., p. 103).....	37
Figura 10.1.1: Parámetros operacionales tambor aglomerador. Fuente: (Elaboración propia).	42
Figura 10.1.2: Principales partes del tambor aglomerador. Fuente: (Aracena, s.f., p. 111).	44
Figura 10.1.3: Puntos de lubricación sistema de rodado. Fuente: (ANEXO 7).	45
Figura 10.1.4: Rodillos Axiales. Fuente: (Elaboración propia).....	45
Figura 10.1.5: Rodillo Radial. Fuente: (Elaboración propia).	46
Figura 10.1.6: Piñón-corona. Fuente: (Elaboración propia).	47
Figura 10.1.7: Sistema motriz. Fuente: (ANEXO 7).....	48
Figura 10.1.8: Sistema motriz. Fuente: (Elaboración propia).	49
Figura 11.1.1: Distribución de tiempos de detención por NP en tambores aglomeradores. Fuente: (Elaboración propia).	50

Figura 11.2.1: "Logros obtenidos en materia de desarrollo comunitario en el 2020". Fuente: (CODELCO, s.f.).....	52
Figura 11.2.2: Análisis 6M para lubricación de sistema de descansos en tambores aglomeradores. Fuente: (Elaboración propia).	54
Figura 11.2.3: Análisis 6M para lubricación de sistema del piñón-corona en tambores aglomeradores. Fuente: (Elaboración propia).	55
Figura 11.2.4: Derrames de grasa. (Fuente: Elaboración propia).....	56
Figura 11.2.5: Piñón-corona, destaca manguera utilizada para lubricación manual. Fuente: (Elaboración propia).	57
Figura 11.2.6: Piñón-corona, destaca lubricación no homogénea. Fuente: (Elaboración propia).....	57
Figura 11.3.1: Distribución de tiempos de detención por NP en tambores aglomeradores. Fuente: (Elaboración propia).	65
Figura 11.3.2: Riesgos identificados. Fuente: (Elaboración propia).	68
Figura 11.5.1: Estrategia de mitigación de variables de riesgo. Fuente: (Elaboración propia).	76
Figura 11.5.2: Propuesta de BELRAY. Fuente: (ANEXO 15.9).	78
Figura 11.5.3: Propuesta H-EPARTS. Fuente: (ANEXO 15.10).	79
Figura 11.5.4: Propuesta SKF. Fuente: (ANEXO 15.8).	80
Figura 11.5.5: Comparación cualitativa de propuestas. Fuente: (Elaboración propia).	81
Figura 11.6.1: Ventajas comparativas propuesta SKF. Fuente: (Elaboración propia).	83
Figura 11.7.1: Flujo de caja. Fuente: (Elaboración propia).....	85

Índice de Tablas

Tabla 9.3.1: Clasificación del proceso de lixiviación. Fuente: (Elaboración propia).	34
Tabla 11.3.1: Análisis de modos de fallas y efectos de la falla sistema piñón-corona. Fuente: (Elaboración propia).	60
Tabla 11.3.2: Análisis de modos de fallas y efectos de la falla rodillos axiales y rodillos radiales. Fuente: (Elaboración propia).	64

Tabla 11.3.3: Riesgos operacionales y del entorno. Fuente: (Elaboración propia).	66
Tabla 11.3.4: FODA Sistema de lubricación de sistema de rodado de tambor aglomerador DCh. Fuente: (Elaboración propia).	67
Tabla 11.3.5: Riesgos relacionados con el trabajador. Fuente: (Elaboración propia).	68
Tabla 11.4.1: Criterio de Ocurrencia. Fuente: (Elaboración propia).	70
Tabla 11.4.2: Criterios de Consecuencia. Fuente: (Elaboración propia).	70
Tabla 11.4.3: Criterios de Detectabilidad. Fuente: (Elaboración propia).	70
Tabla 11.4.4: Riesgos operacionales y del entorno, evaluación de variables de riesgo. Fuente: (Elaboración propia).	72
Tabla 11.4.5: Riesgos relacionados con el trabajador, evaluación de variables de riesgo. Fuente: (Elaboración propia).	73
Tabla 11.4.6: Evaluación de riesgos. Fuente: (Elaboración propia).	74
Tabla 11.4.7: Jerarquización de riesgos. Fuente: (Elaboración propia).	74
Tabla 11.7.1: Definición de costos. Fuente: (Elaboración propia).	84
Tabla 11.7.2: Definición de ingresos. Fuente: (Elaboración propia).	84

Índice de Ecuaciones

Ecuación 1	26
Ecuación 2	27
Ecuación 3	30
Ecuación 4	30
Ecuación 5	31
Ecuación 6	31
Ecuación 7	31
Ecuación 8	32
Ecuación 9	66
Ecuación 10	71

3. Dedicatoria

Con especial cariño a mi familia, Felipe Raúl Barros Viguera, Ana Alejandra Rojas Carreño, Felipe Antonio Allende Rojas, Felipe Eduardo Barros Guiñez, Martín Barros Rojas, Rafael Barros Rojas y Teodoro Allende Romero, los amo.



4. Agradecimientos

En primer lugar, agradezco a mi familia por el apoyo incondicional y por creer en mí incluso cuando yo no lo hacía, por presionarme cuando lo necesité y por ayudarme en cada etapa de este proceso, especialmente en la etapa final que incluyó un viaje a otra ciudad, una adaptación a un nuevo ambiente laboral y muchas otras dificultades que, sin ustedes, probablemente no habría podido superar. Gracias a mis hermanos por esos momentos de escucha y atención en los que logré no solo sentirme acompañado, sino también, comprendido y gracias a mis papás por esta férrea formación que me han otorgado, sin la cual no sería quién soy.

Agradezco a los profesores que tuve durante mi carrera universitaria, especialmente a René Valdenegro, por la paciencia, la dedicación, por su incansable ayuda en el desarrollo de este trabajo de título y por inspirarme constantemente a mejorar y seguir adelante.

Agradezco de manera muy especial a la gente que me acompañó a lo largo de mi proceso de memoria, los buenos amigos que hice en este tiempo: Emilia, Javiera, Valentina, Brian y Fernando. Jamás olvidaré todo lo compartido. De igual manera agradezco a Andrés Correa, Felipe Mardones, Tiare Bugueño, Luis Zepeda, Gloria Gomez, Felix Guerrero y Rubén Cruz, por su apoyo constante, por guiarme durante este camino y por aportar con toda la información necesaria, de manera rápida y efectiva, muchas gracias.

Finalmente, agradezco a mi maravillosa comunidad de Los Pelícanos. Luego de tantos años juntos es imposible pensar que se podría realizar esto sin haberlos tenido en mi vida, fueron un apoyo único durante este proceso y sé que pase lo que pase lo seguirán siendo, les agradezco los llantos, las tardes de películas/series, las conversaciones profundas y los momentos de distensión. Los amo mucho: Eduardo, Renato, Deborah, Martín, Bryan, Marko, Valentina, Fernanda Antonia, Sofía, Javiera, Katalina, Fernanda Jaqueline, Camila y Vicente, les agradezco en demasía por ser parte de una hermosa etapa de mi vida.

5. Glosario

CODELCO: Corporación del Cobre.

DCh: División Chuquicamata.

EBITDA: Beneficios antes de intereses, depreciación y amortización.

GEL: Gerencia de extracción y lixiviación.

PTMP: Planta de tratamiento de Mineral en Pilas.

SBL: Sulfuros de Baja Ley.

PESTEL: Análisis Político, Social, Tecnológico, Medioambiental y Legislativo.

FODA: Análisis de Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas.

6M: Análisis de Mano de obra, Medio ambiente, Maquinaria, Mediciones, Métodos y Materiales.

NP: Detenciones/Actividades no planificadas.

PL: Detenciones/Actividades planificadas.

MdF: Modo(s) de Falla.

RC: Riesgo(s) Crítico(s).

RG: Riesgo(s) Grave(s).

HSEC: Health (Salud), Security (Seguridad), Enviroment (Medio ambiente), Communities (Comunidades).

SSO: Salud y Seguridad Ocupacional.

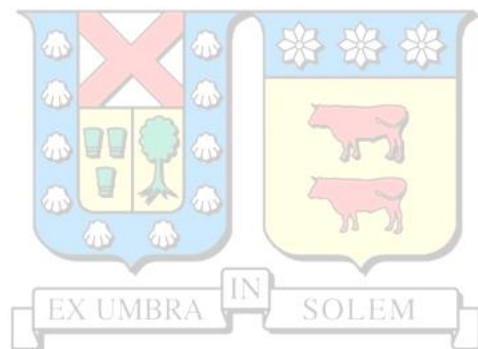
N1: Alerta de alto riesgo sobre un acto o condición que puede generar un accidente grave o fatal. Requiere detener los trabajos en donde se notifica esta alerta.

N2: Alerta de alto riesgo sobre un acto o condición que puede generar un accidente leve o incidente.

HH: Horas Hombre.

R.R.: Rodillo Radial.

R.A. Rodillo Axial



6. Introducción

El rubro minero es uno de los más importantes en el mundo ya que permite la obtención de distintos minerales esenciales para el desarrollo de las tecnologías que utiliza el ser humano en su día a día. Chile juega un importante papel dentro de este rubro, siendo uno de los mayores productores de cobre a nivel mundial.

A lo largo y ancho del país, existen distintas empresas dedicadas al rubro minero, entre ellas destaca CODELCO (Corporación nacional Del Cobre), esto debido a su naturaleza de empresa estatal, la cual contribuye con excedentes directos para el Estado chileno.

Para mantener el ritmo de crecimiento de la sociedad, es necesario producir de manera cada vez más eficiente, es en este contexto que nacen las metodologías de mejora continua. Entre estas metodologías se encuentra la norma ISO 31.000, utilizada como guía para poder administrar o gestionar el riesgo de una organización. Su constante aplicación puede traducirse en una buena toma de decisiones y en un mejor cumplimiento de los objetivos organizacionales.

El presente informe busca aplicar métodos de mejora continua a un equipo crucial en el proceso de la lixiviación en pilas, el tambor aglomerador, de manera que se logren mitigar los principales riesgos asociados a su proceso actual de lubricación y eliminar los desperdicios que se identifiquen a lo largo de esta investigación.

7. Objetivos

7.1. Objetivos generales:

Empresa minera del Estado, en la segunda región busca optimizar y modernizar sus procesos productivos. Se solicita buscar tecnologías y métodos que aporten mejoras en el proceso de lubricación en tambores aglomeradores para cobre oxidado, debido a lo anticuado del método actual, la cantidad de horas hombre utilizada y la ineficiencia del sistema actual. Se busca eliminar las pérdidas usando métodos de mejora continua.

7.2. Objetivos específicos:

- Identificar contexto global y operacional.
- Identificar variables de riesgo.
- Analizar variables de riesgo.
- Evaluar variables de riesgo.
- Jerarquizar las variables de riesgo.
- Establecer las medidas de mitigación para los riesgos.
- Planificar y programar, si es necesario, su aplicación.
- Evaluación económica de la propuesta.
- Comentarios y conclusiones.

8. Antecedentes

El presente capítulo entregará antecedentes sobre dónde se realizó este trabajo de título.

8.1. Chuquicamata, CODELCO.

La corporación del cobre (CODELCO) es una empresa autónoma, propiedad del Estado chileno. Esta empresa se dedica al rubro minero en toda su extensión, desde la exploración minera, el desarrollo de tecnologías para la minería, la explotación, procesamiento y comercialización de distintos minerales, principalmente cobre.

Según CODELCO (2024), la corporación tiene como misión *“Maximizar el valor económico, ambiental y social de Codelco y su contribución al Estado de manera sostenible a través de la minería del cobre y sus subproductos.”*

En el periodo entre enero y junio de 2023, CODELCO produjo 633.000 [ton] de cobre, lo que se traduce en 329.000.000 [USD] en excedentes y 1.775.000.000 [USD] en EBITDA.

La corporación se gobierna desde su casa matriz, ubicada en Santiago de Chile, y está a cargo de un directorio compuesto por nueve directores y un presidente ejecutivo. El gobierno actual de la corporación busca generar una transformación organizacional, operacional y cultural dentro de CODELCO, con la finalidad de asegurar, al menos, 50 años más el funcionamiento de la corporación. CODELCO (2024) entrega los objetivos que busca lograr al implementar esta transformación organizacional. Estos se muestran a continuación.

- Aumentar la competitividad de nuestras operaciones para alcanzar el segundo cuartil de costos de la industria.
- Asegurar el financiamiento de nuestras inversiones, al generar cerca de US\$ 1.000 millones anuales sobre la línea base 2018.
- Enfocar los esfuerzos en los negocios principales (Chile, cobre y subproductos, y la operación de los yacimientos hasta concentrado o hidro lixiviación).

CODELCO (2024) da a conocer sus principales productos. Estos se presentan a continuación.

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

Los principales mercados financieros de CODELCO son: el mercado asiático, sudamericano, norteamericano y europeo, en ese mismo orden.

CODELCO se organiza en divisiones, actualmente se cuenta con 7: “Ministro Hales”, “Radomiro Tomic”, “Gabriela Mistral”, “El Salvador”, “Andina”, “El Teniente” y “Chuquicamata”. El presente trabajo de título se desarrolla en “Chuquicamata”, abreviado “DCh”.

División Chuquicamata es un yacimiento minero ubicado a 15 [km] al norte de la ciudad de Calama, en la región de Antofagasta. Se fundó en el año 1915 y de ella se extraen cobre y oro, mayoritariamente. Es la mina a rajo abierto más grande del mundo y actualmente está mutando su proceso productivo a la minería subterránea.

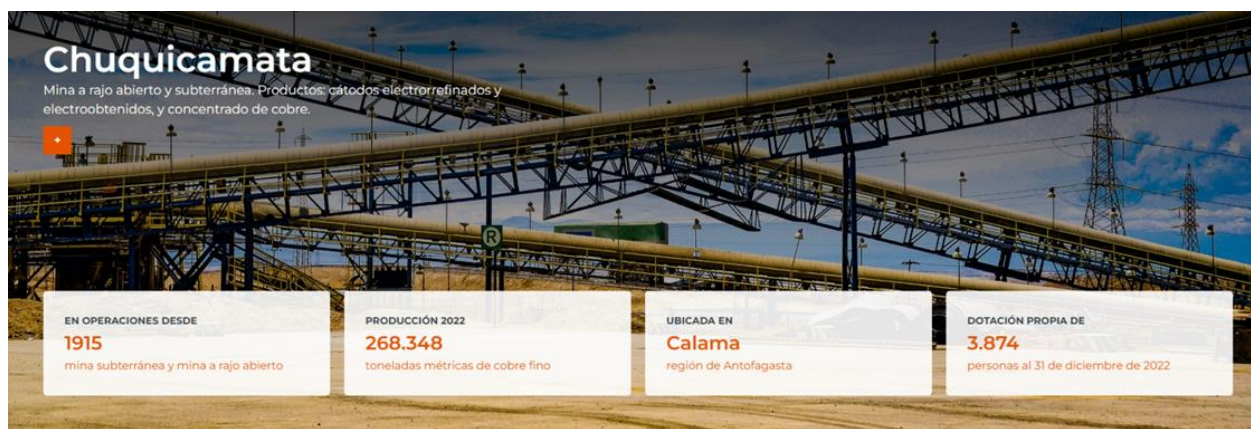
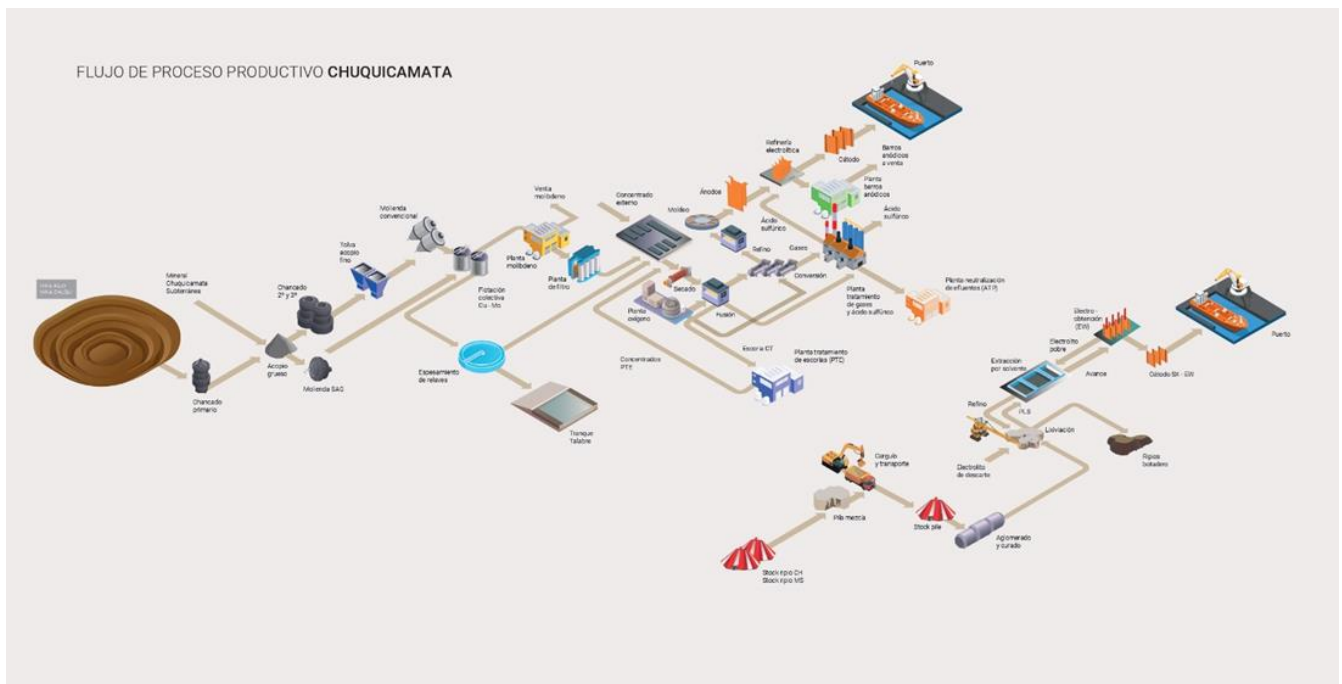


Figura 8.1.1 División Chuquicamata. Fuente: (CODELCO, 2024).

DCh es reconocida no sólo por ser la mina rajo abierto más grande del mundo, sino también por ser una de las pocas minas que cuentan con todo el proceso productivo del cobre, abarcando la pirometalurgia y la hidrometalurgia por completo. Esto se puede apreciar en la figura 8.1.2.



EX UMBRA IN SOLEM
Figura 8.1.2: Mapa de procesos DCh. Fuente: (CODELCO, 2024).

8.2. Gerencia de Extracción y Lixiviación.

La Gerencia de Extracción y Lixiviación, también llamada GEL, es la encargada de llevar a cabo el proceso de hidrometalurgia en DCh. Actualmente en esta gerencia, se está llevando a cabo un proceso totalmente innovador en el área de la minería, este proceso es la lixiviación de ripios que ya han sido lixiviados previamente. Este proyecto es viable debido a que, como la materia prima es ripio, no existen costos asociados a la extracción del mineral.

La GEL está compuesta por 4 áreas, siendo estas SBL (Sulfuros de Baja Ley), PTMP (Planta de Tratamiento de Mineral en Pilas), Área húmeda (procesamiento de óxidos) y mina sur (desde donde vienen los ripios).

El presente trabajo de título se desarrolla en la PTMP, la cual cuenta con 4 procesos: Traslado de mineral por correas, Apilamiento, Lixiviación y Aglomerado y curado.

La figura 8.2.1 muestra una vista aérea de la PTMP.



Figura 8.2.1: Mapa aéreo PTMP. Fuente: (Google Maps, 2024)

9. Marco teórico

El presente capítulo se centra en explicar las bases teóricas utilizadas para el desarrollo de este trabajo de título.

9.1. ISO 31.000

La norma ISO 31.000 es un documento oficializado por la Federación Mundial de Organismos Nacionales de Normalización, y es utilizada como guía por personas que gestionan o administran los riesgos, establecen y cumplen objetivos, y toman decisiones con la finalidad de crear o proteger el valor de las organizaciones a las cuales pertenecen. *"La administración/gestión de riesgos es iterativa y apoya a las organizaciones a establecer su estrategia, lograr sus objetivos y tomar decisiones informadas"* (ISO, 2018, p. vi). Esta norma es amplia en su aplicación, se escribió de manera general y no enfocada en un rubro, organización o contexto específico. *"La aplicación de estos lineamientos puede adaptarse a cualquier organización y a su contexto"* (ISO, 2018, p. 1). Aunque se considera parte fundamental del liderazgo y la gobernanza, la gestión de riesgos es una tarea transversal a todas las actividades y niveles de una organización; asimismo, involucra a todas las partes

interesadas (stakeholders, en inglés) y considera factores humanos y sociales, tales como la cultura organizacional, contextos internos y externos de la organización. *"Este documento puede utilizarse a lo largo de la vida de la organización y puede aplicarse a cualquier actividad, incluyendo la toma de decisiones a todos los niveles"* (ISO, 2018, p. 1).

Para comprender en totalidad lo expuesto en esta norma, se deberán definir los siguientes conceptos:

- Riesgo: *"Efecto de incertidumbre sobre los objetos."* (ISO, 2018, p. 1). Entiéndase como efecto cualquier desviación sobre lo planeado, un efecto puede ser negativo y/o positivo, además pueden resultar en amenazas y/u oportunidades. Se suele expresar el riesgo en factor de los eventos, sus consecuencias, la probabilidad de los eventos y las distintas fuentes de riesgos.
- Gestión de riesgos: *"Actividades coordinadas para dirigir y controlar la organización con relación a los riesgos."* (ISO, 2018, p. 1).
- Stakeholders (partes interesadas): *"Persona u organización que puede afectar, verse afectada, o percibirse como afectada por una decisión o actividad."* (ISO, 2018, p. 2).
- Fuente de riesgos: *"Elemento que, por si solo o en combinación con otros, tiene el potencial de generar riesgo."* (ISO, 2018, p. 2).
- Evento: *"Ocurrencia o cambio de un conjunto particular de circunstancias."* (ISO, 2018, p. 2). Se considera también un evento la no ocurrencia de algo previsto. Un evento puede tener varias consecuencias, causas y ocurrencias.
- Consecuencia: *"Resultado de un evento que afecta a los objetivos."* (ISO, 2018, p. 2). Las consecuencias pueden ser ciertas o inciertas, sus efectos pueden ser positivos o negativos pueden afectar de manera directa o indirecta sobre los objetivos y pueden ser expresados cualitativa o cuantitativamente.
- Probabilidad: *"Posibilidad de que algo suceda."* (ISO, 2018, p. 2).
- Control: *"Medida que mantiene y/o modifica un riesgo."* (ISO, 2018, p. 2). Los controles pueden generar riesgos residuales o nuevos riesgos, así mismo pueden no cumplir con el efecto previsto.

La aplicación de la norma ISO 31.000 conlleva una gran cantidad de tareas. La figura 9.1.1 ilustra los distintos procesos que se deben llevar a cabo durante la ejecución de la gestión de riesgos. Cabe destacar que las actividades de comunicación y consulta, junto con las de seguimiento y revisiones, son transversales a todo el proceso. Además, es importante recordar que la gestión de riesgos es una actividad que debería llevarse a cabo cíclicamente. Si bien se considera que la aplicación de esta norma está mayoritariamente ligada al liderazgo, es importante mencionar que es una actividad transversal, aplicable en cualquier nivel organizacional, ya sea operativo, de proyectos, de programas o a nivel estratégico. Este proceso se adaptará a los objetivos y los contextos a los que será aplicado. Además, la constante revisión y seguimiento permiten que la gestión de riesgos tenga siempre en cuenta los posibles cambios en la cultura y el comportamiento humano.

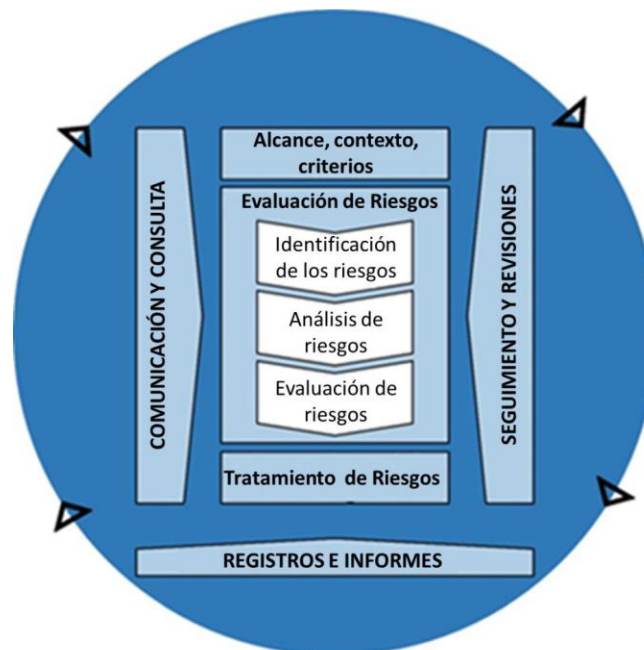


Figura 9.1.1: Proceso de aplicación de la norma ISO 31.000. Fuente: (ISO, 2018, p.3).

A continuación, se describen los pasos ilustrados en la figura 9.1.1.

Comunicación y Consulta: Tarea desarrollada de manera transversal durante el proceso de administración del riesgo. Su principal objetivo es reunir información desde distintos puntos de vista, para así asegurar la cantidad y calidad de la información, ya que esta será crucial en

la toma de buenas decisiones. Esta etapa permite concientizar a la organización y Stakeholders sobre los riesgos, haciéndolos parte del proceso y otorgando la oportunidad de dar retroalimentaciones de manera constante.

Alcance, contexto y criterios: Etapa encargada de otorgar flexibilidad y adaptabilidad a la gestión del riesgo. Este paso consiste en definir el alcance de la gestión a realizar (objetivos, recursos tecnológicos, humanos, económicos y de tiempo), el contexto en que se desenvuelve la organización (de manera global y operacional) *“Los factores organizacionales pueden ser una fuente de riesgos”* (ISO, 2018, p. 12), y finalmente los criterios con los que se abordarán los riesgos. *“Los criterios se debieran definir teniendo en consideración las obligaciones de las organizaciones y los puntos de vista de sus partes interesadas”* (ISO, 2018, p. 12).

Evaluación de riesgos: Esta etapa se divide en 3 tareas, las cuales se explican a continuación.

- **Identificación:** Consiste en *“...encontrar, reconocer y describir los riesgos que pueden ayudar o impedir a una organización lograr sus objetivos.”* (ISO, 2018, p. 13).
- **Análisis:** Busca comprender el nivel y la naturaleza de los riesgos. Al analizar los riesgos, se debe tener en cuenta sus fuentes, consecuencias y probabilidades, así mismo se debe contar con información referente a los eventos, escenarios y controles de la organización. *“Las técnicas de análisis pueden ser cualitativas, cuantitativas o una combinación de éstas, dependiendo de las circunstancias y del uso previsto.”* (ISO, 2018, p. 14). El análisis de riesgos suele considerar los controles existentes y su efectividad, los eventos, sus probabilidades y consecuencias, la magnitud y naturaleza de las consecuencias, entre otros.
- **Evaluación:** Consiste en comparar el análisis del riesgo con los criterios descritos para identificarlos. Permite reconocer cuando es necesario controlar un riesgo y, por lo tanto, ayuda en la toma de decisiones. Entre las principales decisiones que se pueden tomar se encuentran: no hacer nada, mantener los tratamientos, optar por un nuevo tratamiento del riesgo o cambiar los objetivos de la gestión del riesgo.

Tratamiento de riesgos: Corresponde a la etapa de la gestión del riesgo en la cual se decide la forma en que se tratarán los riesgos. Para esto, se formulan distintas opciones de tratamiento de riesgos, se planea la ejecución del tratamiento escogido, se evalúa su eficiencia y se verifica si los riesgos residuales (o nuevos riesgos que conlleva el tratamiento) son aceptables. Entre las principales opciones para tratar los riesgos se encuentran: discontinuar la actividad que genera el riesgo, aceptar o tomar un riesgo mayor para buscar oportunidades, modificar consecuencia y/o probabilidad del riesgo, compartir el riesgo, eliminar la fuente de riesgos, entre otras. El tratamiento debe ser primeramente seleccionado y luego planificado. *“El plan de tratamiento debiera identificar claramente el orden en el cual el tratamiento del riesgo se debiera implementar.”* (ISO, 2018, p. 15).

Seguimiento y revisiones: Esta etapa tiene como objetivo mejorar y asegurar la efectividad y calidad de la aplicación de la norma y de sus resultados. *“El seguimiento y las revisiones incluyen planear, recopilar y analizar información, registrar resultados y proporcionar retroalimentación.”* (ISO, 2018, p. 17). Esta tarea es transversal a las actividades de la gestión del riesgo y es de suma importancia ya que los riesgos, debido a distintos factores como los contextos o las nuevas tecnologías empleadas, suelen cambiar, es imprescindible estar al tanto de estos cambios y tomar las acciones necesarias lo antes posible.

Registros e informes: Se recomienda la creación de una base de registros e informes, los cuales buscan aportar información útil para la toma de decisiones, rendir cuentas y aumentar la interacción con las partes interesadas, comunicar los resultados de la gestión de riesgos y las actividades realizadas durante la misma, finalmente, busca también mejorar de manera continua las acciones de la gestión del riesgo.

9.2. Tribología

El término tribología hace referencia al estudio o la ciencia del contacto y roce. Díaz del Castillo (2007) define a la tribología como la ciencia y tecnología que estudia la interacción entre las superficies en movimiento relativo. Esta ciencia involucra todo el análisis operacional del equipo al que se le aplica, es decir, incluye análisis económico, de confiabilidad, de desgaste y de mantenimiento, entre otros. La tribología es aplicable a casi

todo tipo de tecnologías y escalas; se puede aplicar a tecnologías domésticas y a ciencias avanzadas como la tecnología aeroespacial. Además, puede ser estudiada en escalas microscópicas y atómicas, entre otras. El estudio de esta ciencia requiere conocimientos en distintas áreas como la química, física, matemáticas, transferencia de calor, mecánica de sólidos y fluidos, ciencia de materiales, diseño de máquinas y lubricación. Según Díaz del Castillo (2007), la tribología estudia fundamentalmente 3 fenómenos: la fricción entre dos cuerpos en movimiento, el desgaste como efecto natural de este fenómeno y la lubricación como medio para evitar el desgaste.

La literatura destaca a la lubricación como una de las ciencias con amplia influencia en resultados operativos y económicos de una industria. *“Si se pudiera estimar la importancia de cada campo de la tribología en términos monetarios, es decir, en términos de la inversión que recibirían sus soluciones ingenieriles, la lubricación ocuparía sin duda el primer lugar.”* (Popov, 2020, p. 23). *“Las pérdidas resultantes de la ignorancia en tribología en los Estados Unidos representan aproximadamente el 6% del total del producto bruto (\$200 billones de dólares por año en 1966), y aproximadamente un tercio de los recursos energéticos existentes se pierden en forma de fricción.”* (Díaz del Castillo, 2007, p. 4).

A continuación, se describen los fenómenos estudiados por la tribología.

Fricción: Se puede entender como la energía mecánica disipada o perdida durante el movimiento relativo entre, al menos, dos zonas materiales en contacto. También se entiende como fuerza de fricción o de roce aquella *“fuerza que se opone al movimiento de una superficie sobre otra”* (Díaz del Castillo, 2007, p. 5). La fuerza de roce siempre tiene la misma dirección que el movimiento relativo, no obstante, su sentido siempre es el contrario. Se puede clasificar el roce por la velocidad relativa de los dos cuerpos o por el tipo de movimiento relativo que existe entre ellos.

La superficie de un material visto a escala microscópica cuenta con valles y crestas. Es el contacto entre los valles y las crestas de dos superficies el causante de la fricción.

Se clasifican según el tipo de movimiento existente entre los dos cuerpos cómo:

- Roce por deslizamiento: Se manifiesta cuando el movimiento relativo entre los cuerpos en contacto es tangencial.
- Roce por rodadura: Se manifiesta cuando el movimiento relativo entre los cuerpos en contacto es de rodadura.
- Roce por rotación: Se manifiesta cuando el movimiento relativo entre los cuerpos en contacto es de rotación.

Se clasifican según la velocidad relativa entre los dos cuerpos cómo:

- Roce estático: Corresponde al roce generado entre dos cuerpos en contacto cuya velocidad relativa es 0.

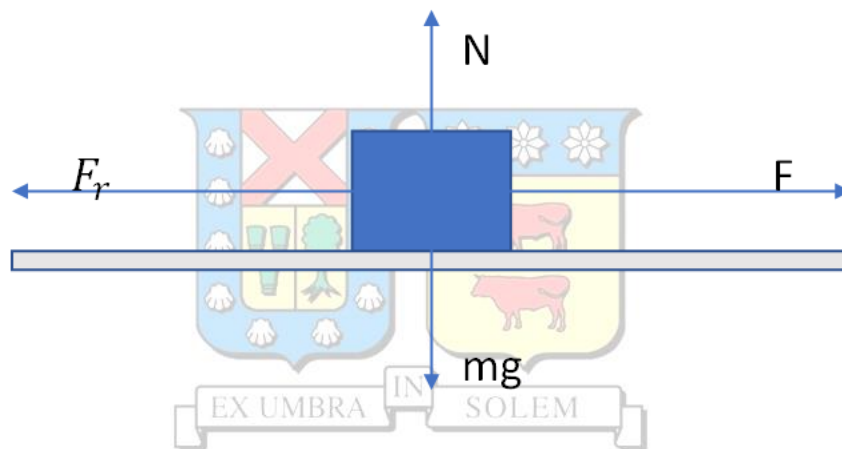


Figura 9.2.1: Diagrama de cuerpo libre. Fuente: (Elaboración propia).

Como la velocidad relativa entre los cuerpos es 0, se tiene que $F = F_r$. Esto continúa así, hasta alcanzar la máxima fuerza de roce estático, que es igual a la fuerza necesaria para acelerar uno de los cuerpos. Esta fuerza se expresa de la siguiente manera:

$$F_{(roce,e)max} = \mu_e * N * \cos \theta$$

Ecuación 1

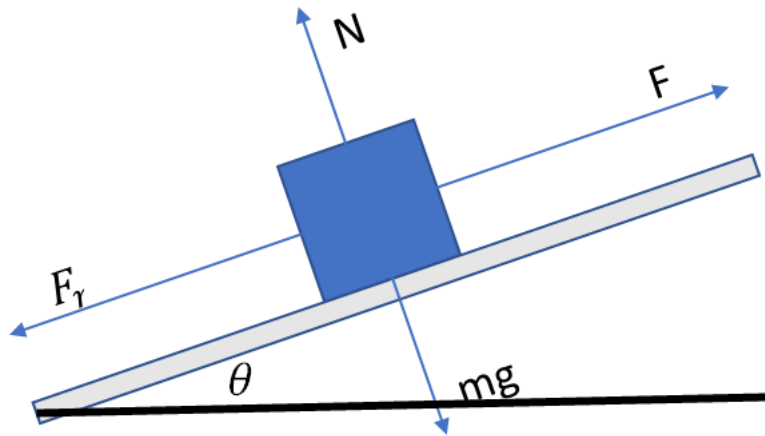


Figura 9.2.2: Diagrama de cuerpo libre. Fuente: (Elaboración propia).

Dónde:

$F_{(roce,e)max}$: Fuerza de roce estático máxima [N].

μ_e : Coeficiente de roce estático [-].

N : Fuerza normal [N].

θ : Ángulo de inclinación entre la horizontal y las superficies de contacto.

- **Roce dinámico:** Corresponde al roce generado por cuerpos en contacto con velocidad relativa distinta a 0. Esto puede suceder en dos casos, un movimiento con velocidad relativa constante y un movimiento relativo acelerado. En el primer caso, la aceleración es 0 y por ende, la fuerza de roce es igual a la fuerza que genera el movimiento. En el segundo caso, se expresa la fuerza de roce según la siguiente expresión:

$$F_{roce,k} = \mu_k * N * \cos \theta$$

Ecuación 2

Dónde:

$F_{roce,k}$: Fuerza de roce estático máxima [N].

μ_k : Coeficiente de roce dinámico [-].

N : Fuerza normal [N].

θ : Ángulo de inclinación entre la horizontal y las superficies de contacto.

Desgaste: Corresponde al proceso en el cual se genera una pérdida de material en la interfase de dos cuerpos en contacto, los cuales se enfrentan en un movimiento relativo generado por una fuerza. Se distinguen 5 principales mecanismos de desgaste, los cuales serán descritos a continuación:

- Por adherencia: Se presenta cuando dos superficies en contacto se deslizan bajo el efecto de una presión. La presión junto al movimiento provoca que las crestas y valles de las superficies en contacto se choquen entre sí y desgarran el material.
- Por abrasión: Corresponde al desgaste generado por partículas de mayor dureza que las superficies en contacto. Estas partículas pueden estar entre las superficies o pueden estar incrustadas en una de ellas.
- Por fatiga superficial: Tipo de desgaste producido por cargas cíclicas reiterativas. Se ocurre generalmente en contactos lubricados, tales como levas, rodamientos, ruedas dentadas, entre otros.
- Por erosión: Es generado por el contacto con un líquido, el cual contiene partículas abrasivas en suspensión. Se diferencia entre erosión, cuando el movimiento relativo de las partículas es casi paralelo a la superficie, y erosión bajo impacto, cuando el movimiento de las partículas es perpendicular a la superficie.
- Por corrosión: Se conoce como desgaste por corrosión a cualquier pérdida de material en la cual algunas reacciones químicas o electroquímicas que ocurren entre los sólidos y el medio ambiente aumentan la velocidad del desgaste. El desgaste suele ocurrir por medios mecánicos como la abrasión, antes o después de la reacción.

Lubricación: La lubricación corresponde a separar las superficies con deslizamiento relativo aplicando una película de lubricante entre estas. Para que la lubricación sea eficiente y disminuya el desgaste, la temperatura y las vibraciones dentro de un sistema, la película de

lubricante deberá ser más gruesa que el promedio de altura de las irregularidades de las superficies, evitando lo más posible el contacto entre estas. Esto provoca que el espesor de la película de lubricante dependa del acabado superficial de los sólidos en cuestión, a mayor rugosidad, mayor espesor de película lubricante será necesaria.

Se define como lubricante a cualquier medio, sólido o líquido, que logre situarse entre dos superficies con deslizamiento relativo. El lubricante tiene como objetivos el disipar calor generado, disminuir el roce, transmitir potencia y quitar contaminantes del sistema.

Entre los elementos mecánicos que necesitan un régimen de lubricación para su correcto funcionamiento se pueden encontrar los descansos, émbolos, ruedas dentadas y rodamientos.

Los lubricantes pueden clasificarse según su estructura física, existen así:

- Lubricantes líquidos: También conocidos como aceite mineral (hecho a base de petróleo) o sintético. El lubricante líquido es el más utilizado en la industria debido a su adaptabilidad y bajo costo, sin embargo, los avances en la ciencia tribológica están dejando a los lubricantes basados en petróleo fuera de competencia, ya que los sintéticos pueden llegar a tener mejores características. Cabe mencionar que en esta categoría se encuentran también las grasas, las cuales son una mezcla entre un espesante y un aceite (mineral o sintético), se suele hacer el símil entre las grasas y una esponja que está llena de líquido.
- Lubricantes sólidos: También conocidos como lubricantes secos, son materiales que permiten disminuir la fricción sin la necesidad de un medio líquido. Entre los principales lubricantes sólidos se encuentran el disulfuro de molibdeno, el grafito el nitruro de boro hexagonal.
- Aceites: Los aceites o aceites grasos son lubricantes cuya característica principal es su estructura química glicérica. Se obtienen de diversas fuentes vegetales, de animales domésticos o del pescado.

Otra forma de clasificar a los lubricantes es mediante su viscosidad. La viscosidad es una propiedad de los lubricantes líquidos y se define como “...la resistencia interna del fluido al

desplazamiento...” (Díaz del Castillo, 2007). La viscosidad puede ser absoluta (o dinámica) o cinemática.

- Viscosidad absoluta: Corresponde a la definición de viscosidad entregada anteriormente, también puede entenderse como el esfuerzo de corte al que somete una superficie con movimiento relativo sobre otra, mediante una película de lubricante. Se representa por la letra mu (μ) y su unidad de medida es el poise [ps]. La ecuación de la viscosidad absoluta se deriva de la figura 9.2.3.

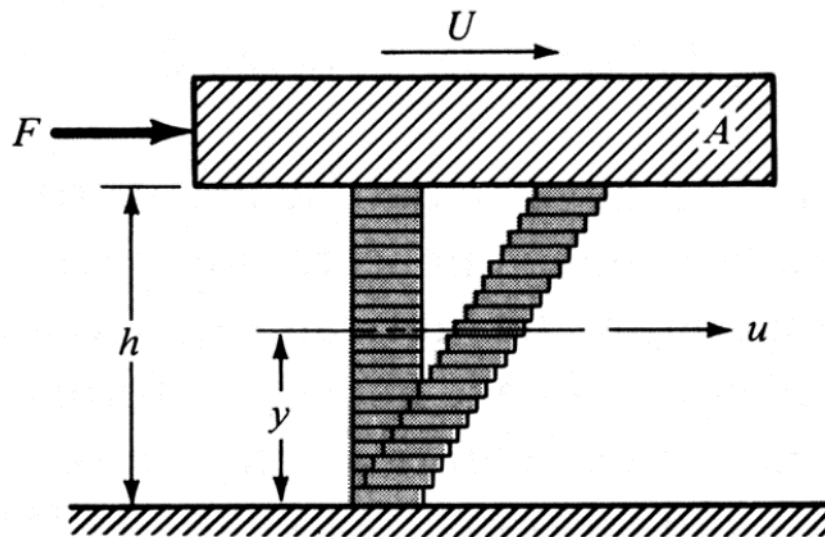


Figura 9.2.3: Representación esquemática de la resistencia de un fluido. Fuente: (Díaz del Castillo, 2007, p. 19).

De la figura 9.2.3 se deriva:

$$\tau = \mu \frac{du}{dy}$$

Ecuación 3

$$\frac{du}{dy} = cte = \frac{U}{h}$$

Ecuación 4

$$\tau = \frac{F}{A}$$

Ecuación 5

$$\mu[\text{poise}] = \frac{F[\text{dina}]h[\text{cm}]}{A[\text{cm}^2]U[\text{cm/s}]}$$

Ecuación 6

Siendo:

F: Fuerza de Cizalle [dina].

A: Área transversal de lubricante sometido a cizalle [cm^2].

U: Velocidad lineal de la superficie [cm/s].

h: Espesor de la película de lubricante [cm].

- Viscosidad cinemática: Se define como la viscosidad absoluta sobre la densidad del fluido. Sirve para comparar distintos fluidos. Su unidad de medida en el sistema internacional es el Stoke, aunque suele expresarse en Centistoke [cSt] y se utiliza representa con la letra gamma (γ).

$$1[\text{cSt}] = \frac{1[\text{mm}^2]}{\text{s}} = \frac{1[\text{centipoise}]}{\text{densidad}[\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}]}$$

Ecuación 7

La viscosidad de un fluido depende de la temperatura. Cuando la temperatura de un fluido aumenta, su viscosidad disminuye. El índice VI indica la variabilidad de la viscosidad de un fluido y para obtenerlo, se compara el lubricante con 2 aceites de igual viscosidad a 100°C y $\text{VI} = 0$ y $\text{VI} = 100$ respectivamente. Estos se grafican como en la figura 7.2.4 y se utiliza la ecuación 8.

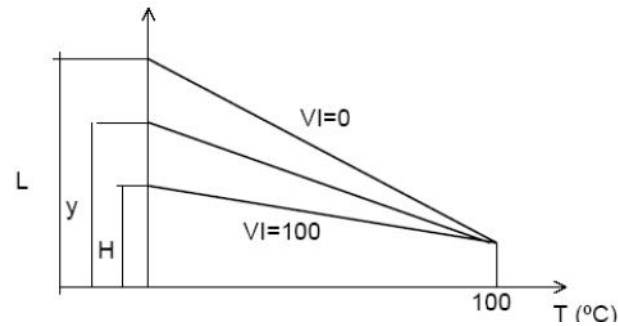


Figura 9.2.4: Esquema para calcular el índice VI de un aceite. Fuente: (Díaz del Castillo, 2007, p. 21).

$$VI(\%) = \frac{L - y}{L - H} * 100$$

Ecuación 8

Finalmente, se reconocen los siguientes regímenes de lubricación.

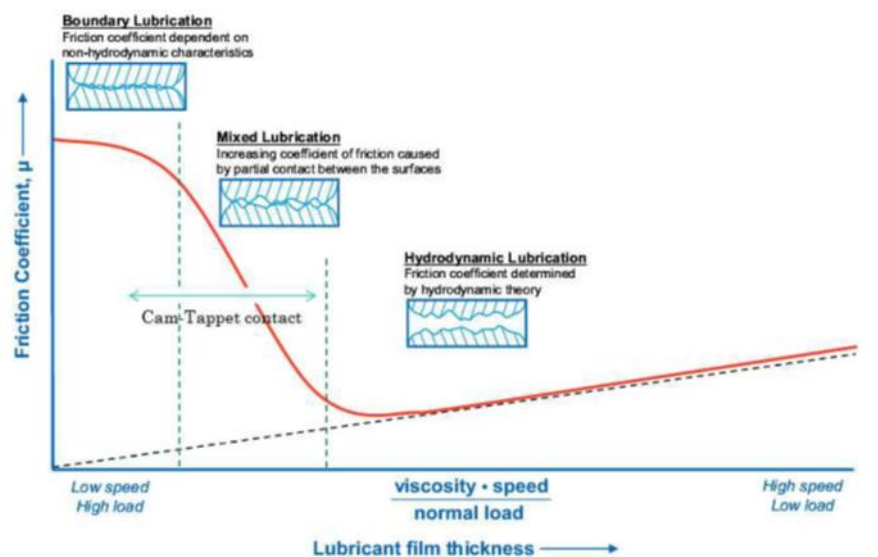


Figura 9.2.5: Curva de Stribeck. Fuente: (Loehle, 2014, p. 26).

A continuación, se describen brevemente los regímenes de lubricación.

- **Lubricación límite:** Estado en el cual la película de lubricante es de menor espesor que el promedio de las irregularidades de las superficies participantes. En este régimen existe contacto parcial entre los sólidos en movimiento relativo. Se puede llegar a este régimen por caídas en la velocidad relativa del movimiento, por aumento en las cargas de trabajo o disminución del caudal de lubricante suministrado. Este

régimen suele presentarse al inicio del trabajo, donde la velocidad aún es relativamente pequeña.

- Lubricación mixta: Fase en la cual la película de lubricante aún no es mayor que la altura promedio de las irregularidades. El contacto entre las superficies involucradas se produce sólo en las rugosidades de mayor altura y genera pequeños desprendimientos en las superficies.
- Lubricación hidrodinámica: Llamada también lubricación de película gruesa. Ocurre cuando el grosor de la película de lubricante es mayor al promedio de altura de las irregularidades de las superficies. En este régimen, las superficies están completamente separadas por una película de lubricante, por ende, no hay contacto entre ellas.

9.3. Lixiviación

La lixiviación corresponde a un proceso de transferencia de masa entre un medio líquido y uno sólido. Se puede entender como la *“disolución selectiva de los constituyentes de interés de la mena o concentrado para obtener una solución acuosa que contenga el metal valioso y un residuo insoluble líquido”* (Aracena, s.f., p. 35) Las condiciones de temperatura y presión bajo las cuales se desarrollará el proceso dependen de las reacciones químicas que se llevarán a cabo, así, la lixiviación puede realizarse en condiciones ambientales de laboratorio o bajo altas presiones y/o temperaturas.

Existen 3 formas de clasificar el proceso de lixiviación, según el tipo de proceso, según el tipo de mineral tratado y según la técnica de lixiviación que se utiliza.

Tipo de proceso	Físico. Químico. Electroquímico. Electrolítico.
Tipo de mineral	Mineral Oxidado. Mineral Sulfurado.
Técnica de lixiviación	In-Situ.

	En botaderos (Dump Leaching). Por agitación. En bateas inundadas (Vat Leaching). A presión. En pilas (Heap Leaching).
--	--

Tabla 9.3.1: Clasificación del proceso de lixiviación. Fuente: (Elaboración propia).

En la Gerencia de Extracción y Lixiviación de DCh se desarrolla el proceso de lixiviación de mineral oxidado, a través de un proceso químico, con la adición de ácido sulfúrico, utilizando la técnica de lixiviación en pilas. A continuación, se entrega una reseña del tipo de proceso que se desarrolla en la GEL.

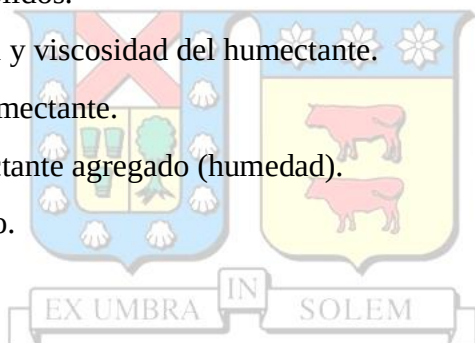
Proceso químico: Proceso en el cual, el sólido cristalino no es soluble en agua por sí mismo, necesita la ayuda de ciertos iones en la solución. Estos iones se encargarán de irrumpir el equilibrio químico, consiguiendo una mayor solubilidad del sólido. *“Un proceso de disolución química comprende una secuencia de dos procesos: (i) un proceso físico en el cual se establece un equilibrio entre el sólido y la fase acuosa, y (ii) una reacción química homogénea (en la vecindad del sólido) entre los iones que recién dejaron el sólido y el reactivo presente en la fase acuosa”* (Aracena, s.f., p. 37). La naturaleza de este proceso depende directamente de la velocidad de la reacción iónica en la capa límite. Así, los procesos con reacciones iónicas rápidas serán gobernados por la difusión, en caso de reacciones lentas, será controlado químicamente.

Lixiviación de mineral oxidado: Se entiende como mineral oxidado, aquél cuyo elemento constitutivo principal es el oxígeno. Estos minerales se disuelven generalmente en ácido, a través de un proceso químico. Sin embargo, existen óxidos que no son solubles en ácido y necesitan de un agente reductor o un agente oxidante para lograr su disolución. *“Algunos minerales oxidados naturales de importancia comercial incluyen la gibsita ($Al(OH)_3$), casiterita (ZnO_2), pirolusita (MnO_2), uraninita (UO_2), pechblenda (U_3O_8) y una gran variedad de minerales de cobre.”* (Aracena, s.f., p. 39).

Lixiviación en pilas: Esta técnica se puede aplicar como tratamiento primario de menas de minerales oxidados y mezclas de óxidos con sulfuros secundarios. La lixiviación en pilas

centra gran parte de su planificación en la formación de las pilas. El mineral procesado con este método está compuesto mayoritariamente por finos, por lo que esta técnica precisa dos o hasta tres fases de chancado. El mineral es apilado sobre una base o carpeta impermeable y es bañado con solución lixivante. La base recolecta todo el producto (PLS) y lo dirige para posteriormente pasar a las fases de recuperación. Los parámetros óptimos de operación de la lixiviación en pilas suelen determinarse a través de métodos experimentales, estos dependen de la ley del mineral y de algunas de sus características físicas, Aracena (s.f.) indica que las principales características son:

- Distribución de tamaño de partículas.
- Composición química del sólido.
- Cantidad de arcillas y sales solubles.
- Porosidad de los sólidos.
- Tensión superficial y viscosidad del humectante.
- Reactividad del humectante.
- Cantidad de humectante agregado (humedad).
- Forma de mezclado.
- Tiempo de curado.



El proceso de aglomerado y curado es de suma importancia en la lixiviación por pilas pues permite la obtención de las propiedades físicas idóneas para la formación de la pila y a su vez favorece químicamente a la lixiviación, este proceso se explica en el siguiente capítulo.

La figura 9.3.1 muestra la formación de una pila de lixiviación.



Figura 9.3.1: Formación de Pila de Lixiviación. Fuente: (Aracena, s.f., p. 82)

9.4. Aglomerado y Curado

El proceso de lixiviación en pilas cuenta con distintos subprocesos, entre estos se puede encontrar la extracción y transporte de mineral, el aglomerador y curado, el apilamiento y la lixiviación como tal. El producto final de la lixiviación es una solución de lixiviación cargada.

El presente trabajo se centra en el proceso de aglomerado y curado. Este proceso se considera un pretratamiento, en el cual se agrega agua y ácido sulfúrico al mineral seco, mezclando estos elementos a través de un movimiento rotativo. Aracena (s.f.) comenta que el proceso de aglomerado tiene los siguientes objetivos:

- Acondicionar la mena para lograr mejores aptitudes para la disolución.
- Aprovechar las condiciones químicas de los extractantes en mayor concentración que cuando son diluidos.
- Agilizar la cinética de lixiviación de los minerales.
- Flexibilizar la concentración de las soluciones obtenidas en lixiviación y su calidad.
- Mejorar la calidad de los aglomerados.

La aglomeración tiene una gran influencia en la operación de las pilas de lixiviación. Así, cuando no se realiza este pretratamiento o cuando se realiza de manera deficiente, suelen ocurrir los problemas que Aracena (s.f.) menciona y que se encuentran a continuación.

- Existencia de caminos preferenciales del fluido a través del reactor, es decir la solución puede pasar a través del lecho sin llegar a tener contacto con la mena.
- Existencia de zonas muertas en el interior del reactor, éstas son regiones del reactor que no son aprovechadas por la solución lixivante.
- Compactaciones del lecho, posible segregación de tamaños (cuando se erosionan los aglomerados, se rompen los puentes líquidos o precipitan sales finas) y acumulación preferencial de finos que provocan impermeabilizaciones.

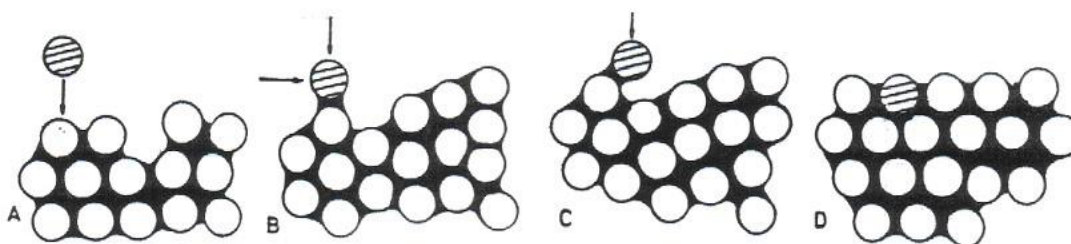


Figura 9.4.1: Unión de aglomerados. Fuente: (Aracena, s.f., p. 103)

La figura 9.4.1 muestra cómo se unen las partículas a un glómero para formar el aglomerado.

El proceso de aglomeración y curado permite minimizar la compactación de los sólidos, lo cual asegura una distribución homogénea de las soluciones y el oxígeno en la pila de lixiviación. En el caso específico de la lixiviación de cobre, el proceso de aglomeración con agua y ácido concentrado permite el “curado ácido”, el cual mejora la disolución del cobre y ayuda a inhibir la disolución de especies como el aluminio y la sílice.

El equipo que logra una mezcla y aglomeración más homogénea es el Tambor Aglomerador.

9.5.PESTEL

El análisis PESTEL es una herramienta que permite contextualizar el entorno donde se desenvuelve una empresa, organización o negocio. Este análisis permite encontrar los

factores externos que influyen en la operación de la empresa, ayuda a planificar la estrategia que tomará la organización y, si se aplica de manera reiterativa en el tiempo, permite a la organización observar cómo influyen estos factores externos mediante tendencias.

Para realizar un análisis PESTEL, se debe identificar los factores externos en los que se desenvuelve la organización, observar cómo interactúan estos factores entre sí y evaluar como influyen estos sobre las operaciones de la organización.

El nombre PESTEL es un acróstico que proviene de la inicial, en inglés, de cada uno de los factores que considera el análisis. Así, PESTEL proviene de los siguientes factores a estudiar:

- **Político.**
- **Económico.**
- **Social.**
- **Tecnológico.**
- **Medioambiental.**
- **Legislativo.**

9.6.6M

El análisis de las 6M es una herramienta que se utiliza regularmente para la resolución de problemas o la toma de decisiones, esto se logra mediante la obtención del contexto operacional en que se desarrolla una tarea o proceso.

Este análisis se preocupa de estudiar las siguientes variables:

- **Mano de obra.**
- **Maquinaria.**
- **Materiales.**
- **Mediciones.**
- **Métodos.**
- **Medio ambiente.**

Al ser una herramienta que se enfoca en la resolución de problemas o la toma de decisiones, se puede utilizar el diagrama de Ishikawa (o diagrama de pez) para su representación.

9.7.FMEA

Corresponde a una herramienta de análisis en el cual se exponen los problemas que presenta, o puede presentar, un equipo o alguna de sus partes. Este análisis busca exponer los efectos de las distintas fallas de un equipo y las acciones que se deban tomar para controlar o eliminar estas fallas y sus respectivas consecuencias. Su principal objetivo es prevenir los posibles efectos de las fallas estudiadas, aumentando así la seguridad, confiabilidad y calidad.

Existen distintos tipos de FMEA, entre ellos se encuentran:

FMEA de Diseño o de Producto: Busca prevenir los problemas generados en el diseño de un producto previo a su fabricación, por ejemplo, incumplimiento de normas reguladoras, baja durabilidad, baja calidad, entre otros.

FMEA de Proceso (PFMEA): Identifica los riesgos existentes en un proceso para así, evitar problemas en las etapas de fabricación, ensamblaje y venta o servicio.

FMEA de Sistema, Servicio o Software: Analiza sistemas complejos, programas informáticos o servicios prestados. Su objetivo principal es prevenir fallas en sistemas críticos.

Para aplicar este análisis se deben identificar las siguientes características:

- Función del componente.
- Modos de falla del componente.
- Causa del modo de falla.
- Consecuencia del modo de falla.
- ¿Cómo se detecta el modo de falla?
- Acciones de mitigación o control de la falla en la actualidad.

La aplicación de un FMEA conlleva distintos beneficios, siendo los más importantes el impacto financiero, la mejora en la confiabilidad, la prevención de los modos de falla y un aumento en la seguridad.

9.8.Desperdicios

El desperdicio es un concepto que nace del TPM (Total Productive Maintenance), la cual es una metodología que busca maximizar la eficiencia de los equipos de producción y minimizar las pérdidas. En busca de la disminución de las pérdidas, es que se vuelve clave el identificar y eliminar los desperdicios.

Existen distintas formas de clasificar los desperdicios, el presente informe los clasificará en Muda, Mura y Muri.

A continuación, se describen los desperdicios anteriormente mencionados.

Muda (Desperdicio): Referente a procesos o actividades que no añaden valor al producto o servicio. Estos desperdicios no benefician al negocio ni a los trabajadores. Se identifican los siguientes tipos de Muda:

- Producción en exceso: Fabricar más productos de los necesarios.
- Sobre procesamiento: Invertir más trabajo del necesario en un producto o servicio.
- Inventario excesivo: Almacenar demasiados o muy pocos suministros o productos terminados.
- Transporte innecesario: Mover productos o suministros de un área a otra sin valor agregado.
- Espera: Detener o ralentizar el trabajo debido a retrasos en la producción o llegada de materiales.
- Defectos: Crear errores y retrabajos debido a procesos defectuosos.

Mura (Discrepancia): Se relaciona con la irregularidad en la producción y los servicios. Ocurre cuando no existen estándares o cuando no se siguen. Un ejemplo de Mura sería Aumentar la producción para cumplir objetivos, aunque no exista demanda del cliente. Lo

cual crea una carga para los departamentos de ventas y envíos, dando como resultado, productos inconsistentes y una planta de producción ineficiente.

Muri (Sobrecarga): Corresponde al resultado de tareas o procesos que son excesivamente difíciles o sobrecargan a los trabajadores. Entre las causas de este desperdicio se encuentran la falta de estándares adecuados, la falta de información precisa y la existencia de herramientas poco adecuadas para el trabajo que se desarrolla.

9.9.FODA

Herramienta de análisis que permite identificar las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas de una organización, un plan de negocios o un proyecto específico, entre otros. Permite una mejor planificación estratégica ya que con la información obtenida de este análisis salen a luz las oportunidades de mejora del proyecto, organización o negocio al que se está aplicando, además permite obtener una perspectiva más completa del desarrollo de la actividad y de su entorno.

Para realizar un FODA de manera correcta se deberán considerar las siguientes categorías:

- **Fortalezas:** ¿Qué es lo que la organización realiza de manera correcta? ¿En qué destaca la organización?
- **Oportunidades:** Al observar organizaciones dedicadas a procesos similares, ¿Qué cambios se observan que podrían beneficiar a tu organización?
- **Debilidades:** ¿Qué actividades realizadas por la organización se ejecutan de manera poco eficiente o podrían ser mejoradas?
- **Amenazas:** ¿Existen riesgos que amenacen a la organización?

10. Estado del Arte

A continuación, se presenta el tambor aglomerador como equipo utilizado para el aglomerado y curado, dando una reseña sobre su disposición, estado y parámetros de funcionamiento actual.

10.1. Tambor Aglomerador

Como se mencionó anteriormente, el tambor aglomerador corresponde al equipo más eficiente a la hora de aglomerar mineral de cobre chancado. El ángulo de reposo del equipo es de 34° , cuenta con un diámetro interno de 3,8 [m] y 12,1 [m] de longitud, el ángulo de operación varía entre los $2,5^\circ$ y los 4° de inclinación y la velocidad del equipo es de 5,5 [rpm]. Con estos parámetros, se obtiene un tiempo de residencia de 149 [s] y 90 [s] respectivamente.

- Ángulo de inclinación: 5° .
- Velocidad de rotación: 5,5 rpm.
- Capacidad instantánea: 556 [ton/hora].
- Capacidad máxima: 1000 [ton/hora].
- Dosificación de ácido: 35 [kg/ton seco].
- Dosificación de agua: 0-100 [L/ton seco].
- Tiempo de retención: 2,5 [min].
- Humedad de glómero: 9-11[%peso].



Figura 10.1.1: Parámetros operacionales tambor aglomerador. Fuente: (Elaboración propia).

A continuación, se presentan los principales subsistemas del tambor aglomerador.

- Sistema motriz: Compuesto por un motor eléctrico de 355 [kW] a 1500 [rpm], el cual va conectado a un reductor, de ejes paralelos y con dos etapas de reducción, la última etapa se conecta directamente al sistema piñón corona, parte del sistema de rodado.
- Sistema de Rodado: Compuesto por dos llantas de acero fundido, la cual se fija al manto a través de cuñas y topes, 4 rodillos radiales, encargados de servir como pista de rodadura a las llantas y cuyo ajuste permite variar el ángulo de operación del equipo. Por último, se encuentran los 5 rodillos axiales, encargados de soportar las cargas en dicha dirección.
- Sistema de adición de ácido: Compuesto principalmente por una flauta y los componentes necesarios para su instalación. La flauta corresponde a un tubo con perforaciones en su parte inferior, estas perforaciones aumentan su diámetro a medida que se alejan de la zona de alimentación, para asegurar un regado más uniforme.
- Sistema de adición de agua: Al igual que el sistema de adición de ácido, se compone principalmente de una flauta y los elementos necesarios para su instalación, los agujeros de la flauta aumentan su diámetro al aumentar la distancia entre la alimentación y el punto donde está el agujero. Esta flauta es más larga que la de adición de ácido.
- Sistema eléctrico/electrónico: Compuesto de sensores, cables y fuentes de alimentación que energizan el equipo.
- Sistema estructural: Compuesto básicamente por toda la armazón que soporta al tambor aglomerador, incluye chutes de carga y descarga y tubos de escape que se utilizan para evacuar los gases generados durante el proceso de aglomerado.

A continuación, se observan los principales elementos del tambor aglomerador.

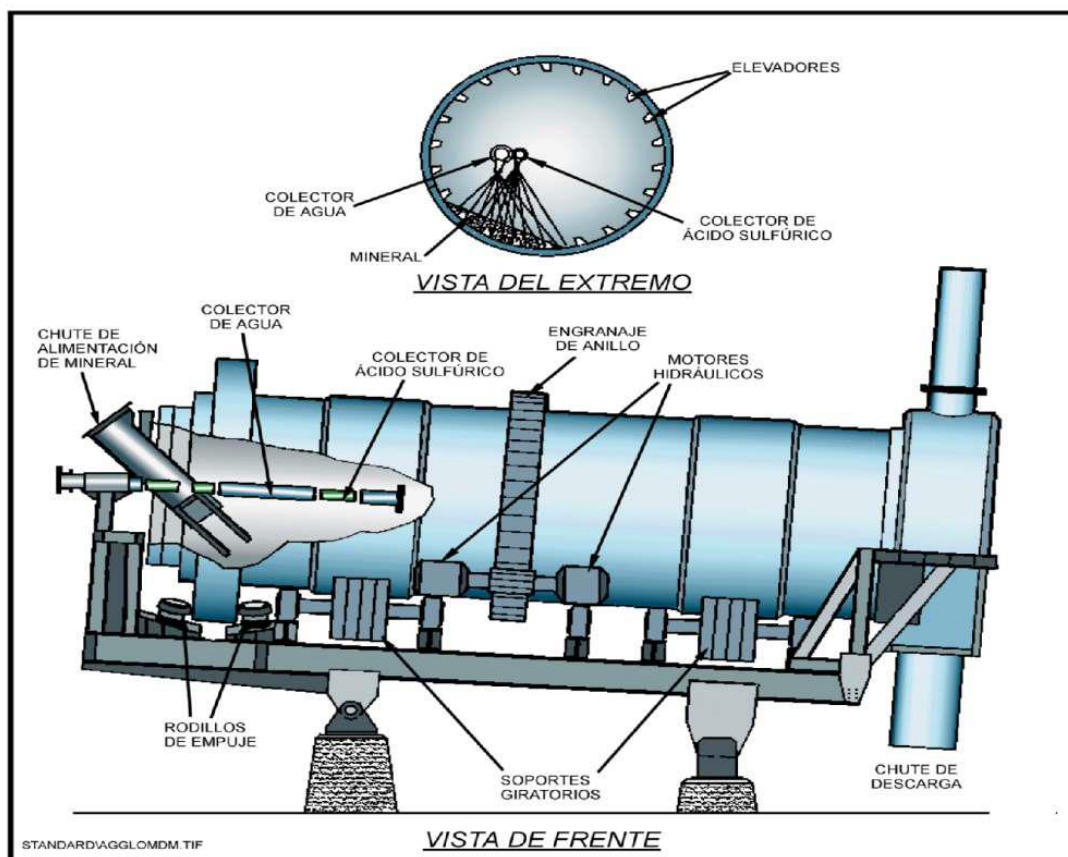


Figura 10.1.2: Principales partes del tambor aglomerador. Fuente: (Aracena, s.f., p. 111)

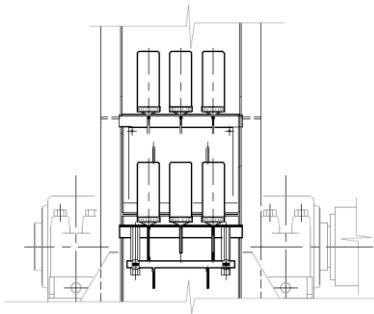
Actualmente, la GEL cuenta con 3 tambores aglomeradores, los cuales funcionan en paralelo. No se tienen equipos en Stand-by.

A continuación, se presentan los principales puntos de lubricación del tambor aglomerador.

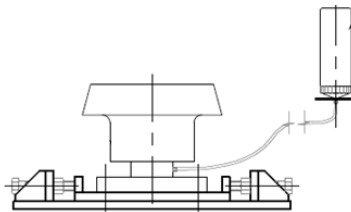
Sistema de rodado: Sistema compuesto principalmente por 4 elementos, siendo estos los rodillos (o descansos) axiales, los rodillos radiales, el piñón-corona y las llantas. De estos 4 elementos, todos necesitan lubricación, sin embargo, las llantas utilizan un lubricante sólido y, dado que el sistema está expuesto a polvo, no es necesario que se lubrique. Por otro lado, los demás elementos necesitan una lubricación constante mediante grasa. Los rodillos axiales cuentan con un punto de lubricación en su base, los rodillos radiales cuentan con dos puntos de lubricación y el sistema piñón-corona cuenta como otro punto de lubricación. Se tiene que

cada tambor posee 5 R.A. y 4 R.R., por ende, se tienen 14 puntos de lubricación en el sistema de rodado.

Piñón-corona



Rodillo Axial



Rodillo Radial

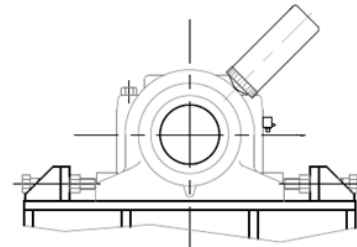


Figura 10.1.3: Puntos de lubricación sistema de rodado. Fuente: (ANEXO 7).

Las figuras 10.1.4, 10.1.5 y 10.1.6 muestran los rodillos axiales, radiales y el sistema piñón-corona, respectivamente.



Figura 10.1.4: Rodillos Axiales. Fuente: (Elaboración propia).



Figura 10.1.5: Rodillo Radial. Fuente: (Elaboración propia).



Figura 10.1.6: Piñón-corona. Fuente: (Elaboración propia).

Sistema motriz: El sistema motriz cuenta con distintos puntos de lubricación, entre los cuales destacan los descansos del piñón-corona, los acoplamientos de alta y baja velocidad y el motor. Estos puntos se lubrican mediante grasa, en el caso del motor y los acoplamientos, estos cuentan con un depósito de grasa, el cual se rellena manualmente, los descansos del piñón-corona cuentan con lubricación automática mediante cartuchos lubricantes.

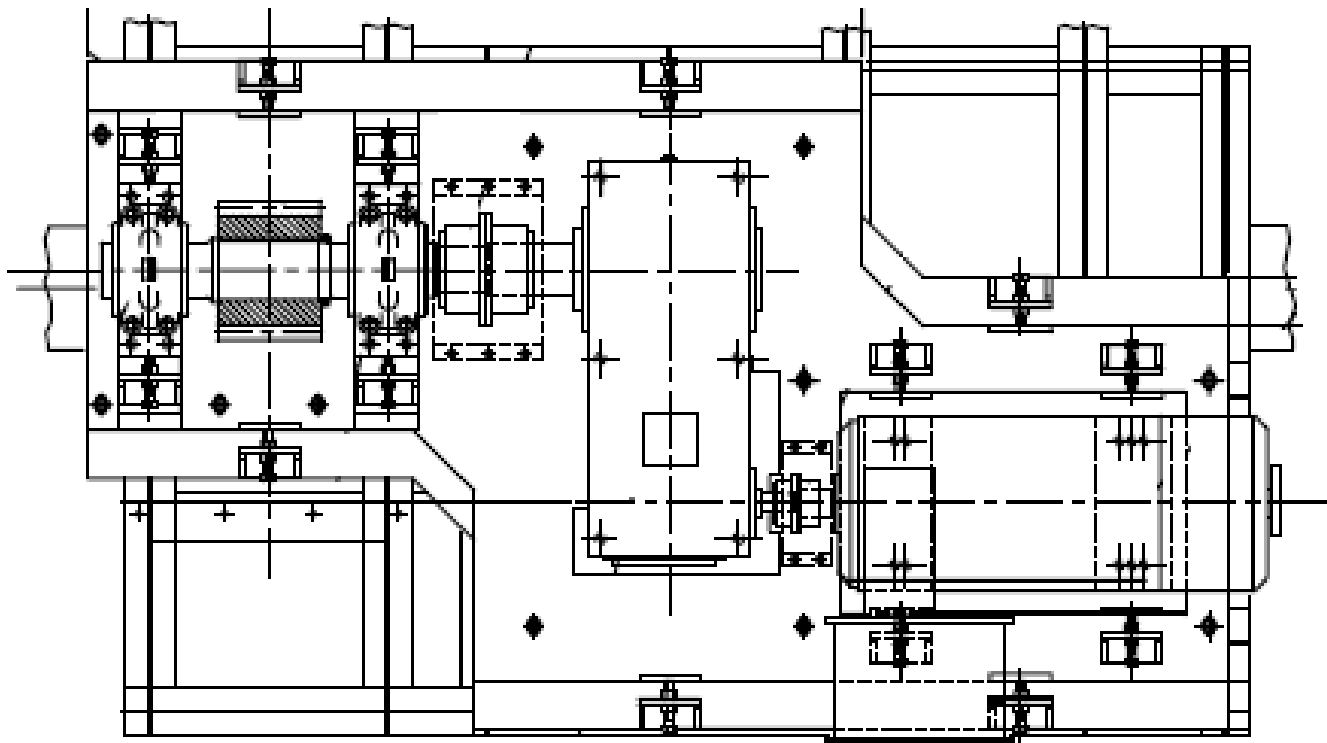


Figura 10.1.7: Sistema motriz. Fuente: (ANEXO 7)

La figura 10.1.8 muestra el sistema motriz.



Figura 10.1.8: Sistema motriz. Fuente: (Elaboración propia).

11.Desarrollo

11.1. Alcance de la Memoria

El presente trabajo busca proponer nuevas tecnologías o métodos que permitan optimizar y modernizar el proceso de lubricación de los tambores aglomeradores. Así mismo, se tiene como requerimiento de parte de la División que el sistema elimine la exposición al trabajador y que sea un sistema enfocado en la creación de una base de datos para la futura aplicación de un mantenimiento del tipo predictivo.

Se estudiaron las detenciones no planificadas de los tambores aglomeradores entre los años 2021 y agosto del 2023. De los datos obtenidos, se concluyó que el subsistema con mayor cantidad de NP es el subsistema de rodado. Así mismo, se lograron identificar los modos de falla más recurrentes de este subsistema. La figura 11.1.1 muestra el análisis realizado.



Figura 11.1.1: Distribución de tiempos de detención por NP en tambores aglomeradores. Fuente: (Elaboración propia).

Del análisis, se obtiene que el sistema de rodado representa al 56% aproximado de las horas de detenciones no planificadas.

El presente trabajo se enfocará en las fallas provocadas por un mal proceso de lubricación en el sistema de rodado de tambores aglomeradores.

11.2. Contexto global y operacional

El análisis del contexto global se realizará a la corporación completa, dando un especial enfoque en DCh cuando sea necesario. Para la identificación de este contexto, se utilizará el análisis PESTEL y para identificar el contexto operacional se utilizarán las 6M.

A continuación, se presenta el análisis PESTEL de CODELCO.

Contexto global: Análisis PESTEL CODELCO

Político: Chile cuenta con distintos tratados que facilitan el comercio y las exportaciones, se destacan principalmente los tratados de libre comercio con Canadá, Hong Kong, Malasia, Australia, USA, China, entre otros, también están los acuerdos de asociación económica con Japón y la unión europea y los acuerdos de complementación económica.

El contexto político actual es inestable, tanto a nivel mundial como a nivel país. A nivel mundial se encuentran los conflictos en medio oriente y en Europa oriental, conflictos que han afectado las economías europeas y la estadounidense y que, dependiendo la posición que tome el país, puede afectar a Chile de igual manera. A nivel país se puede observar una amplia polarización política, lo cual refleja una inestabilidad en ámbitos como la legislación ambiental, laboral, tributaria, entre otras. La incertidumbre a nivel nacional se ve afectada de igual manera por los distintos procesos constituyentes que se han llevado a cabo en el país.

Económico: La economía chilena promueve el libre mercado y la libre competencia. Entre sus principales fuentes de ingresos se encuentran los servicios, las exportaciones y la minería. El producto interno bruto (PIB) chileno se posiciona en la quinta posición en Latinoamérica y es sólo superado por Brasil, México, Colombia y Argentina. La producción de cobre chileno corresponde aproximadamente al 28% de la producción de cobre mundial, situando a Chile como un excelente país para el desarrollo de la industria minera.

A pesar de las actuales recesiones económicas, las subidas del dólar y las bajas del precio del cobre, el fondo monetario internacional (FMI) indica que la economía chilena comienza a estabilizarse y que está en camino a alcanzar una tendencia de crecimiento constante.

Finalmente, cabe recordar que los excedentes generados por CODELCO son ganancias directas para el Estado chileno, así, se logra visualizar una relación directa entre los excedentes de la corporación y el PIB chileno.

Social: Codelco es una empresa que genera excedentes para el Estado chileno. Por esto, juega un papel importante en el desarrollo de políticas y proyectos públicos.

La corporación busca en este momento generar un cambio profundo en la cultura organizacional, uno de los pilares establecidos para lograr este cambio cultural es la llamada “Vinculación con los territorios”. Entre algunas actividades desarrolladas con este objetivo se encuentran las visitas familiares de trabajadores a sus áreas operativas, las visitas turísticas al pueblo de Chuquicamata, la formación de técnicos y operarios en el colegio Don Bosco de Calama. A continuación, se ilustran los logros obtenidos en materias de desarrollo comunitario en el año 2020.



Figura 11.2.1: "Logros obtenidos en materia de desarrollo comunitario en el 2020". Fuente: (CODELCO, 2024).

El cambio en la cultura organizacional de la corporación también se ve reflejado en la incorporación femenina, cuya meta corresponde a un 35% para el año 2027. Para lograr esta meta, se están utilizando los programas “graduados” y “aprendices”. A través de estos programas se entrega la oportunidad de entrar en la corporación a profesionales sin experiencia.

Tecnológico: Históricamente, el desarrollo tecnológico no ha sido fuerte en Chile ni en Latinoamérica en general. Para contrarrestar esto, en el año 2018 se creó el ministerio de ciencia, tecnología, conocimiento e innovación, encargado de asesorar al presidente en la creación y aplicación de planes, programas y políticas que se centren en el fomento de la ciencia y la tecnología, también es el encargado de ampliar el catálogo productivo de Chile, buscando alternativas que permitan al país no depender tanto de las industrias extractivas.

La pandemia del COVID-19 mostró lo necesaria que es la tecnología y la conectividad hoy en día, ya que esta abre camino a distintos tipos de trabajos remotos tales como teletrabajo u operación remota de equipos, también ofrece distintas soluciones que mejoran la calidad de vida de los ciudadanos y la eficiencia de los procesos industriales.

Para comparar distintos países en cuanto a su nivel tecnológico, existe un estudio que considera 118 naciones llamado Índice de Preparación Digital. En la versión del año 2018, Chile se sitúa en Sudamérica como el segundo país con mejor puntuación (13,92), siendo superado sólo por Uruguay (14,07) (Yoo, 2018).

La industria 4.0 ha generado cambios importantes en las distintas industrias, la minería también ha sido afectada. Industria 4.0 hace referencia a la integración de equipos en una línea productiva a través de tecnologías como la conectividad a través de la nube, la inteligencia artificial, la inteligencia de las cosas y el machine learning, entre otras.

Medio ambiente: La actividad minera repercute en distintas áreas ambientales, entre estas destacan el uso y contaminación de aguas, la invasión de ecosistemas y sus consecuencias sobre la flora y fauna local, y las consecuencias sobre la salud humana, tanto en trabajadores como en pobladores locales.

En Chile existen una serie de leyes dedicadas a la protección del medio ambiente ante el impacto de la minería. Estas leyes regulan factores como las emisiones de polvo o material particulado, la emisión de ruidos, la composición del agua recuperada, entre otros. Proteger el medio ambiente es esencial ya que este es el entorno donde se desarrolla la sociedad humana y cualquier cambio en el medio ambiente puede traer consecuencias para el ser humano. En base a esto es que nace la sostenibilidad, la cual indica que las empresas serán capaces de producir asegurando la existencia de recursos para las generaciones venideras.

El cumplimiento de estas leyes conlleva un amplio fasto para las empresas, además, con el tiempo se han vuelto más estrictas. La suma de estos factores dificulta su cumplimiento, y de mano, el desarrollo de las actividades mineras en el país.

Legislativo: Todas las empresas que desarrollen actividades mineras en Chile deben cumplir una serie de normas, entre las que destacan la ley 19.300 que entrega las bases generales sobre regulaciones medioambientales, la ley 20.026, que establece un impuesto específico a la actividad minera, la ley 20.551, que regula el cierre de las faenas mineras y la ley 19.137, que regula la propiedad de CODELCO-Chile sobre los yacimientos mineros del país.

Las leyes enfocadas a la actividad minera son cada vez más estrictas y dan menos margen sobre temas ambientales y de sustentabilidad, esto dificulta el desarrollo de actividades mineras debido a la complejidad y alto costo asociado al cumplimiento de estas leyes.

Contexto Operacional

A continuación, se utilizará el análisis de las 6M para obtener el contexto operacional en el que se desarrolla el proceso de lubricación del sistema de rodado de tambores aglomeradores en DCh.

El análisis realizado mediante las 6M será expuesto a través de dos diagramas de Ishikawa, uno para el sistema de lubricación de descansos y uno para el sistema de lubricación del piñón-corona.

El diagrama de Ishikawa, también conocido como diagrama de pescado, es una herramienta que permite identificar las causas que producen algún problema, en este caso, cada punto de las 6M será identificado como una situación a nivel macro y entre esta situación y el centro del diagrama se posarán las diferentes características que influyen o que determinan cómo afecta esta situación al sistema en estudio.

A continuación, se presenta el análisis de 6M para el proceso de lubricación del sistema de rodado de tambores aglomeradores en DCh.

Contexto operacional: Análisis 6M sistema de lubricación del sistema de rodado

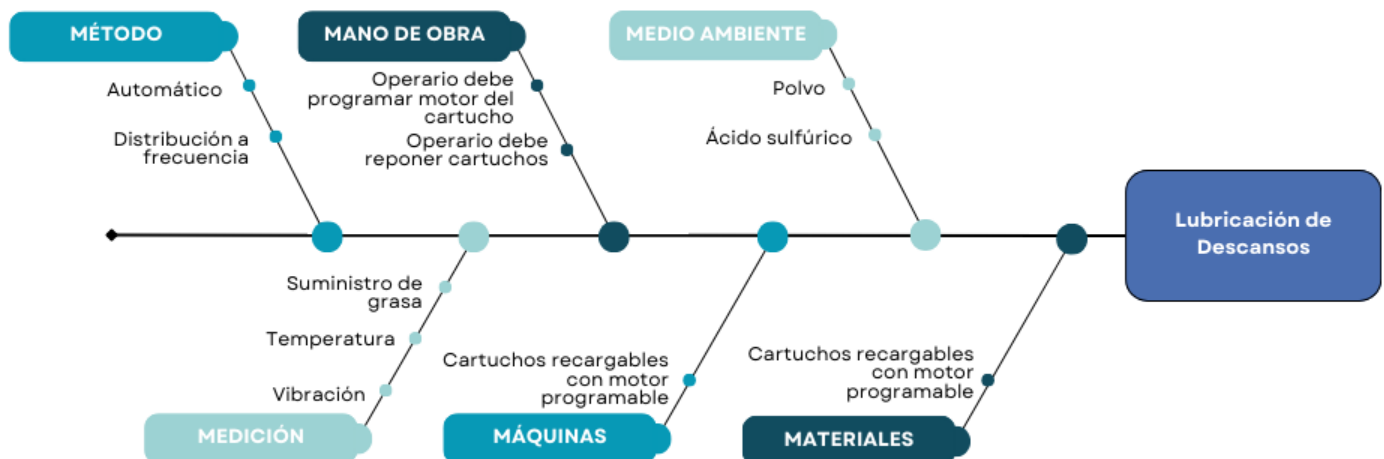


Figura 11.2.2: Análisis 6M para lubricación de sistema de descansos en tambores aglomeradores. Fuente: (Elaboración propia).

Del análisis realizado al sistema de lubricación de los descansos, destacan principalmente el método y las mediciones. El método que utiliza este sistema es automático y con una distribución de grasa a frecuencia (mediante cartuchos lubricantes con motor programable). Se destaca por el lado de las mediciones, que cuenta con sensores de temperatura y vibración y que, debido a que se distribuye con cartuchos lubricantes con motor programable, se tiene una cuantificación de la grasa suministrada al sistema.

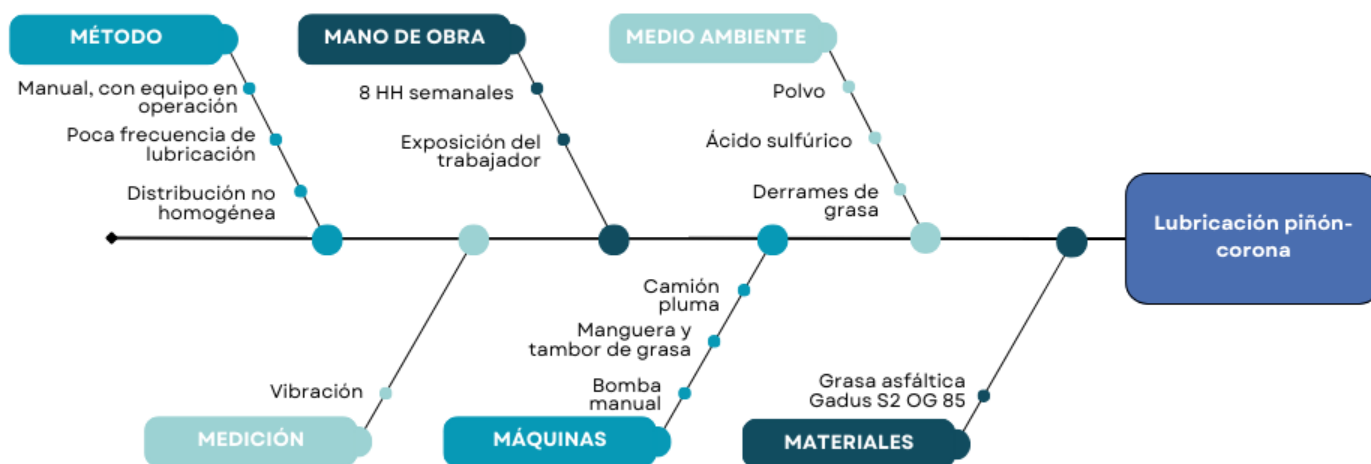


Figura 11.2.3: Análisis 6M para lubricación de sistema del piñón-corona en tambores aglomeradores. Fuente: (Elaboración propia).

Del análisis realizado al sistema de lubricación del piñón-corona, se destacan la mano de obra, debido a la exposición provocada al lubricar el equipo de manera manual y con el equipo en operación, el método, que distribuye de manera no homogénea, con muy poca frecuencia y, como se mencionó, se realiza de manera manual y con el equipo en operación. Finalmente, destaca la influencia del medio ambiente sobre el sistema, ya que el sistema está expuesto constantemente a polvo y ácido sulfúrico, lo cual, combinado con la poca frecuencia de lubricación, puede generar daños catastróficos a largo plazo en el piñón corona. Además, el sistema de lubricación actual, debido a la poca frecuencia de lubricación, genera derrames de grasa, lo cual puede traducirse como una infracción al HSEC tanto por el lado medioambiental (mala gestión de residuos mineros) como a la salud del trabajador (riesgo de resbalamiento y lesión del trabajador).

Las figuras 11.2.4, 11.2.5 y 11.2.6 muestran los derrames de grasa provocados, la distribución no homogénea de la grasa a lo largo del piñón-corona y el método manual (utilizando una manguera) con el cual se lubrica este mismo, respectivamente.



Figura 11.2.4: Derrames de grasa. (Fuente: Elaboración propia).



Figura 11.2.5: Piñón-corona, destaca manguera utilizada para lubricación manual. Fuente: (Elaboración propia).



Figura 11.2.6: Piñón-corona, destaca lubricación no homogénea. Fuente: (Elaboración propia).

Gracias al análisis del contexto operacional, se puede concluir que el sistema de lubricación de los descansos está más optimizado que el del sistema piñón-corona, aunque aún no cuenta con todos los requerimientos que solicita CODELCO, tales como la creación de una base de datos.

Finalmente, se define que el presente proyecto tendrá como alcance proponer mejoras al sistema de lubricación del sistema piñón-corona y los descansos en los 3 tambores aglomeradores.

11.3. Identificación de Variables de Riesgo

Para la Identificación de las variables de riesgo se han utilizado 2 métodos, en primer lugar, se utilizó el análisis de modos y efectos de la falla (FMEA), a través del cual se analizaron los modos de falla de los distintos componentes del sistema de rodado. Luego, se realizará un análisis FODA del sistema de lubricación actual, enfocado en la lubricación del piñón-corona.

FMEA piñón-corona

Función	Requerimientos	Modos de falla	Efectos de la falla	Causa	Modos de detección actuales	Acciones de mitigación actuales
Transmitir potencia desde el sistema motriz al sistema de rodado.	Debe mantener el área efectiva de contacto entre el piñón y la corona.	Rayado (Scoring).	Disminuye el área efectiva de contacto, generando un perfil	Contacto metal-metal, producido por una mala lubricación.	Inspección visual.	Lubricación manual.
		Desgaste (Wear).	anormal de esfuerzos en el diente, generando peaks de vibraciones, aumento de temperatura y quitando eficiencia a la transmisión de potencia. A largo plazo puede inhabilitar el equipo.	A) Adhesivo: debido a capa de lubricante muy fina. B) Abrasivo: se produce por el ingreso de partículas abrasivas en el lubricante. C) Corrosivo: Se debe a la composición química del lubricante, sus aditivos o el ingreso de químicos externos al lubricante.	Inspección visual.	Lubricación manual, control de expulsión de polvo y ácido sulfúrico a través de canales de evacuación en tambor aglomerador.

		Frosting (grietas de aproximadamente 25 μm).		Debido a una capa de lubricante excesivamente fina en lugares de contacto áspero.	Tintas penetrantes.	Lubricación manual.
		Picaduras (daños en forma de cráter o pozo).		Se produce en los puntos más altos de la superficie de un diente, se deben a las altas tensiones. Suele suceder en superficies ásperas.	Inspección visual.	No se mitiga actualmente.
		Desprendimiento de metal en forma de escamas o virutas (Spalling).		Operación con carga por sobre la de diseño.	Inspección visual.	Monitoreo constante de parámetros operacionales.
		Quiebre de dientes.		Carga excesiva, mala distancia entre piñón y corona, desgaste excesivo, entre otras.	Inspección visual.	No se mitiga actualmente.
		Iritación; creación de un surco en el diente. (Galling).		Mal ajuste o película lubricante demasiado fina.	Inspección visual e inspección topográfica.	Lubricación manual, inspección visual y topografía.
		Excoriación (flujo plástico del material).		Generado por alto estrés mecánico, suele ocurrir en superficies con bajo nivel de dureza.	Inspección visual.	Monitoreo de parámetros operacionales y compra de piñón-corona recomendado por proveedor.
	El sistema debe estar alineado.	Desalineamiento del sistema	Disminuye el área efectiva de contacto, generando un perfil anormal de esfuerzos en el diente, generando peaks de vibraciones, aumento de temperatura y quitando eficiencia a la transmisión de potencia. A largo plazo puede inhabilitar el equipo.	Operación por sobre los parámetros definidos.	Inspección visual y medición topográfica.	Monitoreo de parámetros operacionales y medición topográfica.
		Aumento de distancia entre los dientes del piñón y la corona.		Errores en instalación o en la manufactura.	Inspección visual y con topografía.	Medición topográfica al realizar trabajos en piñón corona.

	El sistema no debe emitir ruido.	Gear noise	Crea contaminación ambiental.	Errores de diseño, mal acabado superficial, ciclo de vida del sistema, entre otras.	Inspección en terreno.	Utilización de ruedas dentadas helicoidales, que llevan el ruido al mínimo.
--	----------------------------------	------------	-------------------------------	---	------------------------	---

Tabla 11.3.1: Análisis de modos de fallas y efectos de la falla sistema piñón-corona. Fuente: (Elaboración propia).

El FMEA realizado al piñón-corona presenta distintos modos de falla cuya principal causa corresponden a problemas de lubricación, entre los cuales destacan: película de lubricante muy fina, falta de lubricación, ingreso de partículas abrasivas en el lubricante e ingreso de químicos a la capa de lubricante, en este caso específico, ácido sulfúrico.

El método de lubricación actual del sistema piñón-corona cuenta con limitaciones en distintos ámbitos. En primer lugar, esta actividad se realiza 2 veces a la semana. Cada vez que se lubrica el piñón-corona se suministra una alta cantidad de grasa, la cual, como se mencionó en el análisis 6M del sistema, se derrama debido a la gravedad, dejando al sistema con déficit de lubricación. A esto se añade el hecho de que el tiempo que transcurre entre cada periodo de lubricación es bastante amplio, lo cual genera que los elementos externos que entran en la película lubricante ya sean de origen químico o del tipo abrasivo, no sean removidos constantemente.

Por otro lado, la inspección visual del sistema no es idónea para la identificación real del avance de los distintos modos de falla que se presentan en el FMEA.

La suma de estos factores genera que la probabilidad de ocurrencia de los modos de falla descritos en el FMEA sea extremadamente alta. Además, se evidencia que el método de detección que se utiliza no permite controlar de buena manera la real influencia de los MdF en la vida útil del sistema.

A continuación, se presenta el FMEA para rodillos radiales y axiales.

FMEA rodillos radiales y axiales

Ítem	Función	Requerimientos	Modos de falla	Efectos de la falla	Causa	Modos de detección	Acciones de mitigación
Rodillo Radial	Soportar cargas del sistema, evitando su desplazamiento radial.	Mantener área efectiva de contacto dentro del descanso.	Fatiga: daños en el interior del descanso, inicialmente se presentan como grietas y se expande hasta crear un descarrillado.	Modifica el área efectiva de contacto dentro del descanso, quitando efectividad en la disipación energética, aumentando temperatura y vibración en el descanso. Permitir el avance de este modo de falla puede destruir por completo el componente.	Se debe a cambios cíclicos de esfuerzos.	Análisis de lubricante.	Cambio cíclico del componente.
			Desgaste: remoción de material superficial, de manera progresiva y por capas.		A) Adhesivo: debido a capa de lubricante muy fina. B) Abrasivo: se produce por el ingreso de partículas abrasivas en el lubricante. C) Corrosivo: Se debe a la composición química del lubricante, sus aditivos o el ingreso de químicos externos al lubricante.	Análisis de lubricante.	Cambio cíclico del componente.
			Corrosión: remoción de material superficial por capas, acelerado por la acción de un agente químico.		Debido a deficiencias de sellado en el descanso, lo cual permite la entrada de sustancias químicas que aumentan la velocidad del desgaste en la pieza.	Análisis de lubricante.	Control de expulsión de polvo y ácido sulfúrico a través de canales de evacuación en tambor aglomerador. Lubricación automática por ciclos. Cambio cíclico del componente.

			Corrosión por electricidad: remoción de material superficial por capas, acelerado por la acción de una corriente eléctrica.		Se produce cuando la pieza se ve expuesta a corrientes por sobre las que soporta. Suele ocurrir cuando se generan fugas de corriente.	No es necesario identificarlo ya que no circula electricidad por el descanso en cuestión.	No es necesario mitigarlo ya que no circula electricidad por el descanso en cuestión.
			Deformación plástica: flujo plástico del metal crea una deformación en distintos elementos del interior del descanso.		A) Debido a sobrecargas operacionales. B) Debido a fuerzas cíclicas (fatiga). C) Debido a aumentos de temperatura.	Análisis de lubricante y monitoreo de parámetros operacionales.	Cambio cíclico del componente.
			Fracturas: separación completa o parcial de una sección del componente.				
Rodillo Axial	Soportar cargas del sistema, evitando su desplazamiento axial.	Deslizamiento en el interior del descanso debe ser suave y fluido.	Alertas por vibración o temperatura.	Detención no planificada del equipo para revisión/cambio no planificado de componentes.	Falta de lubricación. Trabajos fuera de parámetros operacionales. Acumulación de modos de falla asociados a dimensiones del componente.	Sensores de vibración y temperatura. Monitoreo de parámetros operacionales.	Control de parámetros operacionales. Lubricación automática por ciclos.
		Mantener dimensiones de diseño.	Fatiga: daños en el interior del descanso, inicialmente se presentan como grietas y se expande hasta crear un descarrillado.	Modifica el área efectiva de contacto dentro del descanso, quitando efectividad en la disipación energética, aumentando temperatura y	Se debe a cambios cíclicos de esfuerzos.	Análisis de lubricante.	Cambio cíclico del componente.

			Desgaste: remoción de material superficial, de manera progresiva y por capas.	vibración en el descanso. Permitir el avance de este modo de falla puede destruir por completo el componente.	A) Adhesivo: debido a capa de lubricante muy fina. B) Abrasivo: se produce por el ingreso de partículas abrasivas en el lubricante. C) Corrosivo: Se debe a la composición química del lubricante, sus aditivos o el ingreso de químicos externos al lubricante.	Análisis de lubricante.	Cambio cíclico del componente.
			Corrosión: remoción de material superficial por capas, acelerado por la acción de un agente químico.		Debido a deficiencias de sellado en el descanso, lo cual permite la entrada de sustancias químicas que aumentan la velocidad del desgaste en la pieza.	Análisis de lubricante.	Control de expulsión de polvo y ácido sulfúrico a través de canales de evacuación en tambor aglomerador. Lubricación automática por ciclos. Cambio cíclico del componente.
			Corrosión por electricidad: remoción de material superficial por capas, acelerado por la acción de una corriente eléctrica.		Se produce cuando la pieza se ve expuesta a corrientes por sobre las que soporta. Suele ocurrir cuando se generan fugas de corriente.	No es necesario identificarlo ya que no circula electricidad por el descanso en cuestión.	No es necesario mitigarlo ya que no circula electricidad por el descanso en cuestión.

			Deformación plástica: flujo plástico del metal crea una deformación en distintos elementos del interior del descanso.		A) Debido a sobrecargas operacionales. B) Debido a fuerzas cíclicas (fatiga). C) Debido a aumentos de temperatura.	Análisis de lubricante y monitoreo de parámetros operacionales.	Cambio cíclico del componente.
			Fracturas: separación completa o parcial de una sección del componente.				
		Deslizamiento en el interior del descanso debe ser suave y fluido.	Alertas por vibración o temperatura.	Detención no planificada del equipo para revisión/cambio no planificado de componentes.	Falta de lubricación. Trabajos fuera de parámetros operacionales. Acumulación de modos de falla asociados a dimensiones del componente.	Sensores de vibración y temperatura. Monitoreo de parámetros operacionales.	Control de parámetros operacionales. Lubricación automática por ciclos.

Tabla 11.3.2: Análisis de modos de fallas y efectos de la falla rodillos axiales y rodillos radiales. Fuente: (Elaboración propia).

El FMEA realizado a los descansos (rodillo radial y rodillo axial) presenta distintos modos de falla que, a diferencia del sistema piñón-corona, no están todos relacionados con la lubricación del sistema.

Se aprecia que el desgaste, y las alertas de temperatura y vibración son los MdF que se relacionan con la lubricación.

La figura 11.3.1, muestra la distribución de las horas de detención no planificada asociadas al sistema de rodado de los tambores aglomeradores.

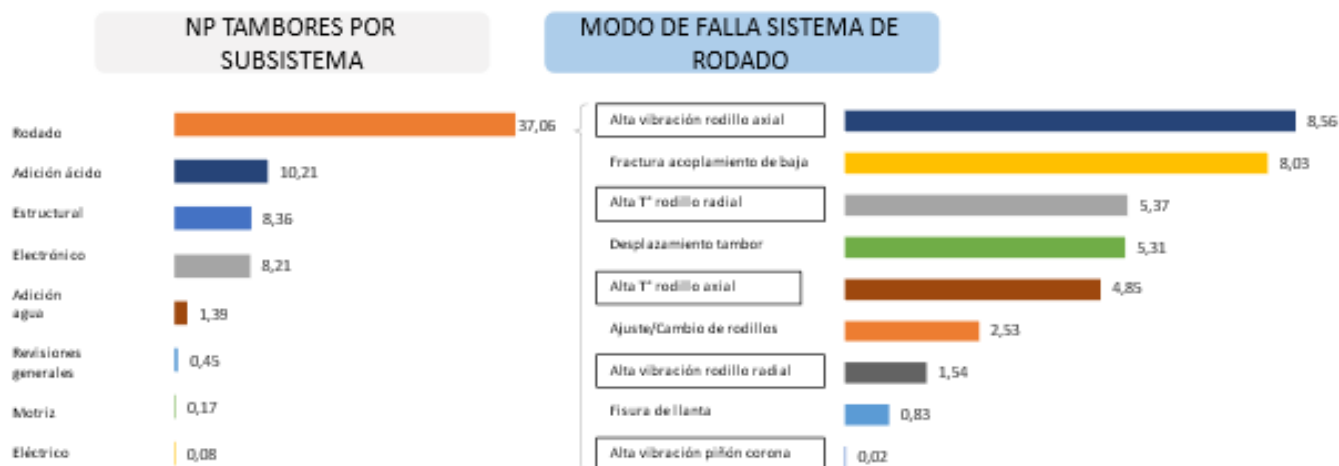


Figura 11.3.1: Distribución de tiempos de detención por NP en tambores aglomeradores. Fuente: (Elaboración propia).

Al aislar los modos de falla relacionados con lubricación (temperatura y vibración), se tiene que estos representan el 55% de las horas de detención provocadas por el sistema de rodado, lo cual se traduce como el 30% de todas las detenciones no planificadas de tambores aglomeradores.

Se concluye que los MdF relacionados a lubricación suman un total de 20,35 [horas de apilamiento] entre 2021 y agosto de 2023, lo cual se proyecta como un gasto de 343.000 [USD/año].

A continuación, se presentan los riesgos relacionados con la operación y el entorno.

Riesgos operacionales y del entorno

RIESGO	CAUSA	CONSECUENCIA	PROBABILIDAD	DETECTABILIDAD
Detenciones relacionadas a lubricación, en tambores aglomeradores entre 2021 y Julio 2023.	Sistema de mitigación actual del riesgo no controla de manera eficiente el riesgo.	Pérdidas de 343.000 [USD/año].	Detenciones por vibración y temperatura ocurren más de 30 veces al año.	Método para detectar el riesgo es completamente efectivo.
Modos de Falla del piñón-corona no controlados por sistema de lubricación actual.	Sistema manual, con poca frecuencia de lubricación y distribución no	Disminución de vida útil del piñón-corona. Pérdidas aproximadas de 171.040 [USD/año].	A pesar de que la empresa no cuenta con registros, la probabilidad de ocurrencia es muy alta debido al método de lubricación.	Método para detectar el riesgo no es el idóneo.

	homogénea de la grasa.			
Derrames de grasa.	Sistema de lubricación actual de piñón corona distribuye una cantidad excesiva de grasa que cae por gravedad al piso.	Infringe el HSEC.	Ocurre cada vez que se lubrica el piñón-corona, es decir, más de 30 veces al año.	Método para detectar el riesgo es completamente efectivo.

Tabla 11.3.3: Riesgos operacionales y del entorno. Fuente: (Elaboración propia).

Las pérdidas mencionadas en esta sección se calcularon a través de la siguiente ecuación:

$$\text{Pérdida [KUSD]} = \text{Costos(materiales)} + T * \tau * \lambda * \gamma * \alpha$$

Ecuación 9

Donde:

- T : tiempo de detención [h].
- τ : producción planta = 2333 [ton/hora].
- λ : recuperación del mineral = 65 [%].
- γ : ley del mineral = 0,35 [%].
- α : precio de venta del cobre = 8,323 $\left[\frac{\text{KUSD}}{\text{ton}} \right]$.

El precio de venta del cobre se obtuvo del informe “Orientaciones comerciales”, publicado por CODELCO, el cual se encuentra en el anexo 15.4.

Si la detención se produce en sólo un equipo, sin afectar la operación de los otros, el tiempo de producción se ponderará.

A continuación, se presenta el análisis FODA realizado para el sistema de lubricación del sistema de rodado del tambor aglomerador.

Análisis FODA lubricación sistema piñón-corona

FORTALEZAS: Cuenta con un procedimiento establecido. Actividad incluida en plan matriz de mantenimiento. Cuenta con recursos asignados y codificados. Su mantenimiento es simple y poco recurrente.	DEBILIDADES: Expone al trabajador. Genera derrames de grasa. Carece de controles, de temperatura, desgaste y suministro de grasa en sistema piñón corona. La distribución de grasa en sistema piñón corona no es homogénea. Lubricación de sistema piñón corona no cumple con norma ANSI 9005 D-94.
OPORTUNIDADES: Evitar exposición del trabajador. Cuantificación de recursos utilizados. Automatización del sistema. Añadir controles. Mejorar eficiencia del proceso. Distribuir grasa de manera uniforme. Estandarizar el proceso.	AMENAZAS: Atrapamiento por partes móviles (Riesgo Crítico N°9 en CODELCO). Impacto ambiental por derrames de grasa. Posibilidad de daños humanos debido a resbalamientos. Sobre y sublubricación. Fallas operacionales. Impacto en vida útil de sistema piñón corona. Reasignación de recursos (HH) ante emergencias. Proceso con alta variabilidad. Contaminación del lubricante debido a condiciones operacionales.

Tabla 11.3.4: FODA Sistema de lubricación de sistema de rodado de tambor aglomerador DCh. Fuente: (Elaboración propia).

Del análisis FODA realizado al sistema de lubricación del piñón-corona, se identificaron riesgos asociados a la exposición del trabajador y riesgos operacionales y del entorno, sin embargo, los riesgos operacionales y del entorno serán estudiados próximamente a través del análisis de modos y efectos de la falla.

A continuación, se presentan los riesgos asociados al trabajador.

Riesgos relacionados con el trabajador

RIESGO	CAUSA	CONSECUENCIA	PROBABILIDAD	DETECTABILIDAD
Atrapamiento por partes móviles.	Debido a lubricación manual con equipo en operación.	Infringe normas de seguridad (HSEC).	Baja probabilidad. No se evidencia ocurrencia en base de datos.	No existen métodos para detectar el riesgo.

Riesgo de resbalamiento por derrames de grasa.	Derramamientos de grasa provocados por sistema actual de lubricación del piñón-corona.	Infringe normas de seguridad (HSEC).	Baja probabilidad. No se evidencia ocurrencia en base de datos.	No existen métodos para detectar el riesgo.
--	--	--------------------------------------	---	---

Tabla 11.3.5: Riesgos relacionados con el trabajador. Fuente: (Elaboración propia).

A continuación, se presenta un resumen de los riesgos identificados.



Figura 11.3.2: Riesgos identificados. Fuente: (Elaboración propia).

Se identifican 4 naturalezas de los riesgos. Estas son: (i) Económica/financiera, (ii) Operacionales, y (iii) Estratégicos.

A continuación, se clasifican los riesgos identificados según estas naturalezas.

- **Detenciones no planificadas (NP) en tambores aglomeradores y MdF piñón-corona:** Representa un riesgo del operacional, ya que detiene la operación de la planta, un riesgo de disponibilidad, ya que disminuye la disponibilidad del tambor aglomerador, económico, ya que las paradas de planta conllevan un declive de las ventas y representa un riesgo estratégico debido al incumplimiento de los objetivos fijados por la organización ya que las detenciones no planificadas afectan los objetivos fijados tanto económica como productivamente.

- **Atrapamiento por partes móviles y riesgo de resbalamiento:** Corresponden principalmente un riesgo estratégico, al presentar como consecuencia un incumplimiento del HSEC.
- **Derrames de grasa:** Corresponde a un riesgo estratégico, ya que la contaminación que significa el constante derrame de grasa es una infracción al HSEC. Además, representa un riesgo económico/financiero, ya que el derrame de grasa se puede traducir como una mala o nula utilización de alguna cantidad del recurso.

El análisis realizado también permite la identificación de distintos desperdicios, entre los cuales se encuentran:

- **Mala utilización de la mano de obra:** Sistema de lubricación de piñón-corona utiliza 8 HH a la semana, las cuales pueden ser distribuidas en otras tareas. Este es un desperdicio del tipo Muda ya que se está utilizando de mala manera el recurso humano.
- **Pérdidas de grasa:** Sistema de lubricación de piñón-corona genera derrames de grasa que se traducen en grasa que no cumple su función, por lo tanto, es un desperdicio del tipo Muda ya que se está utilizando de mala manera el recurso.
- **Detenciones no planificadas debido a lubricación:** Aunque el sistema de rodado cuenta con un proceso automatizado para realizar la lubricación, este no lubrica a condición, eso se traduce en detenciones no planificadas y por lo tanto en desperdicios operacionales Es un desperdicio del tipo Mura ya que otorga una amplia variabilidad a la producción.
- **Disminución de vida útil del piñón-corona:** Debido a la cantidad de MdF no cubiertos por el sistema de lubricación actual, se evidencia una disminución de la vida útil del piñón-corona. Esto es un desperdicio del tipo Muri ya que estos MdF producen una sobre carga del equipo y no permiten su utilización eficiente.

11.4. Evaluación y Jerarquización de variables de riesgo.

Para la evaluación y jerarquización de riesgos, se otorgó puntaje a las probabilidades de ocurrencia, a las posibles consecuencias asociadas a cada riesgo y la detectabilidad de estos.

Se muestran a continuación, las tablas de probabilidad de ocurrencia y de consecuencias, junto con sus respectivos puntajes.

PROBABILIDAD DE OCURRENCIA	PUNTAJE
Más de 30 veces al año.	6
10 veces al año.	5
Una vez al año.	4
Dos veces cada 3 años.	3
Una vez cada 3 años.	2
Una vez cada 5 años o menos.	1

Tabla 11.4.1: Criterio de Ocurrencia. Fuente: (Elaboración propia).

CONSECUENCIA	PUNTAJE
Incumplimiento del HSEC.	4
Pérdidas mayores a 300.000 [USD/año].	3
Pérdidas mayores a 200.000 [USD/año].	2
Pérdidas menores a 200.000 [USD/año].	1

Tabla 11.4.2: Criterios de Consecuencia. Fuente: (Elaboración propia).

DETECTABILIDAD	PUNTAJE
No existen métodos para detectar el riesgo.	2
Método para detectar el riesgo no es el idóneo.	1,5
Método para detectar el riesgo es completamente efectivo.	1

Tabla 11.4.3: Criterios de Detectabilidad. Fuente: (Elaboración propia).

En base a estos criterios se generó la siguiente matriz de riesgos, en la cual se pueden diferenciar 3 categorías del riesgo.

		CONSECUENCIA			
		1	2	3	4
PROBABILIDAD x DETECTABILIDAD	1	C	C	C	A
	1,5	C	C	C	A
	2	C	C	C	A
	3	C	C	C	A
	4	C	C	B	A
	4,5	C	C	B	A
	5	C	C	B	A
	6	C	B	B	A
	7,5	C	B	A	A
	8	C	B	A	A
	9	C	B	A	A
	10	C	B	A	A
	12	B	A	A	A

- A: Crítico.
- B: Grave.
- C: Leve.

Ilustración 11.4.1: Matriz de riesgo. Fuente: (Elaboración propia).

La ecuación 10 permite entrar a la matriz de riesgos y así evaluarlos.

$$(Probabilidad\ de\ Ocurrencia\ x\ Detectabilidad) \times Consecuencia$$

Ecuación 10

En la siguiente tabla se indican las distintas consecuencias y probabilidades de cada riesgo identificado.

Riesgos operacionales y del entorno

RIESGO	CAUSA	CONSECUENCIA (PUNTAJE)	PROBABILIDAD (PUNTAJE)		DETECTABILIDAD (PUNTAJE)		
Detenciones NP, relacionadas a lubricación, en tambores aglomeradores entre 2021 y Julio 2023.	Sistema de mitigación actual del riesgo no controla de manera eficiente el riesgo.	Pérdidas de 343.000 [USD/año].	(3)	Detenciones por vibración y temperatura ocurren más de 30 veces al año.	(6)	Método para detectar el riesgo es completamente efectivo.	(1)
Modos de Falla del piñón-corona no controlados por sistema de lubricación actual.	Sistema manual, con poca frecuencia de lubricación y distribución no homogénea de la grasa.	Disminución de vida útil del piñón-corona. Pérdidas aproximadas de 171.040 [USD/año].	(1)	A pesar de que la empresa no cuenta con registros, la probabilidad de ocurrencia es muy alta debido al método de lubricación.	(6)	Método para detectar el riesgo no es el idóneo.	(1,5)
Derrames de grasa.	Sistema de lubricación actual de piñón corona distribuye una cantidad excesiva de grasa que cae por gravedad al piso.	Infringe el HSEC.	(4)	Ocurre cada vez que se lubrica el piñón-corona, es decir, más de 30 veces al año.	(6)	Método para detectar el riesgo es completamente efectivo.	(1)

Tabla 11.4.4: Riesgos operacionales y del entorno, evaluación de variables de riesgo. Fuente: (Elaboración propia).

Riesgos relacionados con el trabajador

RIESGO	CAUSA	CONSECUENCIA (PUNTAJE)		PROBABILIDAD (PUNTAJE)		DETECTABILIDAD (PUNTAJE)	
Atrapamiento por partes móviles.	Debido a lubricación manual con equipo en operación.	Infringe normas de seguridad (HSEC).	(4)	Baja probabilidad. No se evidencia ocurrencia en base de datos.	(1)	No existen métodos para detectar el riesgo.	(2)
Riesgo de resbalamiento por derrames de grasa.	Derramamientos de grasa provocados por sistema actual de lubricación del piñón-corona.	Infringe normas de seguridad (HSEC).	(4)	Baja probabilidad. No se evidencia ocurrencia en base de datos.	(1)	No existen métodos para detectar el riesgo.	(2)

Tabla 11.4.5: Riesgos relacionados con el trabajador, evaluación de variables de riesgo. Fuente: (Elaboración propia).

En base a las consecuencias y probabilidades de ocurrencia expuestas anteriormente, se evaluaron los riesgos en la matriz creada. A continuación, se observa la evaluación de los riesgos y la categorización de estos.

RIESGOS RELACIONADOS CON EL TRABAJADOR								
RIESGO	CAUSA	CONSECUENCIA (PUNTAJE)		PROBABILIDAD (PUNTAJE)		DETECTABILIDAD (PUNTAJE)		EVALUACIÓN
Atrapamiento por partes móviles.	Debido a lubricación manual con equipo en operación.	Infringe normas de seguridad (HSEC).	(4)	Baja probabilidad. No se evidencia ocurrencia en base de datos.	(1)	No existen métodos para detectar el riesgo.	(2)	8 (CRÍTICO)
Riesgo de resbalamiento por derrames de grasa.	Derramamientos de grasa provocados por sistema actual de lubricación del piñón-corona.	Infringe normas de seguridad (HSEC).	(4)	Baja probabilidad. No se evidencia ocurrencia en base de datos.	(1)	No existen métodos para detectar el riesgo.	(2)	8 (CRÍTICO)
RIESGOS OPERACIONALES Y DEL ENTORNO								
Detenciones relacionadas a lubricación, en NP, tambores aglomeradores	Sistema de mitigación actual del riesgo no controla de manera eficiente el riesgo.	Pérdidas de 343.000 [USD/año].	(3)	Detenciones por vibración y temperatura ocurren más de 30 veces al año.	(6)	Método para detectar el riesgo es completamente efectivo.	(1)	18 (GRAVE)

entre 2021 y Julio 2023.								
Modos de Falla del piñón-corona no controlados por sistema de lubricación actual.	Sistema manual, con poca frecuencia de lubricación y distribución no homogénea de la grasa.	Disminución de vida útil del piñón-corona. Pérdidas aproximadas de 171.040 [USD/año].	(1)	A pesar de que la empresa no cuenta con registros, la probabilidad de ocurrencia es muy alta debido al método de lubricación.	(6)	Método para detectar el riesgo no es el idóneo.	(1,5)	9 (LEVE)
Derrames de grasa.	Sistema de lubricación actual de piñón corona distribuye una cantidad excesiva de grasa que cae por gravedad al piso.	Infringe el HSEC.	(4)	Ocurre cada vez que se lubrica el piñón-corona, es decir, más de 30 veces al año.	(6)	Método para detectar el riesgo es completamente efectivo.	(1)	24 (CRÍTICO)

Tabla 11.4.6: Evaluación de riesgos. Fuente: (Elaboración propia).

Finalmente, los riesgos identificados se categorizan como:

Jerarquización de riesgos

CRÍTICOS	GRAVES	LEVE
Atrapamiento por partes móviles. Resbalamiento por derrames de grasa. Derrames de grasa.	Detenciones NP, relacionadas a lubricación, en tambores aglomeradores entre 2021 y Julio 2023.	Modos de Falla del piñón-corona no controlados por sistema de lubricación actual

Tabla 11.4.7: Jerarquización de riesgos. Fuente: (Elaboración propia).

Cabe mencionar que se buscará mitigar todos los riesgos identificados, ya que caben en las categorías de graves y críticos.

11.5. Medidas de mitigación

Como posibles medidas de mitigación de riesgos, se han considerado la eliminación de la fuente de riesgo y la disminución de las probabilidades de ocurrencia de los eventos.

Para presentar las medidas de mitigación, primero se presentará la estrategia de mitigación, la cual se compone por los requerimientos, la razón de estos requerimientos y los riesgos que trata. Luego, se presentarán las propuestas en estudio, detallando sus principales características, comparándolos de manera cualitativa y finalmente comparándolos económicamente. En base a la información mostrada en esta sección, se escogerá la solución que mejor cumpla con los requerimientos descritos.

Estrategia de mitigación (Mínimos imprescindibles).

A continuación, se presentan los requerimientos definidos para la mitigación de los riesgos.

- **Automatizado:** Elimina la exposición al trabajador, por lo tanto, elimina la fuente de riesgos como el riesgo de atrapamiento por partes móviles y el riesgo de resbalamiento debido a los derrames, además evita la posibilidad de la reasignación de HH ante emergencias.
- **Capaz de cumplir con la norma de lubricación ANSI 9005 D-94:** Para disminuir la probabilidad de contaminación del lubricante, evitando un desgaste acelerado de la vida útil del sistema. Evitar los derrames de grasa, para evitar la generación de N1 SSO debido a mala gestión de desechos mineros. Que asegure una distribución homogénea, para evitar un desgaste no uniforme en el sistema. Que lubrique en base a ciclos de lubricación, evitando la sub y sobre lubricación.
- **Que cuente al menos con un control para la grasa suministrada:** Para poder llevar una cuantificación de la grasa utilizada, disminuyendo la probabilidad de pérdidas por mala utilización de recursos.
- **Que distribuya la grasa de manera uniforme:** Para así disminuir las probabilidades de rayado en el piñón-corona.

- **Que cuente con un sistema de distribución a condición:** Con la finalidad de disminuir las detenciones no planificadas debido a temperatura, vibración y cambio de rodillos en los tambores aglomeradores.

A continuación, se muestra un cuadro resumen de la estrategia de mitigación.

Estrategias de mitigación:		REQUERIMIENTO	RAZÓN DEL REQUERIMIENTO	RIESGO TRATADO
Riesgos Relacionados con el Trabajador		AUTOMATIZACIÓN	EVITA EXPOSICIÓN DEL TRABAJADOR	ATRAPAMIENTO POR PARTES MÓVILES
		CONTROLAR CANTIDAD DE GRASA SUMINISTRADA	EVITA DERRAMES	RIESGO DE RESBALAMIENTO IMPACTO AMBIENTAL UTILIZACIÓN DE RECURSOS
Riesgos Operacionales y del Entorno		DISTRIBUCIÓN UNIFORME	DISMINUYE PROBABILIDAD DE RAYADO	RAYADO
		CUMPLIR NORMA ANSI 9005 B4	DISMINUYE CONTAMINACIÓN DEL LUBRICANTE, EVITA SOBRE Y SUB LUBRICACIÓN	DESGASTE, RAYADO, AUMENTO DE T° DEL LUB., FROSTING Y GALLING.
		DISTRIBUCIÓN A CONDICIÓN	DISMINUYE PARADAS DE PLANTA DEBIDO A DETENCIONES NO PLANIFICADAS (NP)	DETENCIONES NO PLANIFICADAS (NP)

Figura 11.5.1: Estrategia de mitigación de variables de riesgo. Fuente: (Elaboración propia).

Propuestas en estudio

Se realizó un estudio de mercado para observar cómo se mitigan los riesgos identificados en la industria actual. En base a la información obtenida, se logró encontrar 3 propuestas de solución, cada una entregada por un proveedor distinto, BELRAY, H-EPARTS Y SKF.

Las propuestas que se mostrarán a continuación basan su funcionamiento en los mismos principios, a continuación, se entrega un pequeño detalle del funcionamiento general y las principales partes de estos sistemas.

Estos sistemas se componen principalmente por los siguientes componentes:

- Bomba neumática.
- Válvula de venteo o progresiva.
- Boquillas tipo spray.

- Inyectores de grasa.
- Controlador tipo PLC.
- Unidad FRL.
- Tambor de grasa.

A continuación, se entrega una descripción general del funcionamiento de este tipo de sistemas.

La bomba neumática suministra lubricante a la válvula (sea progresiva o de venteo), esta válvula se encarga de entregar de manera adecuada el lubricante a las boquillas. Al mismo tiempo, se alimenta la boquilla desde otra entrada con aire. Al mezclarse los fluidos en la salida de las boquillas, se genera un aerosol, el cual se encarga de lubricar. Es importante que las boquillas suministren grasa a todo el largo del piñón o de la corona, y que los ciclos de lubricación contemplen el tiempo necesario para distribuir lubricante por al menos una vez el perímetro completo de la corona. Para distribuir lubricante por todo el flanco del diente, se deben calcular una boquilla por cada 5 pulgadas de largo de diente.

A continuación, se presentan las propuestas estudiadas y sus principales características.

BELRAY: BELRAY ofrece un servicio básico, bastante similar a la descripción del funcionamiento general de estos sistemas. La propuesta en estudio asegura una lubricación por ciclos, la cual podrá ser configurada por el usuario. La configuración permite manejar parámetros de tiempo entre ciclos de lubricación, duración del ciclo de lubricación y cantidad de grasa suministrada por ciclo. El controlador incluido en este sistema permite manejar hasta 2 bombas de manera independiente, por ende, permite lubricar el sistema de rodado de los 3 tambores aglomeradores con 3 controladores y 4 bombas. Una de las bombas se dedica a la lubricación de los 3 sistemas piñón-corona, mientras que las otras 3 se dedican a la lubricación de los descansos. Cabe destacar que para la lubricación de descansos se buscará siempre un sistema independiente para cada tambor, debido a la alta cantidad de puntos de lubricación que se ven involucrados en la tarea. El costo de implementación de esta solución es de 55.000 [USD] aproximadamente. En cuanto a la codificación del sistema, este está codificado por elementos y de manera parcial, destacando la falta de codificación del

controlador. El sistema tiene un tiempo de entrega de 30 días. Por último, destaca como gran desventaja de esta propuesta el hecho de que la empresa no cuenta con contrato en la División, por lo cual necesitan pase de visita para poder ingresar a DCh, cabe mencionar que los pases de visita son limitados durante el año y suelen reservarse para emergencias.

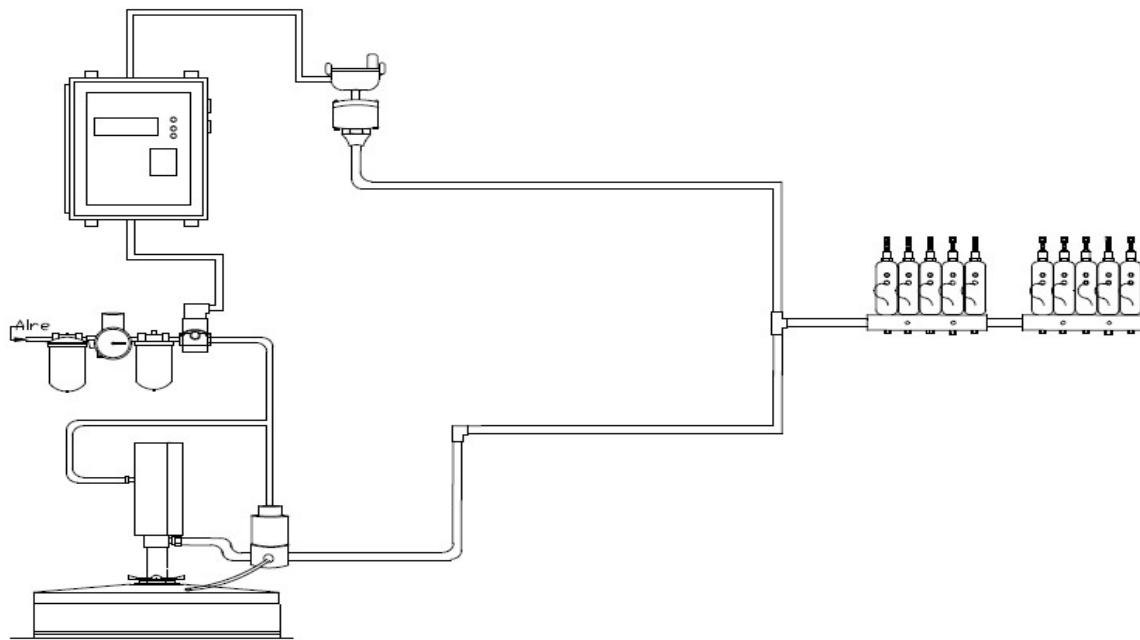


Figura 11.5.2: Propuesta de BELRAY. Fuente: (ANEXO 15.9).

H-EPARTS: En cuanto al sistema propuesto por H-EPARTS, se tiene que este cuenta con un funcionamiento similar al de BELRAY, asegurando una distribución por ciclos. Los ciclos también son programables en parámetros de duración del ciclo, tiempo entre estos y la cantidad de grasa suministrada en cada uno. Como principales ventajas de esta propuesta, destaca que el sistema es modular, es decir, la instalación consiste sólo en conectar el sistema a la fuente de energía, al depósito de grasa y a los puntos de lubricación. Otra ventaja comparativa se encuentra en la cantidad de bombas que puede manejar cada controlador, con un total de 3. Para la lubricación de todo el sistema de rodado de los 3 tambores aglomeradores, es necesario contar con 2 controladores y 4 bombas, estas bombas cuentan con la misma disposición que en la propuesta de BELRAY, siendo una la encargada de lubricar los piñón-corona de todos los tambores y las otras 3 dedicadas a los descansos de cada tambor por separado. El valor de esta solución es de 114.000 [USD] aproximadamente.

Destaca que la empresa cuenta con contrato en la División, mas no en la gerencia, lo cual significa que, para contar con sus servicios, es necesaria una extensión del contrato. El sistema tiene un tiempo de entrega de 30 días. Finalmente, la propuesta en cuestión no está codificada y fue entregada como un solo ítem.

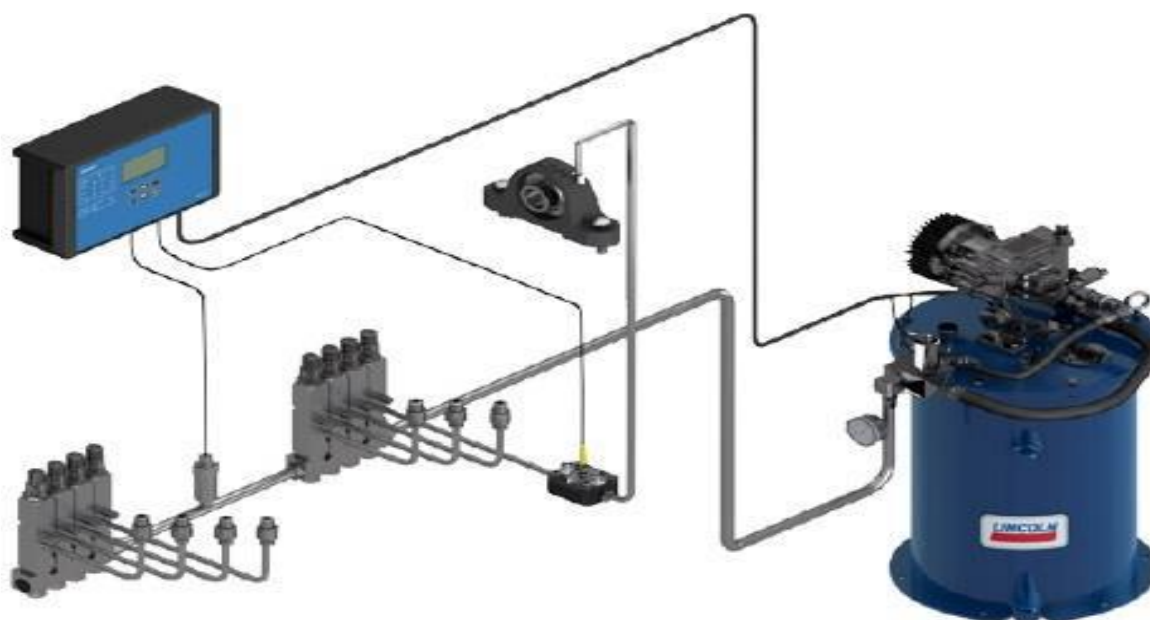


Figura 11.5.3: Propuesta H-EPARTS. Fuente: (ANEXO 15.10).

SKF: SKF propone una solución cuyo funcionamiento es un poco más complejo que la descripción general del sistema, incluyendo más funciones y más componentes. Esta propuesta se diferencia de las demás en distintos puntos. Esta es la única propuesta que asegura no sólo una distribución por ciclos, sino también bajo demanda del sistema, es decir, a condición. Para generar la distribución bajo demanda, el sistema cuenta con monitoreo en tiempo real, con una tasa de refresco de 10 segundos. El monitoreo busca controlar condiciones de vibración y temperatura en descansos, y de temperatura en piñón-corona. Cuando los parámetros monitoreados superan un límite establecido, el cual puede ser diferente para cada punto, comienza un nuevo ciclo de lubricación, el cual continúa hasta recuperar los parámetros operacionales. Ambos tipos de distribución, a condición y por ciclos, son programables en todos sus parámetros (duración de ciclos, tiempo entre ciclos, grasa suministrada, límites de temperatura y vibración). El monitoreo se realiza mediante un

controlador, capaz de manejar 8 puntos de lubricación. Los datos obtenidos se derivan a la plataforma REP Center, la cual analiza los datos en tiempo real y al mismo tiempo crea un registro de estos, dando pie a un futuro mantenimiento predictivo. El sistema está desarrollado en 2 códigos, uno se utiliza para los descansos y uno para el piñón-corona, estos códigos están codificado y por codificar, respectivamente. Como cada sistema puede controlar un máximo de 8 puntos de lubricación y el sistema para descansos y piñón corona son distintos, se necesita un total de 6 códigos para los descansos y 3 códigos para el piñón-corona para lubricar el sistema de rodado de todos los tambores aglomeradores, esto tiene un costo de 261.000 [USD] (IVA incluido), lo cual representa la mayor desventaja de la propuesta. SKF cuenta con contrato tanto en la División como en la gerencia. Finalmente, la empresa ofrece asesoramiento gratuito sobre posibles mejoras en la utilización del sistema, mejoras basadas en los datos recopilados en REP Center.

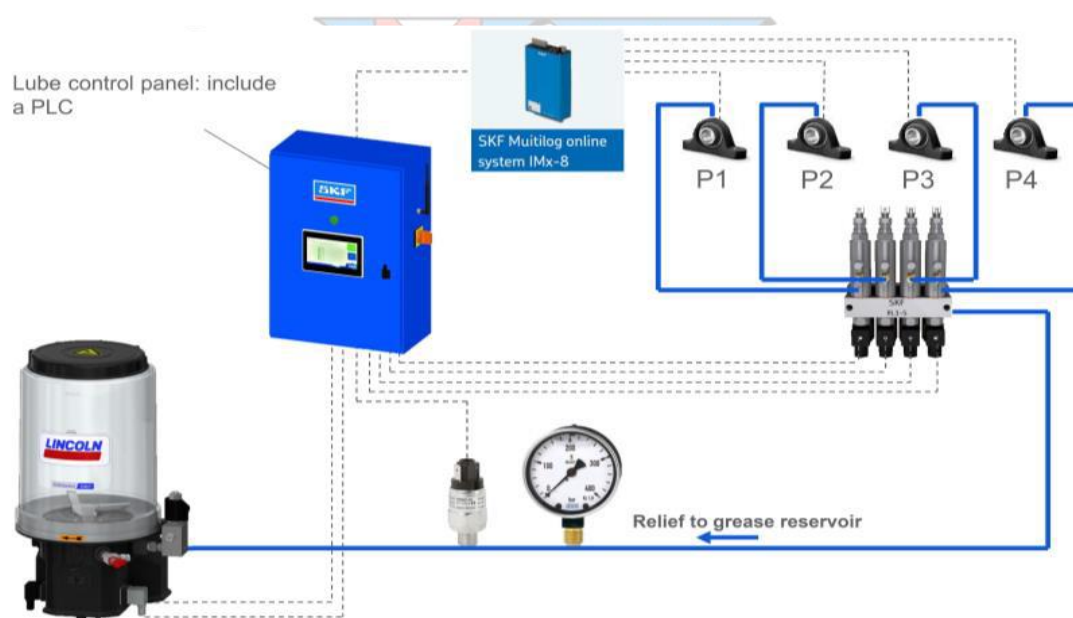


Figura 11.5.4: Propuesta SKF. Fuente: (ANEXO 15.8).

A continuación, se muestra un cuadro con el resumen técnico de las propuestas entregadas por SKF, BELRAY y H-EPARTS.

Comparación cualitativa de propuestas.

	SKF	H-EPARTS	BELRAY
DISTRIBUCIÓN.	POR CICLOS Y A CONDICIÓN.	POR CICLOS.	POR CICLOS.
TIEMPO DE ENTREGA.	60 DÍAS.	30 DÍAS.	30 DÍAS.
DISPONIBILIDAD DEL PERSONAL.	DISPONIBLE EN GEL.	DISPONIBLE EN DCH.	NECESITA PASE DE VISITA
ASESORÍAS.	DISEÑO PIPING Y LÍNEA ELÉCTRICA, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE CUBÍCULO PARA PLC. BASE DE DATOS REP CENTER. RECOMENDACIONES SEGÚN DATOS OBTENIDOS EN REP CENTER. CAPACITACIÓN SOBRE USO DEL SISTEMA. GOBERNANCIA SOBRE USO DEL SISTEMA	ENTREGA DE SISTEMA TIPO MODULAR (PLUG-IN), DISEÑO PIPING, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE CUBÍCULO PARA PLC.	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE CUBÍCULO PARA PLC.
IMPLEMENTACIÓN/COSTOS.	6 X SAP 4213485 + 3 D- LUB OGL. 261.000 [USD].	2 CONTROLADOR + 4 BOMBA. 110.000 [USD].	3 CONTROLADOR + 4 BOMBA. 55.000 [USD].

Figura 11.5.5: Comparación cualitativa de propuestas. Fuente: (Elaboración propia).

El cuadro comparativo permite visualizar de manera simple las características de cada propuesta. En base a la información que se muestra en la figura 11.5.5, se destaca que:

- BELRAY otorga la propuesta con menor costo.
- H-EPARTS otorga una propuesta de simple instalación debido a su cualidad de sistema modular.
- A pesar de ser la propuesta con un costo más elevado, SKF logra diferenciarse del resto por su lubricación a condición y sus asesorías que incluyen el servicio prestado por el REP Center.

11.6. Solución escogida

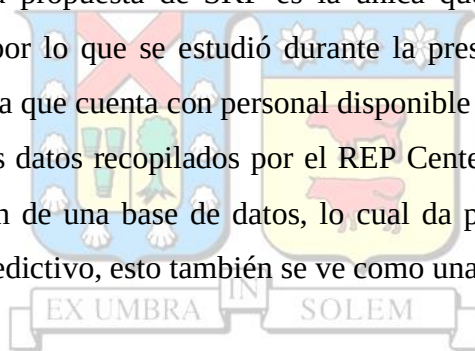
Para escoger una propuesta definitiva, se buscó aquella que cumpliera con la mayor cantidad de los requerimientos establecidos o, en el mejor de los casos, con todos.

A continuación, se vuelven a presentar los requerimientos establecidos y se explica qué propuestas los cumplen.

- **Automatizado:** Todas las propuestas en estudio automatizan el sistema de lubricación del sistema de rodado de tambores aglomeradores.

- **Capaz de cumplir con la norma de lubricación ANSI 9005 D-94:** Esta norma indica la cantidad de grasa que debe suministrarse, cada cuanto debe suministrarse y qué tanto durará un ciclo de lubricación. Todos estos parámetros son editables por el usuario en los sistemas propuestos.
- **Que cuente al menos con un control para la grasa suministrada:** El cumplimiento de la norma ANSI 9005 D-94 implica contar con un control sobre el suministro de grasa, por ende, todas las propuestas cumplen este requisito.
- **Que distribuya la grasa de manera uniforme:** Las tres propuestas distribuyen grasa en los puntos de lubricación de manera homogénea.
- **Que cuente con un sistema de distribución a condición:** Solo presente en la propuesta de SKF.

Se puede observar que la propuesta de SKF es la única que logra satisfacer todos los requerimientos, además, por lo que se estudió durante la presentación de las propuestas, también tiene como ventaja que cuenta con personal disponible en la gerencia y que entrega una asesoría basada en los datos recopilados por el REP Center. Además, el servicio REP Center permite la creación de una base de datos, lo cual da pie para realizar a futuro un mantenimiento del tipo predictivo, esto también se ve como una ventaja comparativa.



Finalmente, se escoge la propuesta de SKF.

La figura 11.6.1 muestra las ventajas comparativas de la solución escogida.

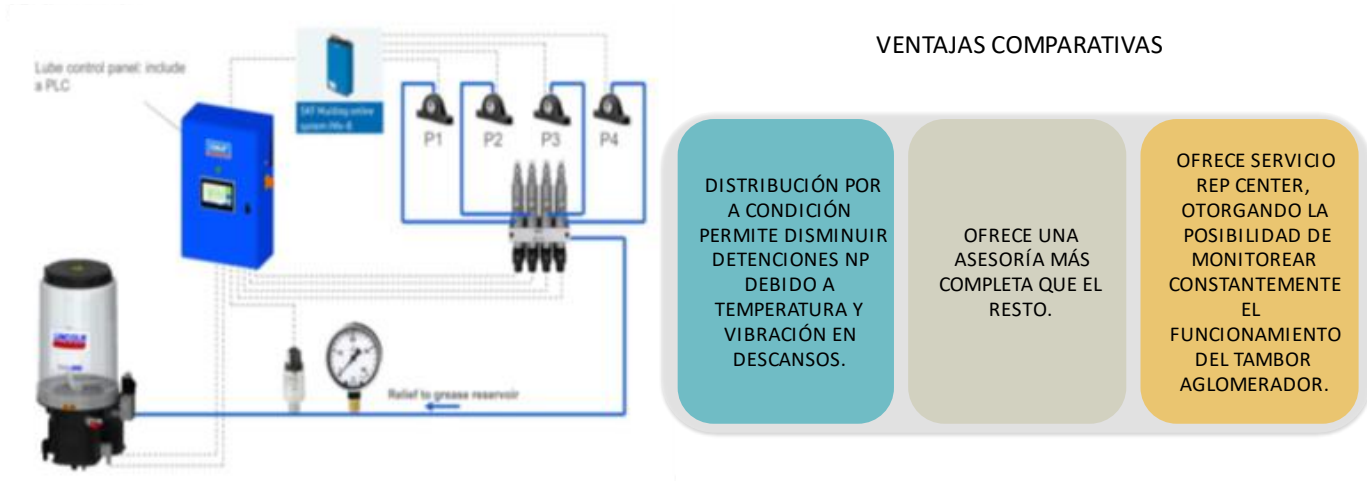


Figura 11.6.1: Ventajas comparativas propuesta SKF. Fuente: (Elaboración propia).

11.7. Evaluación económica

Para llevar a cabo la evaluación económica se considerarán los costos asociados a la implementación de la solución escogida y la monetización de las pérdidas asociadas a los riesgos operacionales y del entorno, es decir, los ingresos.

En primera instancia, se definirán los conceptos de costos e ingresos.

- **Costos:** Los costos de la propuesta en cuestión consideran el valor del sistema, los gastos asociados a la instalación, los cuales incluyen piping, materiales misceláneos (infraestructura, pernos, soldadura, herramientas, entre otros) y cableado del sistema. Los costos no incluirán la mano de obra, ya que el contrato de CODELCO con la empresa colaboradora encargada de la instalación es de un monto fijo mensual.
- **Ingresos:** Dentro de los ingresos se considera la ganancia en producción de cobre debido a la implementación del sistema, además de la ganancia en vida útil del sistema piñón-corona, debido a esta misma implementación.

A continuación, se presenta el cálculo de costos e ingresos respectivamente.

Costos

COSTO	CONSIDERACIÓN	CÁLCULO
Sistema.	Dentro de este costo se considera la cotización entregada por el proveedor sin incluir el IVA.	Costo = 214,1 [KUSD] según proveedor.
Infraestructura	El sistema se instalará por partes, aprovechando las detenciones por mantenimiento. Así, se intervendrán los tambores de a uno en cada detención, dividiendo el costo en infraestructura en 3 meses distintos. Se proyecta que los costos en infraestructura corresponden al 1% del sistema para cada tambor.	Costo = (211,41[KUSD]/100). Costo = 2,1141 [KUSD/mes] Durante 3 meses.

Tabla 11.7.1: Definición de costos. Fuente: (Elaboración propia).

Ingresos

INGRESOS	CONSIDERACIÓN	CÁLCULO
Ganancias en producción	La ganancia en ingresos tomará en cuenta los factores de recuperación, ley y precio del cobre, además de la producción de la planta. Al igual que la implementación se realizará por partes, los ingresos irán aumentando según la cantidad de tambores a los que se les haya aplicado la mejora.	$Ingresos = T * \tau * \lambda * \gamma * \alpha$. [KUSD]. $Ingresos = 29$ [KUSD/mes]. *Considerando que están los 3 tambores con la solución propuesta.
Ganancia en vida útil piñón-corona.	Se proyecta que la vida útil del piñón-corona aumentará de 1,5[año] a 2[año]. El ingreso se realizará restando los costos del cambio de un piñón-corona dividido en 18 y 24 meses respectivamente. Se considera que el costo de un piñón-corona ronda los 15 [KUSD]. La detención para cambiar el sistema piñón-corona dura 24 [h] de producción. Se considera también que son 3 piñón-corona, y que el ingreso asociado a estos se verá reflejado desde que se implementa la mejora.	$Ingresos = ((Costos(materiales) + T * \tau * \lambda * \gamma * \alpha) / 24) - ((Costos(materiales) + T * \tau * \lambda * \gamma * \alpha) / 18)$ [KUSD] $Ingresos = 14,25$ [KUSD/mes]. *Considerando que están los 3 tambores con la solución propuesta.

Tabla 11.7.2: Definición de ingresos. Fuente: (Elaboración propia).

Donde:

- T : tiempo de detención [h].
- τ : producción planta = 2333 [ton/hora].
- λ : recuperación del mineral = 65 [%].
- γ : ley del mineral = 0,35 [%].
- α : precio de venta del cobre = $8,323 \left[\frac{KUSD}{ton} \right]$.

A continuación, se presenta la tabla con el flujo de caja asociado a la implementación de la mejora.

Mes	Ingresos	Costos fijos	Costos variables	EBITDA	Flujo de caja
Abril	0	211,41	0	-211,41	-211,41
Mayo	0	0	2,1141	-2,1141	-213,5241
Junio	14,41667	0	2,1141	12,30256667	-201,22153
Julio	21,625	0	2,1141	19,5109	-181,71063
Agosto	43,25	0	0	43,25	-138,46063
Septiembre	43,25	0	0	43,25	-95,210633
Octubre	43,25	0	0	43,25	-51,960633
Noviembre	43,25	0	0	43,25	-8,7106333
Diciembre	43,25	0	0	43,25	34,5393667
Enero	43,25	0	0	43,25	77,7893667
Febrero	43,25	0	0	43,25	121,039367
Marzo	43,25	0	0	43,25	164,289367
Abril	43,25	0	0	43,25	207,539367
Mayo	43,25	0	0	43,25	250,789367
Junio	43,25	0	0	43,25	294,039367
Julio	43,25	0	0	43,25	337,289367

Figura 11.7.1: Flujo de caja. Fuente: (Elaboración propia).

De la figura 11.7.1 se puede apreciar que la inversión se recupera completamente antes de los 8 meses desde la implementación.

Se concluye que la solución es viable económicamente hablando.

12.Posibles mejoras

Al realizar la presente investigación, se encontraron distintas oportunidades de mejora, más allá de las solucionadas por el sistema propuesto.

El presente trabajo se enfocó en mitigar, principalmente, los riesgos asociados a la seguridad del trabajador, es por esto por lo que la tecnología buscada en el mercado fue orientada principalmente a un sistema de lubricación centralizado automático, sin embargo, existen otras maneras de reducir los riesgos operacionales y del entorno descritos identificados durante la realización de esta investigación.

La actual investigación en el ámbito de la tribología ha logrado avances significativos respecto al desarrollo de lubricantes. Hoy en día existen distintos tipos de grasas, las cuales aseguran un menor desgaste de los componentes, menores alzas de temperatura y vibración,

esto debido a los diferentes aditivos utilizados en la composición de estos lubricantes. Un ejemplo de estos desarrollos en aceites puede observarse en el anexo 12.

Por otro lado, se detectó una oportunidad de mejora en la posibilidad de agregar información de utilidad a las órdenes de trabajo en la plataforma SAP. CODELCO División Chuquicamata utiliza la plataforma SAP para administrar la compra de materiales, la planificación de tareas de mantenimiento y para crear órdenes de trabajo (OT) asociadas a actividades de mantenimiento no planificadas. Es en este último punto donde se observa una posibilidad de mejora. Durante el desarrollo de esta investigación, se pudo evidenciar que las órdenes de trabajo ingresadas en la plataforma no suelen estar completas. Existe una amplia cantidad de OT que no cuentan con información sobre la duración de la tarea ejecutada, no cuentan con materiales asignados ni cuentan con los costos asociados a la realización de la tarea. Es debido a esto que se utilizó la información del “Informe Chanca” para la realización de este estudio.

La estandarización de uso de SAP permitirá obtener la información referente a distintas actividades de la organización de manera simple y agilizará su análisis.

13. Comentarios y conclusiones

El presente trabajo de título demuestra la utilidad de la norma ISO 31.000 en la gestión o administración del riesgo. Esto se ve reflejado en cómo esta norma permitió la identificación, la evaluación y jerarquización de los riesgos. Tras la definición de las posibles medidas de mitigación, las propuestas encontradas en el mercado y un breve desarrollo de una propuesta económica, la utilización de esta norma permitió la obtención de mayor cantidad de información (y de mayor calidad), lo cual ayuda de gran manera en la toma de decisiones. Se concluye que la norma ISO 31.000 permite a las organizaciones a alcanzar sus objetivos.

Se logró definir el contexto global mediante un análisis PESTEL y el contexto operacional mediante un análisis de las 6M, demostrando la utilidad de ambas herramientas a la hora de definir estos contextos.

Se analizaron los datos entregados por la corporación, se realizaron visitas a terreno y se mantuvo conversaciones con distintos trabajadores con la finalidad de identificar los distintos riesgos involucrados en el proceso de lubricación del sistema de rodado de tambores aglomeradores.

Para poder analizar estos riesgos, se definieron criterios para la probabilidad de ocurrencia, para sus posibles consecuencias y para la detectabilidad de cada uno de los riesgos identificados.

Se creó una matriz de riesgos con la finalidad de evaluar los riesgos previamente analizados. Se destaca la utilidad de la matriz de riesgos como herramienta de evaluación.

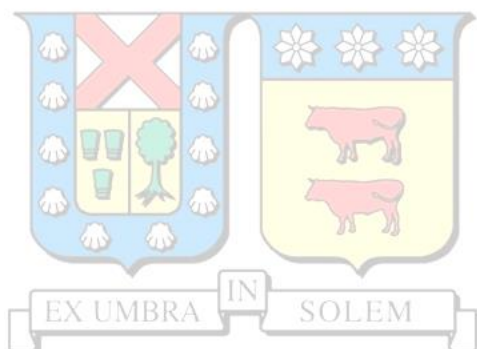
Tras la evaluación, se jerarquizan los riesgos. Para esto, se clasifican en 3 grupos, críticos, graves y leves. Se decide tratar todos los riesgos identificados con igual jerarquía.

Se establecen medidas de mitigación mediante la definición de requerimientos imprescindibles para la mitigación de los riesgos. Se buscan propuestas en el mercado que cumplan con los requerimientos especificados. Se escoge la propuesta que cumple con todos los requerimientos.

Se entrega una propuesta económica donde se considera el valor del sistema escogido, sin considerar IVA, además, se proyecta un gasto del 10% durante tres meses para su instalación, teniendo un costo inicial de 211,41 KUSD y un costo mensual de 2,1141 KUSD durante los primeros 3 meses. En base a la monetización de los riesgos identificados, se tiene que se ahorran 14,4167 KUSD mensuales por tambor aglomerador con el sistema instalado. Se obtiene un EBITDA positivo a partir del noveno mes, concluyendo que la propuesta es económicamente viable.

Se destaca la existencia de riesgos asociados a otros componentes del tambor aglomerador, así como riesgos operacionales asociados al proceso de aglomeración y curado. El presente estudio busca solamente proponer una forma de mitigación para riesgos asociados a la lubricación en el sistema de rodado del tambor aglomerador, por lo tanto, no logra controlar los demás riesgos existentes. Esto puede significar que el aumento de confiabilidad del equipo no sea efectivo.

Finalmente, se concluye que el presente trabajo propone una tecnología que aporta mejoras en el proceso de lubricación de tambores aglomeradores para cobre oxidado, dando como resultados la actualización del método, la reducción de las horas hombre utilizadas en este proceso, el aumento de la eficiencia y la disminución de las pérdidas. Se logra mitigar los riesgos asociados a la operación y el entorno y se logra evitar completamente la exposición del trabajador, eliminando los riesgos asociados a este mismo factor. Se logra también proponer una tecnología que da el paso inicial para la utilización de un mantenimiento del tipo predictivo en los tambores aglomeradores de la Gerencia de Extracción y Lixiviación en CODELCO División Chuquicamata, cumpliendo así, todos los objetivos específicos y el objetivo general de este trabajo de título.



14. Bibliografía

Aracena, A. (s.f.). *Hidrometalurgia, MET-450, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Chile.*

Atten2. (2024). “Consecuencias del exceso de lubricación en el entorno industrial”. Recuperado de [Consecuencias del exceso de lubricación en el entorno industrial · Atten\[2\] \(atten2.com\)](https://www.atten2.com/)

CODELCO. (2024). “Página principal CODELCO” Recuperado de <https://www.codelco.com/>

CODELCO. (2024). “CODELCO, la empresa de todos los chilenos y chilenas” Recuperado de <https://www.codelco.com/nosotros/codelco-la-empresa-de-todos-los-chilenos-y-chilenas>

CODELCO. (2024). “Desarrollo Comunitario 2020”. Recuperado de [Desarrollo Comunitario 2020 | CODELCO - Corporación Nacional del Cobre, Chile](https://www.codelco.com/comunitario/Desarrollo-Comunitario-2020)

CODELCO. (2024). “Operaciones”. Recuperado de <https://www.codelco.com/operaciones>

Díaz del Castillo, Felipe. (2007). “Lecturas de Ingeniería 2: Tribología: fricción, desgaste y lubricación”, Facultad de Estudios Superiores Cautitlán, México.

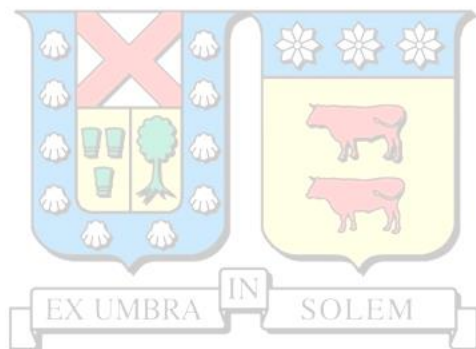
ISO. (2008). ISO 31.000 Administración/gestión de riesgos-Lineamientos guía.

Loehle, Sophie (2014). *Understanding of adsorption mechanism and tribological behaviors of C18 fatty acids on iron-based surfaces: a molecular simulation approach*. Other. Ecole Centrale de Lyon, 2014.English. <NNT : 2014ECDL0005>. <tel-00999372>

Minería Chilena (2023). “Estas son algunas leyes que regulan la actividad minera en Chile”. Recuperado de: <https://www.mch.cl/2023/02/21/estas-son-algunas-leyes-que-regulan-la-actividad-minera-de-la-mineria-en-chile/>

Popov, Valentin (2020). *Principios y aplicaciones de la mecánica de contacto en tribología, fricción y adherencia*. Edición de José Miguel Martín Martínez, Universidad de Alicante, España.

Yoo, Tae. Et al (2018). "Preparación digital de los países: análisis para determinar la preparación digital y las intervenciones claves en los países.", Cisco Corporate Affairs, USA.



15. Anexos

15.1. ETENCIONES DE TAMBORES AGLOMERADORES 2021 – AGOSTO 2023

Detenciones Tambores Aglomeradores Año 2021

MdF 200AD01	Hrs. Det.	N° Det.	MdF 200AD02	Hrs. Det.	N° Det.	MdF 200AD03	Hrs. Det.	N° Det.
Válvula ácido	1,82	1	Alta T° P/B rodillo axial	2,56	7	Sin control flujo	0,60	1
Rotura buzón	1,81	4	Desplazamiento Tambor	2,51	8	Fuga de agua	0,54	1
Rep. Llanta	1,29	1	Rotura culata	2,20	8	Rotura línea ácido	0,51	2
Reforzamiento tacos	0,75	1	Vibración alta	0,75	3	Falla Val. Automática	0,13	1
Reposición cuñas	0,68	2	Valvula pegada	0,45	1	Señal falsa	0,07	4
Alta vibración	0,39	3	Pernos cortados	0,25	2	Alta vibración P/B rodillo radial	0,05	4
Fuga de aire	0,17	1	Ajuste sensor OLS	0,23	1	Falla control de flujo	0,02	1
Vibración alta	0,16	3	Alta vibración P/B rodillo axial	0,21	5	Vibración alta reductor	0,01	1
Señal falsa	0,15	1	Alta vibración P/B rodillo radial	0,19	6	Señal falsa resbalamiento	0,01	2
Cambio sensor	0,12	2	Fisura llanta	0,15	1			
Ajuste sensor velocidad	0,09	1	Sensor suelto	0,11	1			
Alarma VDF	0,03	1	Sello dañado	0,11	1			
Revisión	0,02	1	Falla VDF	0,09	1			
Bajo nivel aceite	0,01	1	Trabajos varios	0,09	1			
Falla flujometro	0,01	1	Reposición de sensores	0,09	1			
			Señal falsa	0,07	5			
			Rotura flauta	0,07	1			
			Ajuste sensor velocidad	0,05	1			
			Soporte sensor dañado	0,01	2			

Fuente de información: Informe Chanca.



Detenciones Tambores Aglomeradores Año 2022

MdF 200AD01	Hrs. Det.	N° Det.	MdF 200AD02	Hrs. Det.	N° Det.	MdF 200AD03	Hrs. Det.	N° Det.
Alta vibración P/B rodillo axial	2,66	35	Alta T° P/B Rodillos	1,83	2	Fuga línea ácido	4,89	2
Fluctuación en adición ácido	1,40	7	Fractura acoplamiento baja	1,75	5	Sensor OLS dañado	0,37	1
Sello válvula dañado	1,11	1	Rotura culata	1,28	2	Falla VDF	0,22	5
Acoplamiento baja dañado	0,77	2	Daño rodillo RR01	1,19	2	Señal falsa T° P/B rodillo	0,27	2
Sello culata dañado	0,65	2	Llanta norte fisurada	0,61	9	Línea agua dañada	0,15	1
Fuga válvula ácido	0,52	1	Cambio rodillo radial RR1	0,47	1	Alta T° P/B rodillo axial	0,15	3
Señal sensor velocidad	0,35	6	Daño estructural	0,31	1	Falla válvula automática	0,14	1
Rotura línea aire	0,32	1	Señal falsa T°	0,09	1	Detención seguridad	0,13	2
Señal falsa	0,21	3	Rotura buzón	0,08	1	Señal falsa	0,11	6
Válvula ácido descalibrada	0,21	3	Fisura llanta norte	0,07	1	Alarma VDF	0,10	5
Ajuste sensor vibración	0,15	2	Falla válv. Interlock 50%	0,06	2	Falla válv. Interlock 50%	0,09	7
Solenoides valv. Agua	0,09	1	Sobre carga	0,04	4	Sensor velocidad dañado	0,07	1
Reposición tacos y cuñas	0,09	1	Inspección	0,03	1	Falla Apertura válvula	0,04	1
Bajo nivel aceite	0,08	1	Falla Apertura válvula	0,02	1	Reset equipo	0,04	1
Válvula ácido	0,08	2	Señal falsa	0,01	1	Alta vibración P/B axial	0,03	1
Instalación sensores	0,05	1	Alta vibración P/B rodillo	0,01	1	Alta vibración caja reductora	0,02	1
Alta vibración piñón- corona	0,02	1				Comunicación	0,01	1
Actúa protección	0,02	1				Sin alarma	0,01	1
Sensor velocidad caído	0,02	1						
Falla válvula automática	0,02	1						

Fuente de información: Informe Chanca.

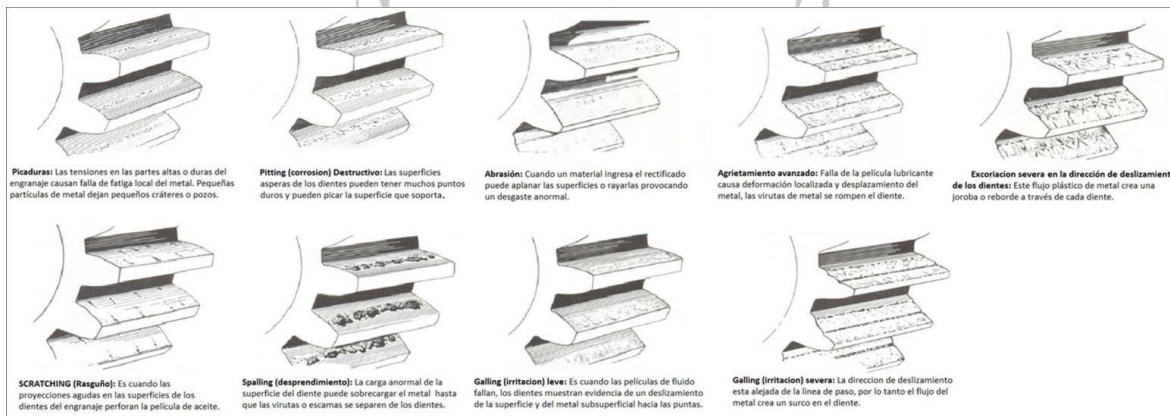
Detenciones Tambores Aglomeradores Año 2023 (al 06 agosto)

MdF 200AD01	Hrs. Det.	N° Det.	MdF 200AD02	Hrs. Det.	N° Det.	MdF 200AD03	Hrs. Det.	N° Det.
Fractura acoplamiento baja eje piñón	6,28	2	Falla VDF	0,35	3	Comunicación	2,13	4
Alta T° P/B rodillo radial R1	5,37	2	Falla válvula ácido	0,23	1	Alta vibración P/B rodillo axial	0,45	9
Alta vibración P/B rodillo axial	5,21	15				Tarjeta de control	0,19	1
Ajuste rodillo	0,87	1				Señal falsa vibración P/B rodillo	0,15	2
Placa base dañada	0,37	1				Seguridad	0,06	1
Alta T° P/B rodillo axial	0,32	3				Alta vibración caja reductora	0,05	2
Señal falsa T° rodillo	0,31	3						
Sensor T° inestable	0,11	1						
Señal falsa vibración	0,06	2						
Alineamiento topográfico	0,06	1						
Falla externa (CSF)	0,06	1						
Falla válvula agua	0,05	1						
Falla variador	0,05	1						
PEM	0,05	1						
Alta vibración P/B rodillo radial	0,02	1						

Fuente de información: Informe Chanca.



15.2. MODOS DE FALLA PIÑÓN-CORONA



6.1 INTRODUCTION

Gear failure can occur in various modes. In this chapter details of failure are given. If care is taken during the design stage itself to prevent each of these failure a sound gear design can be evolved. The gear failure is explained by means of flow diagram in Fig.. 1.

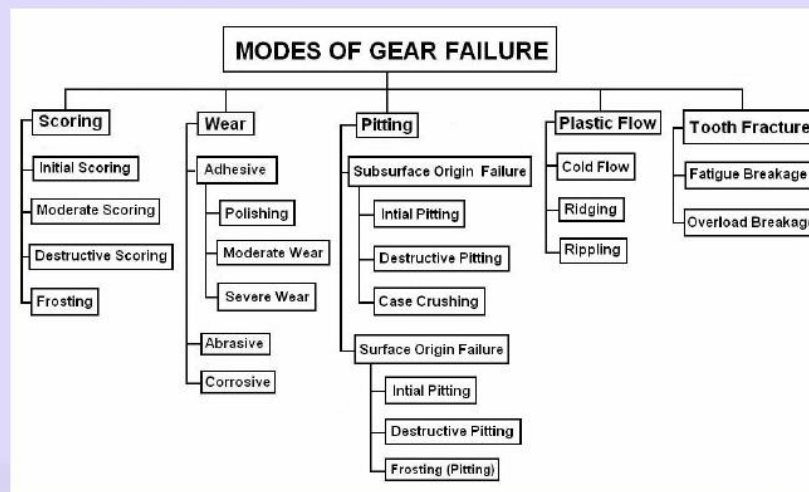


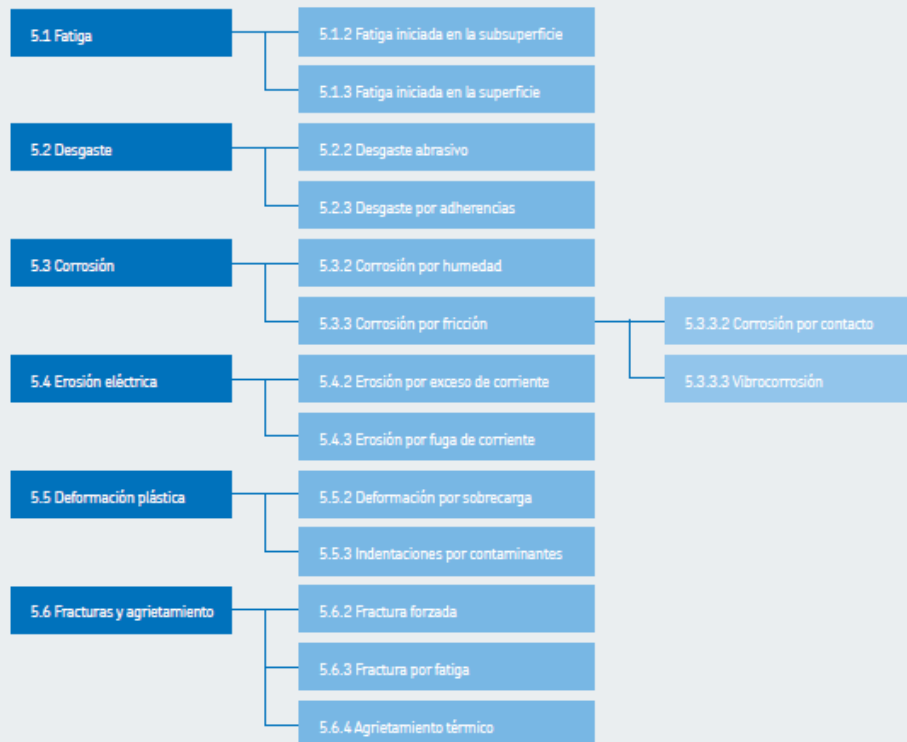
Fig. 6.1 Different modes of failure

15.3. MODOS DE FALLA RODAMIENTOS

Clasificación de modos de falla; grupo de trabajo ISO

Diagrama 1

Clasificación SKF adaptada de ISO 15243:2004



La numeración sigue los números de subcláusulas de la norma ISO 15243:2004

4

15.4. PRECIO COBRE

Version 20230531

RENDIMIENTO VENTAS AL EXTERIOR

1.1.A. CÁTODOS

VALORES DE REFERENCIA (Para sensibilizaciones ver nota 1)		2023	2024	2025	2026	2027	Largo Plazo
PREMIOS	Precio del Cobre						
	US\$/lb	394	378	382	394	416	363
	US\$/Tm	8.693	8.323	8.413	8.695	9.161	8.444
	Grado A ER	140	80	70	65	65	80
	Grado A SXEW	134	74	64	59	59	74
	Estandar 1	101	40	30	54	0	40
	Estandar 2	57	-5	-16	8	0	-5

DESCUENTOS (US\$/Tm)		2023	2024	2025	2026	2027	Largo Plazo
Flete CIF Shanghai (base FILO) y Seguro		(75,9)	(61,7)	(61,2)	(60,7)	(60,3)	(60,0)
Comisiones por venta		(7,0)	(7,0)	(7,0)	(7,0)	(7,0)	(7,0)
Costo financiero (30 días)		(0,7)	(0,7)	(0,7)	(0,7)	(0,8)	(0,7)
SUB-TOTAL DESCUENTOS		(83,7)	(69,4)	(68,9)	(68,5)	(68,1)	(67,7)

SUB-TOTAL PREMIOS Y DESCUENTOS BASE FOB (US\$/Tm)		2023	2024	2025	2026	2027	Largo Plazo
Grado A ER		56,3	10,6	1,1	(3,5)	(3,1)	12,3
Grado A SXEW		50,3	4,6	(4,9)	(9,5)	(9,1)	6,3
Estandar 1		17,3	(29,6)	(39,3)	(14,4)	(68,1)	(28,0)
Estandar 2		(26,6)	(74,7)	(84,6)	(60,3)	(68,1)	(73,1)

PARÁMETROS FIJOS							
• Costo financiero						Días de pago tras fecha B/L	
• Prima de Seguro a aplicar al 110% del valor comercial							
• Promedio de las comisiones de venta						US\$/Tmtp	
Transporte desde Patio de Planta a FOB Pto. Embarque US\$/Tm		2023	2024	2025	2026	2027	Largo Plazo
DIV. CHUQUICAMATA: Chuquicamata - FOB Puerto Angamos		20,0	19,8	20,5	21,4	22,5	22,8
DIV. RADOIRO TOMIC: Radomiro Tomic - FOB Puerto Angamos		29,8	29,6	30,7	32,0	33,5	34,1
DIV. GABRIELA MISTRAL: Gabriela Mistral - FOB Puerto Angamos		26,4	26,2	27,1	28,3	29,7	30,2
DIV. SALVADOR: Salvador - FOB Barquito		28,6	28,4	29,4	30,7	32,2	32,7
DIV. SALVADOR: Potrerillos-Valparaíso (vía Cabotaje)		96,3	96,5	99,1	103,4	108,4	110,2
DIV. TENIENTE VÍA SAN ANTONIO: Caletones - FOB San Antonio		38,8	38,5	39,9	41,6	43,6	44,4
DIV. TENIENTE VÍA VALPARAÍSO: Caletones - FOB Valparaíso		40,4	40,0	41,5	43,3	45,4	46,2
DIV. VENTANAS VÍA VALPARAÍSO: Ventanas - FOB Valparaíso		17,1	17,0	17,6	18,4	19,3	19,6
DIV. VENTANAS VÍA VALPARAÍSO: Ventanas - FOB San Antonio		13,8	13,6	14,2	14,8	15,5	15,7

Nota 1: Para efectos de sensibilización se debe considerar la siguiente banda de precios:

Banda de Precios del cobre		2023	2024	2025	2026	2027	Largo Plazo
Nivel Superior		US\$/lb	402	407	428	463	484
Nivel Inferior		US\$/lb	387	349	337	330	351

15.5. CALCULO DE PÉRDIDAS

SUBSISTEMA	Hrs. Det.	TON/HORA	MdF SUBSISTEMA DE RODADO 200AD	Hrs. Det.	H DETENIDAS MdF RELACIONADOS A LUB
SUBSISTEMA ESTRUCTURAL	8,36	2333	Alta vibración P/B rodillo radial	1,542	20,34866667
SUBSISTEMA DE RODADO	37,055333	RECUPERACIÓN	Alta T° P/B rodillo axial	4,8533333	kUS\$ ANUALES DEBIDO A MdF RELACIONADOS A LUB
SUBSISTEMA ELECTRÓNICO	8,2133333	62%	Alta vibración P/B rodillo axial	8,56	\$ 343
SUBSISTEMA ELÉCTRICO	0,08	LEY	Desplazamiento Tambor	5,3133333	kUS\$ ANUALES (NP MdF LUB + AUMENTO VIDA ÚTIL P-C)
GENERAL	0,4466667	0,35%	Fisura llanta	0,8266667	\$ 514
SUBSISTEMA MOTRIZ	0,1666667	PRECIO COBRE	Fractura acoplamiento baja	8,0333333	PAYBACK CASO DE NEGOCIO [AÑO]
SUBSISTEMA ADICIÓN DE ÁCIDO	10,213333	8,323	Alta T° P/B Rodillo Radial	5,3733333	0,508
SUBSISTEMA ADICIÓN DE AGUA	1,3933333	kUS\$	Ajuste/Cambio Rodillo	2,5333333	PAYBACK CASO DE NEGOCIO [DÍA]
TOTAL HORAS DET.	65,928667	\$ 857	Alta vibración piñón - corona	0,02	185,3369267
% DETENCIONES SUBSISTEMA DE RODADO	56%				
PIÑÓN-CORONA CON V.U. 1,5 [AÑO]	\$ 57,01				
PIÑÓN-CORONA CON V.U. 2 [AÑO]	\$ 42,76				
GANANCIAS AUMENTO DE V.U. P-C [KUSD/AÑO]	\$ 171,04				

15.6. COSTO PIÑÓN-CORONA

Material: 1363290 CONJUNTO EJE/PIÑÓN/DESCANSO PLN1000PM04

Centro: CH01 Chuquicamata

Datos generales

Unidad medida base: CJ Conjunto Tipo de valoración: ☐

Moneda: USD Período actual: 03 2024

Sector: 01 Determ.precio: ☐ LM act.

Valoración actual

Categoría valoración: 0420

CatgValStkPedCliente: ☐ CatValStockPProyecto: ☐

Control de precios: V Cantidad base: 1

Precio variable: 29.149,00 Precio estándar: 0,00

Stock total: 0 Valor total: 0,00

☐ UM valorada

Precio futuro: 0,00 Válido de: ☐

Precio anterior: 28.866,00 Últ.modif.precio: 23.03.2024

Periodo/año ant. Cálculo coste plan

Determinación valor mín.

Precio fiscal 1	0,00	Precio contable	0,00
Precio fiscal 2	0,00	Precio contable 2	0,00
Precio val.fiscal 3	0,00	Precio contable 3	0,00
Ind.de devaluación	0	Cantidad base	0

15.8. ANEXO 8: DETALLES PROPUESTA SKF



Generalidades: "Condition Based Lubrication"

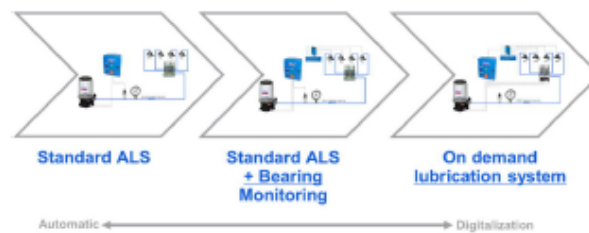
La combinación del sistema predictivo de mantenimiento en conjunto con la automatización de la lubricación basado en la condición de lubricación actual de cada rodamiento.

Tecnología diseñada específicamente para aplicaciones críticas asegurando la extensión al máximo de la vida útil del equipo evitando paradas no planificadas a causa de falla de lubricación en rodamientos.



La instalación del sistema aumentará la confiabilidad, disminuyendo los costos de mantenimiento, mediante:

- Detección de falla de lubricación en tiempo real seguida del accionamiento automático del sistema para lubricar el rodamiento de la máquina donde se detectó la falla independientemente del resto de los rodamientos.
- Lubricación automática en cantidades e intervalos preestablecidos.
- Información en tiempo real sobre el estado de equipo disponible en la industria o de forma remota.
- Disparo de medición en condiciones específicas (de corriente, temperatura, rpm, etc) o mediante parámetros del sistema de control.
- Alarmas programables para Producción.



Beneficios:

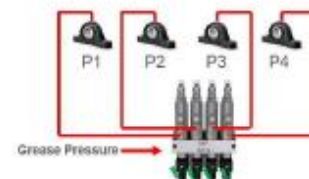
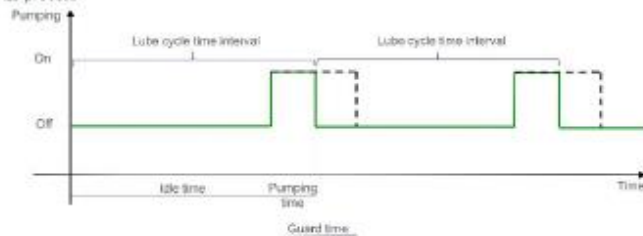
- Aumento de Confiabilidad
- Reducción de Costos de mantenimiento
- Aumento de la vida útil del equipo
- Incremento de disponibilidad de Máquina
- Aumento de la seguridad del personal
- Disminución de los tiempos de parada de máquinas por falla de lubricación
- Redistribución de mano de obra para otras tareas de mantenimiento

Funcionamiento del Sistema:

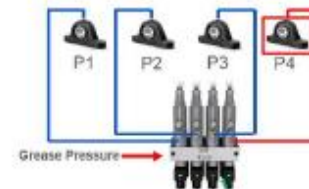
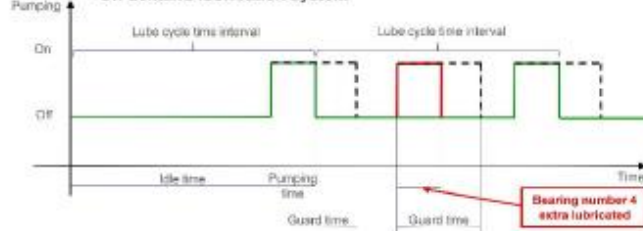


Lubrication control panel logic function

Standard ALS process



On demand lubrication system



Inyectores Selectivos para Grasa

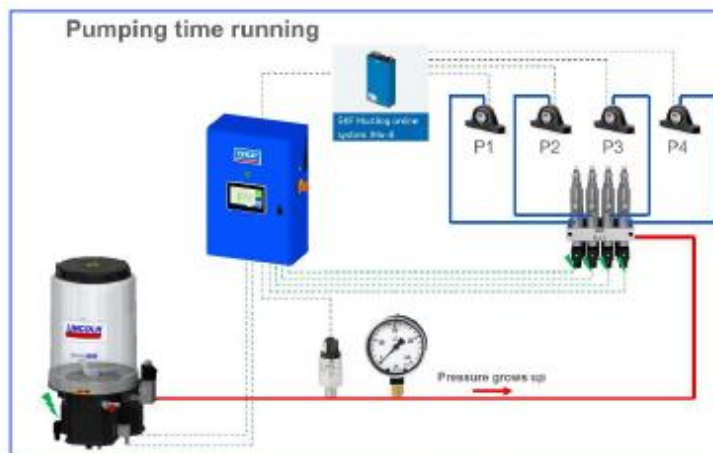
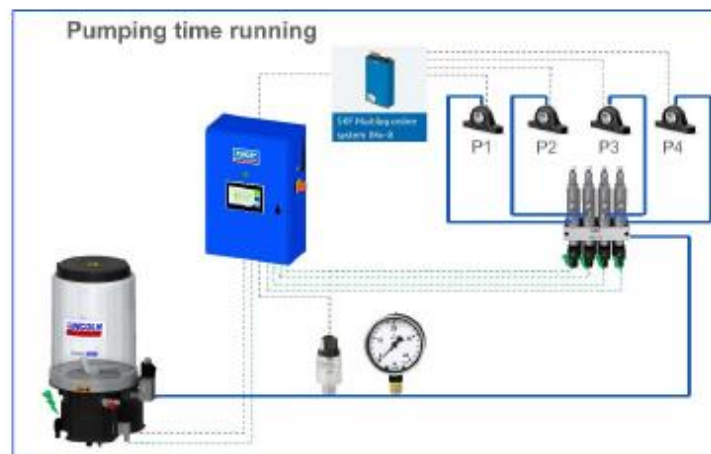
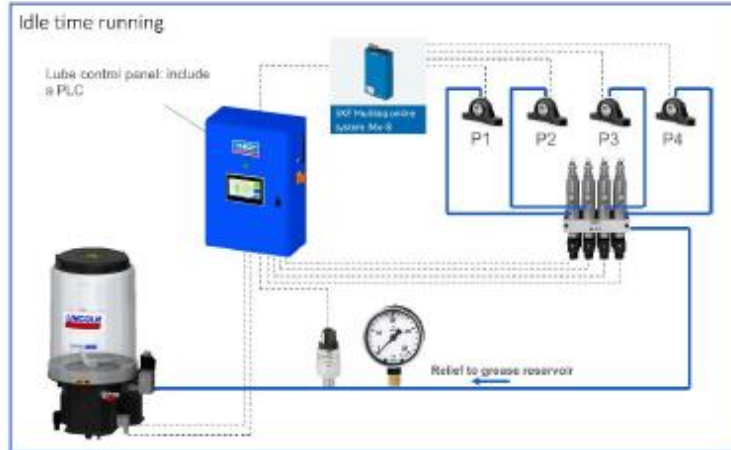
Modelo RL1-S



Los inyectores para grasa SKF modelo RL1-S fueron diseñados para operar en sistemas de lubricación centralizada del tipo simple línea. A diferencia de nuestro inyector de grasa modelo RL1, este nuevo inyector cuenta con electroválvulas de paso que habilitan o no el accionamiento de cada inyector de forma independiente. Esto nos permite independizar la lubricación de cada punto.

Este inyector se desarrolló bajo el concepto de "Lubricación basada en condición" y presenta las siguientes características:

- Apto para trabajar con grasas hasta grado NLGI 2.
- Regulación individual de la cantidad de grasa de salida mediante un registro.
- Permite visualizar el correcto funcionamiento del inyector a través de un vástago indicador.
- Pueden ser fácilmente desmontados para su inspección o cambio.
- Permite independizar el accionamiento de cada inyector mediante señales eléctricas.



RE: SKF/ DLib Información Complementaria.

 Gonzalo Robledo <gonzalo.robledo@skf.com>
Para  Barros Rojas Salvador (Codelco-Chuquibambilla)
CC  Xoana Noemi Veiga;  Cristian Caceres;  Juan Schwaner

[Responder](#) [Responder a todos](#) [Reenviar](#) [...](#)
martes 12-12-2023 8:29

Precaución: Correo de un usuario externo! Si usted sospecha de la procedencia y/o contenido de este correo; No haga click en ningún vínculo. No abra ni descargue adjuntos. Envíelo adjunto en un nuevo correo a la mesa de ayuda.

Estimado Salvador

Gracias por el tiempo en la reunión de hoy.

En conclusión, para los 8 soportes 3138 + 2 soportes 3148, junto a los 3 rodillos axiales en la descarga y 2 rodillos axiales en la carga, suman 15 puntos de lubricación, donde necesitaríamos utilizar **2 códigos SAP: 4213485**, ya que cada uno, puede lubricar hasta 8 puntos de lubricación

Respecto al piñón -corona, que utiliza otra grasa, no opera con sensores de vibración, este sistema tendría que ser independiente, con otro depósito de grasa, y con sensores ópticos. Este proyecto se encuentra en desarrollo y lo valorizaremos.

Agradecemos nos puedan comentar mas o menos en que fecha estarían solicitando los SAP 4213485, para coordinar recursos con nuestros especialistas, y anticiparnos con el stock.

Muchas gracias.

Gonzalo Robledo Torres
KAM Minería
Mob: +56
E-mail: gr
SKF Chilena S.A.L.C.
SKF – The Power of Knowledge Engineering



2. PROPUESTA COMERCIAL

Los valores de los servicios y productos solicitados, con los alcances señalados en la Memoria Técnica:

Sistema de Lubricación Centralizada D-Lub.

Harnero: 08 puntos

1. Sistema Harnero 08 puntos

Precio Tecnología Harnero Total USD 25.685,24 USD

Tecnología utilizada
Lubricacion

Cantidad	Código	Código 2	Descripción
1	980030	LL/980030	P203 pump with vent and relief valve assembly - 8lts reservoir
1	25-TECDLUB8-1-S	LL/TECDLUB8-1S	D-LUB control panel without IMx8
	25-TECDLUB8-1I	LL/TECDLUB8-1I	D-LUB control panel with IMx8 and dual-SIM VPN router
1	317528	LL/317528	DSB1-S20000G-1A-01 pressure switch
	24RL1S1	LL/RL1S1	RL1-S-1 24Vcc with one grease injector
4	24RL1S2	LL/RL1S2	RL1-S-2 24Vcc with two grease injectors
	24RL1S3	LL/RL1S3	RL1-S-3 24Vcc with three grease injectors

CoMo

Cantidad	Código	Código 2	Descripción
1	CMON 4108	CMON 4108	Unidad monitoreo IMX-8
8	CMSS 2200	CMSS 2200	Sensor vibración
8	CMSS 942-LCI-SY-20	CMSS 942-LCI-SY-20	Cable de sensores 20 mts.



SISTEMA DE LUBRICACION BAJO DEMANDA Y MONITOREO PARA TAMBOR AGLOMERADOR

Designación; DLUB TAGR8P/CB40Kg/ IMx8-Temp

Propuesta Económica

Cantidad	Código 2	Descripción	Prec. Vta USD EU	Prec. Vta USD EU
1	LL/ECB-DC-25-140A4	central bombeo ECB-DC-25-1-40-A4, 40 kilos de grasa, 380 Vac/50Hz	8.120,00 USD	8.120,00 USD
1		Placa Spray 4 inyectores + 2 RL1S2	4.753,00 USD	4.753,00 USD
1	LL/TECDLUB8-1S	D-LUB control panel without IMx8	5.618,67 USD	5.618,67 USD
1	CMON 4108	Unidad monitoreo IMX-8	4.870,00 USD	4.870,00 USD
8		Sensor Tempetaura	1.047,00 USD	8.376,00 USD
8		Cable de sensores 20 mts.	225,00 USD	1.800,00 USD
Total Tecnología USD				20.664,67 USD

Nota:

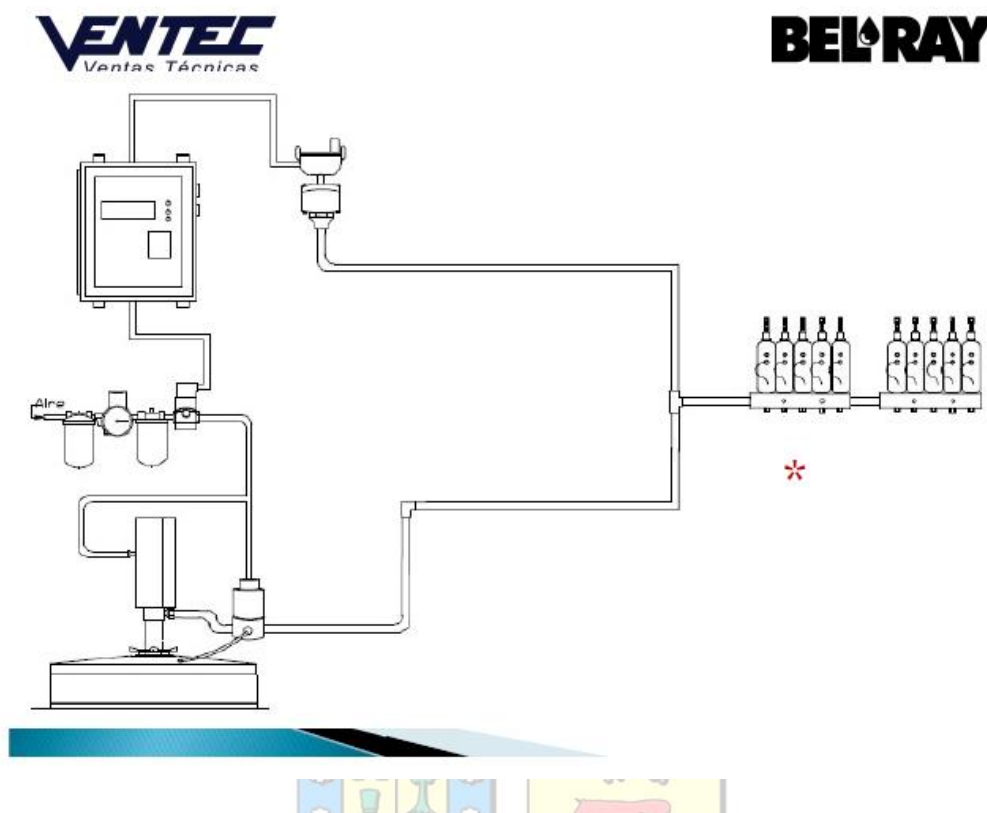
No se considera Instalación, mangueras y fitting que debe ser considerado por el cliente.



15.9. ANEXO 9: DETALLES PROPUESTA BELRAY

IMPLEMENTACION DE 01 TAMBOR PIÑOÑ CORONA VENTEC				
CODIGO	DESCRIPCION DEL MATERIAL	UMB	VALOR unitario	TOTAL aporte
27341	GRASA 208L BELRAY CLEARGEAR MV	TB	2.649,45	2.649,45
1115590	BOMBA 400LB FARVAL 200221	UN	1.222,09	1222,09
1176652	GREASE FILTER FARVAL LS03120	UN	88	88
1197838	VALVULA VENTEO ARO-INGERSOLL RAND 13850	UN	530	530
1288153	TOBERA PULVERIZADORA FARVAL U922C	UN	132	132
1289065	UNIDAD FRL INGERSOLL RAND CQ5396004	UN	59	59
1304469	TAPA TAMBOR GRASA SALIDA ALEMITE 3180404	UN	183	183
1304529	VALVULA SOLENOIDE FARVAL U10626C1	UN	175	175
1304531	PLATO SEGUIDOR TAMBOR ALEMITE 338911	UN	170	170
1304561	INYECTOR FARVAL FL11	UN	164	656
1449772	LANZA 4 BOQUILLAS FARVAL LD93274V	UN	2.142,00	2.142,00
4101037	INTERRUPTOR PRESION FARVAL U620D1	UN	473	473
4106985	MANOMETRO FARVAL U902F	UN	44,65	44,65
1420499	CONTROLADOR BIJUR DELIMON SC400	UN	2.520	2.520
-	CODIFICAR VALVULA SLENOIDE 10107B 110 volt	UN	51	51
				11095,19

LUBRICACION AUTOMATICA DESCANSOS 15 descansos por tambor (grasa termalele)					
CODIGO	DESCRIPCION DEL MATERIAL	UMB	VALOR unitario	Por/tambor	VALORus total
1115590	BOMBA 400LB FARVAL 200221	UN	1.222	1	1.222
1176652	GREASE FILTER FARVAL LS03120	UN	88	1	88
1197838	VALVULA VENTEO ARO-INGERSOLL RAND 13850	UN	530	2	1.060
1289065	UNIDAD FRL INGERSOLL RAND CQ5396004	UN	59	2	118
1304469	TAPA TAMBOR GRASA SALIDA ALEMITE 3180404	UN	183	2	366
1304529	VALVULA SOLENOIDE FARVAL U10626C1	UN	175	2	350
1304531	PLATO SEGUIDOR TAMBOR ALEMITE 338911	UN	170	2	340
4074232	GRASA IND TERMALENE BELRAY EP GREASE 2	TB	2.220	1	2.220
4101037	INTERRUPTOR PRESION FARVAL U620D1	UN	473	2	946
4106985	MANOMETRO FARVAL U902F	UN	45	2	90
1353083	INYECTOR MANIFOLD FL1-3 FARVAL	UN	300	5	1.500
1373660	CONTROLADOR 115VCA 50/60HZ BIJUR SS2200	UN	731	1	731
					9.031



Fwd: Cotización VÁLVULA SOLENOIDA 2/2, tambores aglomerado Codelco C...

MP Maykol Pérez Rojo <maykol.perez@belray.cl>
Para Barros Rojas Salvador (Codelco-Chuquicamata)



30-11-2023

Respondiste a este mensaje el 30-11-2023 8:05.



Precaución: Correo de un usuario externo! Si usted sospecha de la procedencia y/o contenido de este correo; No haga click en ningún vínculo. No abra ni descargue adjuntos. Envíelo adjunto en un nuevo correo a la mesa de ayuda.

Estimado Salvador:

junto con saludar, revisando información presentada a Felix Guerrero, se solicitó codificación del único componente del scl que no estaba codificado.

Sería bueno preguntar a Felix si se llegó a codificar y si no, realizarlo.

Atte.

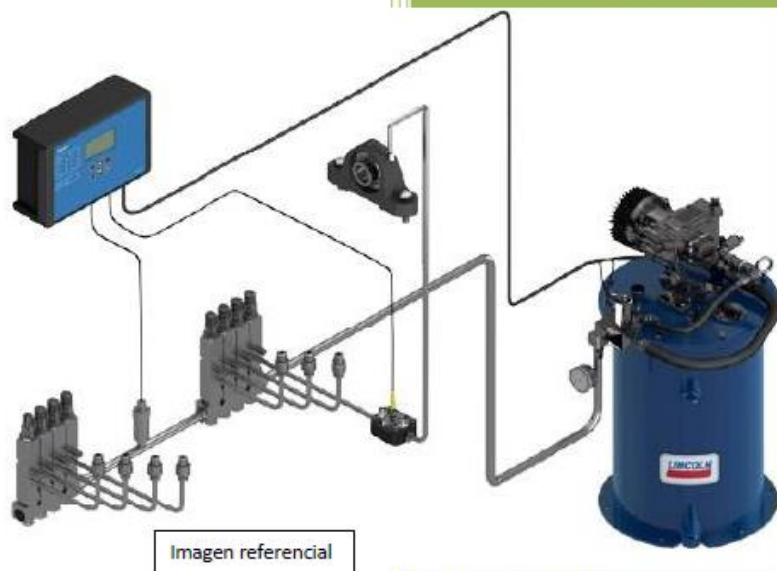
Maykol Pérez R.

15.10. ANEXO 10: DETALLES PROPUESTA H-E PARTS



2023

Minera Codelco Chuquicamata Sistema de Lubricación Centralizado con Pulverización

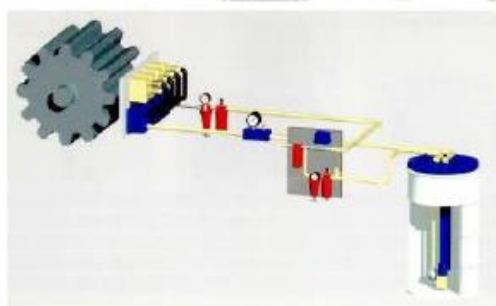


Marcelo Pereira F.
H-E PARTS INTERNATIONAL
12/12/2023

Sistema Centralizado Upgrade

Introducción

Los sistemas de lubricación por pulverización Lincoln se utilizan para aplicar lubricantes adhesivos en transmisiones de engranajes rotativos de alta tensión. Los lubricantes se dispensan con bombas de pistón y luego se aplica en los flancos de presión de los engranajes por medio de aire comprimido a través de boquillas de pulverización con un ángulo para la mejor dispersión.



Lubricantes

Composición:

Lubricantes adhesivos.

- Aceite mineral
- Jabón
- Grafito fino

Aceites adhesivos.

- Aceite mineral
- Hidrocarburo sintético.
- Libre de partículas sólidas

Tipos:

Lubricante de imprimación:

- Contenido de lubricante sólido aprox. 25%

Lubricante de rodaje:

- Contenido de lubricante sólido aprox. 12%

Lubricante de operación:

- Contenido de lubricante sólido aprox. 8%

Importante: Un sistema de rociado solo se puede usar para lubricantes de rodaje y lubricantes de operación.

Fuente: Fuchs Lubritech - Sr. Huschitt
Ejemplo:
Molino de cemento
Accionamiento de piñón único
Módulo 36
Piñón de dientes 31
Dentadura dentadura engranaje 220
Rpm 120 1 / min.
Ancho del piñón 600 mm
Consumo 0.2 g / h x mm
(ancho del diente) = 120 g / h

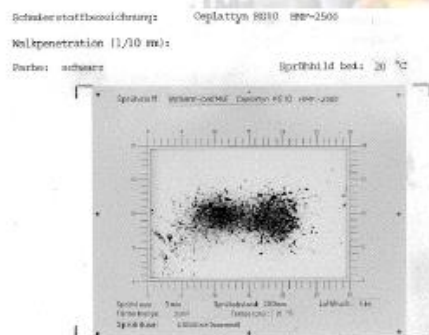
Volumen de lubricante por contacto con el diente
 $V = 120 \text{ g / h} : 120 \text{ 1 / min} \times 31 \times 60 \text{ min}$

$V = 120 \text{ g / h} : 223200$
 $V = 0.000537 \text{ g} = 0.54 \text{ mg}$

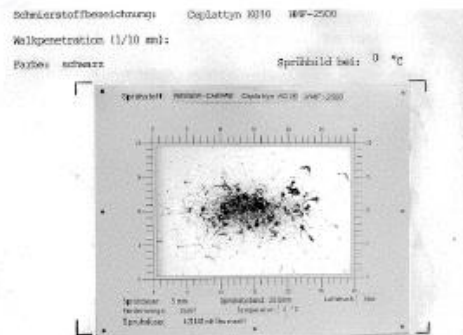
Espesor teórico de lubricación por diente enganche
 $S = V : \text{diente frontal}$
 $S = V : 2 \times \text{módulo} \times \text{ancho del piñón}$
 $S = 0,54 \text{ mm}^3 : 2 \times 35 \text{ mm} \times 600 \text{ mm}$
 $S = 0.013 \mu \text{ m}$

A esto se debe reducir aproximadamente el 20% de las pérdidas por rociado y escisión, de modo que en términos de cifras haya disponible un espesor de la película lubricante de aprox. 0.01 $\mu \text{ m}$ por diente enganche.

Patrón de Pulverización



Sprühlöse: Breitstrahlösse mit Steuerventil nach HSA-70 B
Luftverbrauch: bei 5 atü: 30 l/min., bei 6 atü: 40 l/min.
Sprühbildmessungen bei Düsenabstand 200 mm: 160 x 70
Sprühbildkoeffizient k: a
a = gute Verteilung des Schmierstoffes
b = mittlere Verteilung des Schmierstoffes
c = schlechte Verteilung des Schmierstoffes
d = dünnflüssig - Versprühen nur mit Spezialaggregat u. -sprühlöse möglich
Zur Versprühen mit LINCOLN HELIOS Sprühanlagen geeignet:



Sprühlöse: Breitstrahlösse mit Steuerventil nach HSA-70 B
Luftverbrauch: bei 5 atü: 30 l/min., bei 6 atü: 40 l/min.
Sprühbildmessungen bei Düsenabstand 200 mm: 160 x 70
Sprühbildkoeffizient k: c
a = gute Verteilung des Schmierstoffes
b = mittlere Verteilung des Schmierstoffes
c = schlechte Verteilung des Schmierstoffes
d = dünnflüssig - Versprühen nur mit Spezialaggregat u. -sprühlöse möglich
Zur Versprühen mit LINCOLN HELIOS Sprühanlagen geeignet:

Fecha : 26-ene-24

PRESUPUESTO C.A.M.P-029 2024

CLIENTE	Codelco Chile División Chuquibambilla	TELÉFONO:		FAX:	
DIRECCIÓN		MONEDA :	Pesos Chilenos	ANEXO:	
ATENCIÓN	Salvador Barros R.	S. De Cot. :		S.P. :	
VENDEDOR	Sr. MARCELO PEREIRA F.	Ref. Interna:		C. UNICO:	

ITEM	CANT.	NRO. PARTE	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
001	1		Estimado cliente, en relación a su solicitud, nos es grato cotizar lo siguiente: Sistema de Lubricación SLC Para Tambor Aglomerador Marca Lincoln - Modelo HTAE1C3TA3P0I Incluye: 01 Controlador LMC301 01 FRL 1/2" 03 Válvula solenoide 03 Interruptor de presión 03 Manómetro 03 Conjunto de bomba PM para tambor 18 Manifold de inyectores 09 Pulverizadores 03 días de Asesoría en instalación y puesta en marcha Nota: No considera Fitting y Manguera. Plazo de entrega: A informar, previa emisión de la orden de compra Garantía: 12 meses, previa evaluación. Validez de la Oferta: 07 días.	\$ 86.920.292	\$ 86.920.292

F. DE PAGO :	P. EN BODEGA :	P. Neto:	\$ 87.871.944
CONTADO	BODEGA EN TRANSITO.ANTOFGASTA	IVA 19%:	\$ 16.695.669
CRED. A 30 DIAS		P. Total :	\$ 104.567.613
CON CHQ. A 30 DIAS			
CON CHQ. A 45 DIAS			

SLC para OGL y MPG para los tres Tambores Aglomeradores: Este Sistema está configurado para lubricar el piñón-corona, los descansos y las ruedas de los tambores aglomeradores. Se considera el pre-armado y la configuración del controlador para luego apoyar con una asesoría en su instalación en terreno.

15.11. ANEXO 11: TECNOLOGÍAS CASTROL MFT- TOGA

Tecnologías Castrol

Reducción de la Fricción

por

Alisamiento de Superficies

MFT - TGOA

Tecnología de Aceites Castrol

Para : Codelco Chuquicamata

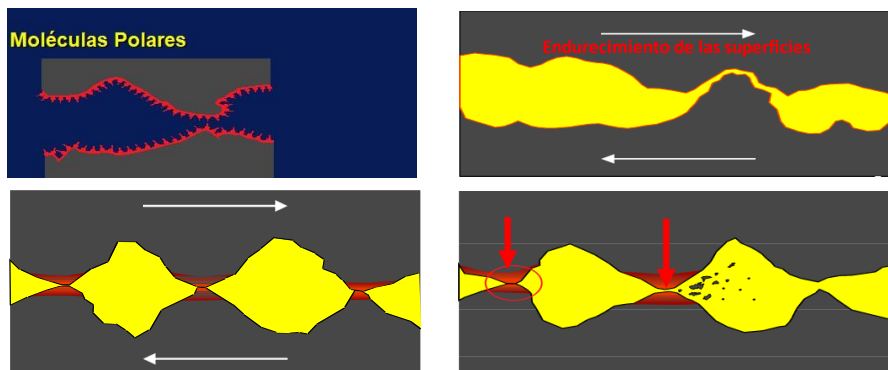


Distribuidor autorizado Castrol

UNITEC

Aceites Convencionales EP – Sintéticos EP

¿Como funcionan?



- Aditivos se adhieren a la superficie en forma de moléculas polares
- Aditivos endurecen la superficie
- Cuando se rompe la película por altas presiones, se produce soldadura en frío entre las partes altas de la superficie.
- Se produce fractura de las partes en contacto



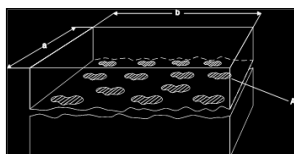
Distribuidor autorizado Castrol

UNITEC

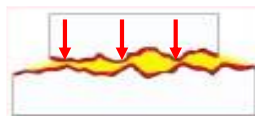
Aceites Castrol Minerales y Sintéticos Optigear con MFT - TGOA ¿Como funcionan?

AVANZADOS SISTEMAS DE ADITIVOS QUE

- Extienden la Vida útil engranajes
- Reducen temperaturas, vibraciones, ruidos
- Suavizan las superficies metálicas
- Aumentan el área de soporte de carga.
- Extienden la vida útil de los equipos
- Proporcionan muy bajo coeficiente de fricción
- Disminuyen los costos energéticos



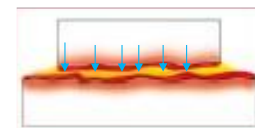
Importante aumento del área real de trabajo = $\sum A$ (no $a \times b$)



Las Superficies Metálicas son de naturaleza rugosas.



TGOA & MFT (Tribol Gear Oils Aditivos) & (Micro Flux Trans) reaccionan con las superficies.



Las superficies son suavizadas de manera permanente.



Distribuidor autorizado Castrol

UNITEC

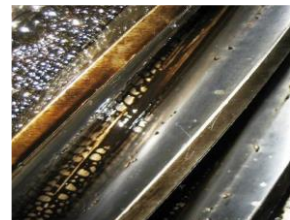
Caso Estudio con Optigear BM 680

Extensión vida útil componentes

Equipo	: Camión Komatsu 930 E
Componente	: Motores de tracción GE DI 85 Aro 63
Lubricante	: Castrol Optigear BM 680
Tecnología	: MFT (Micro Flux Trans)



Antes



Después

Condiciones Existentes

Operacionales

- Largos trayectos hacia el área de chancado y botaderos a plena carga
- Fuertes y prolongadas pendientes (12 a 17%) que exceden las condiciones de diseño de los Motores de Tracción .

Técnicos

- Alto desgaste en los componentes mecánicos
- Gran generación de partículas finas y también de tipo laminar sobre 10 u en corto periodo de tiempo.
- Cambios frecuentes de componentes y MT nuevos por debajo de los parámetros establecidos por el fabricante



Situación con Castrol

- Se encuentra que la progresión de metales contaminantes disminuye en forma importante en el período de lubricación con Optigear BM, especialmente en el motor izquierdo
- Se observa una curva de contaminación con Fe de tendencia suave en las horas de servicio con Optigear BM
- Tapón magnético de drenaje se ve limpio en motor izquierdo y muy poco particulado en el derecho.
- Se verifica visualmente el estado de las superficies de trabajo engranes y se confirma situación de mejoría del Pitting.



Distribuidor autorizado Castrol

UNITEC

15.12. ANEXO 12: REFERENCIAS A ARACENA (S.F.)



4. LIXIVIACIÓN: FUNDAMENTOS Y MECANISMOS.

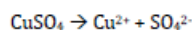
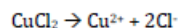
INTRODUCCIÓN

La lixiviación corresponde a la disolución selectiva de los constituyentes de interés de la mena o concentrado para obtener una solución acuosa que contenga el metal valioso y un residuo insoluble del material sin valor. La lixiviación es esencialmente un proceso de transferencia de masa sólido-líquido. La lixiviación puede ser llevada a cabo en condiciones ambientales o a temperaturas elevadas y/o bajo presión. Las condiciones del proceso dependerán de las reacciones químicas que están teniendo lugar. El objetivo en todos los casos es obtener iones metálicos o complejos que puedan ser extraídos selectivamente desde la solución.

TIPOS DE MECANISMOS DE REACCIONES DE DISOLUCIÓN

Las reacciones de disolución son de varios tipos y pueden clasificadas en forma general como:

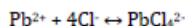
Procesos físicos: Este es el caso más simple de la lixiviación. En este caso el sólido es soluble en agua y se disuelve en una fase acuosa sin que haya transformación química. Por ejemplo, la disolución de CuCl_2 o CuSO_4 en agua:



REACCIÓN 6

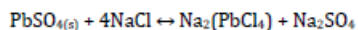
Generalmente las sales covalentes no son solubles en agua, mientras que las sales iónicas si lo son.

La mayoría de los haluros, nitratos y sulfatos son solubles en agua. Los silicatos, sulfuros, óxidos y fosfatos no son solubles en agua (la excepción son los compuestos de metales alcalinos que son iónicos). En la disolución de sales en agua, los cristales de sal se recubren por una capa de solución saturada de la sal, la que después difunde lentamente al seno de la solución acuosa. La velocidad de este proceso está gobernada por la velocidad de agitación puesto que a altas velocidades se reduce el espesor de la capa límite de difusión. La energía de activación para un proceso físico de este tipo es típicamente menor a 5 kcal/mol.



REACCIÓN 11

Esta reacción produce una disminución de la concentración de Pb^{2+} en contacto con la fase sólida. La reacción global puede ser representada por la reacción:



REACCIÓN 12

De lo expresado anteriormente se puede apreciar que un proceso de disolución química comprende una secuencia de dos procesos: (i) un proceso físico en el cual se establece un equilibrio entre el sólido y la fase acuosa, y (ii) una reacción química homogénea (en la vecindad del sólido) entre los iones que recién dejaron el sólido y el reactivo presente en la fase acuosa.

En una primera etapa el sólido insoluble en contacto con el agua forma una solución saturada estancada en la superficie. Cuando un reactivo escogido para atacar es incorporado al agua, éste difunde a través de esta capa límite donde neutraliza o acompleja los iones presentes. Por lo tanto, su concentración en esta región disminuye. Esto favorece que más iones abandonen la red cristalina, lo que implica mayor disolución.

La naturaleza del proceso varía dependiendo de la velocidad de la reacción iónica en la capa límite. Si ésta es rápida, el proceso está gobernado por la velocidad de difusión de la especie reactiva agregada, es decir, se convierte en un proceso controlado por difusión. Por otra parte, si la reacción iónica es lenta, controlará el proceso global, por tanto, el proceso será controlado químicamente.

Procesos electroquímicos: Los procesos electroquímicos difieren de los procesos físicos y los procesos químicos de varias maneras: El sólido es un conductor (por ejemplo, un metal) o tiene uniones covalentes que tienen propiedades semiconductoras. Hay una transferencia de electrones desde la fase sólida a las especies reactivas, es decir, el proceso involucra un par de óxido-reducción. Los iones o moléculas en solución simplemente difunden a través de la capa límite para llegar a la superficie del sólido y captar electrones.

El sólido se disuelve en ciertos puntos de la superficie, mientras que la transferencia de electrones tiene lugar en otros puntos separados de los primeros por una distancia finita.

sulfuro metálico usado catódicamente en medio ácido no habrá aumento del voltaje a medida que procede la electrólisis.

REACTIVOS DE LIXIVIACIÓN

Además del agua, que es utilizada para lixiviar sulfatos y cloruros solubles, existe una gran variedad de reactivos que pueden usarse para lixiviación de menas o concentrados, tal como se muestra en la figura.

Ácidos	Ácido Sulfúrico Ácido Clorhídrico Ácido Nítrico
Bases	Cal Hidróxido de Sodio Hidróxido de Amonio
Agentes complejantes	Amoníaco Sales de Cianuro Sales de Cloruros Sales de Carbonato
Agentes oxidantes	Oxígeno Sales Férricas Peróxido de Sodio o Hidrógeno Permanganato Dióxido de Manganeso
Agentes reductores	Gas CO Gas SO ₂ Gas H ₂

FIGURA 16 VARIEDADES DE REACTIVOS

Química y mecanismos de disolución de metales, óxidos y sulfuros.

LIXIVIACIÓN DE MINERALES OXIDADOS

En general, los minerales oxidados son aquellos que tienen el oxígeno como elemento constitutivo principal. Frecuentemente, en su composición se incluyen los halogenuros. Algunos minerales oxidados naturales de importancia comercial incluyen la gibsita ($\text{Al}(\text{OH})_3$), casiterita (ZnO_2), pirolusita (MnO_2), uraninita (UO_2), pechblenda (U_3O_8) y una gran variedad de minerales de cobre como se muestra en la siguiente figura.

Las pilas de lixiviación pueden variar en altura entre 3 y 10 metros, y se instalan sobre un sustrato impermeable, generalmente protegido con una membrana (geomembrana) de plásticos como polietileno de alta densidad (HDPE) de baja densidad (LDPE), de muy baja densidad (VLDPE) o de cloruro de polivinilo (PVC). Los espesores pueden variar entre 0.1 a 1.5 [mm], según las exigencias de cada operación.

A medida que aumenta la altura de la pila aumentan las exigencias de la geomembrana, por lo que usualmente se eligen membranas más gruesas de HDPE, debido a su mayor resistencia a la ruptura. Sobre la geomembrana se instala, normalmente, una capa de grava que sirve como capa de drenaje para la solución. Si el material de drenaje incluye partículas grandes o angulares puede ser necesario poner una capa amortiguadora entre la membrana y la capa de drenaje.

El mineral a lixiviar se apila sobre la capa de drenaje. Para cargar el mineral en las pilas se utilizan varios sistemas según el tamaño de las instalaciones. Para faenas pequeñas de 300 a 2000 ton/día se utilizan camiones y apiladores de correa autopropulsados como el que se ilustra en la figura. Para faenas grandes, de 1000 a 20000 ton/día, se usan correas modulares articuladas (grasshoppers) que terminan en un apilador de correa.



FIGURA 43 MAQUINARIA EN PILA DE LIXIVIACIÓN

Los factores que influyen en la construcción de pilas son:

- Calidad del patio (base impermeable)
- Facilidad de riego y recolección de drenaje

FIGURA 50: ESTADOS DE COHESIÓN DE UN SISTEMA DE PARTÍCULAS HOMOGÉNEAS.

Según Pietsch (W. PIETSCH, *Die Beeinflussungsmöglichkeiten des Granuliertellerbetriebes und ihre Auswirkungen auf die Granulateigenschaften, Aufbereitungs-Technik 7-1966, pp. 177-191*), la formación de aglomerados sigue los pasos ilustrados en la Figura 56.

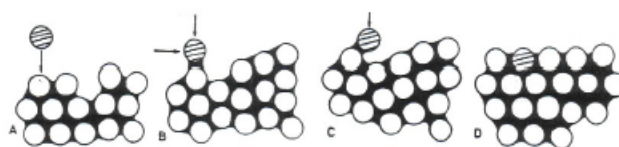


FIGURA 51: MECANISMOS DE UNIÓN DE AGLOMERADOS.

En el paso A, se puede apreciar que ya existe un glómero y que una partícula individual, que está cubierta con una película de algún tipo de líquido, cae sobre una de las partículas que forma la masa aglomerada. En el paso B, se observa, que la partícula al caer sobre otra partícula, que también está "cubierta" con líquido, se adhiere y es sujeta a esta última debido a la tensión superficial del líquido. En el paso C, debido a las fuerzas mecánicas a las que la partícula es sometida, junto con la tensión superficial del líquido y acción capilar, esta comienza a ser incorporada a la masa aglomerada. En el paso D, la partícula es finalmente incorporada a la masa aglomerada, haciendo que el tamaño de esta última sea mayor.

Según Schubert (H. SCHUBERT, *Haftung zwischen Feststoffteilchen aufgrund von Flüssigkeitsbrücken, Chemie Ing. Techn. 46-1974, Nr. 8, pp. 333-334*), las fuerzas mecánicas que facilitan el proceso de aglomeración: tensión superficial, acción capilar y fuerzas de adhesión, son contrarrestadas por fuerzas mecánicas de fricción y corte, que son generadas por el equipo aglomerador y causan que las partículas se separen de la masa aglomerada. Por ende, en el proceso de aglomeración por roleo, la aglomeración y separación de partículas, ocurre de forma simultánea. Sastry y Fuerstenau (K. SASTRY and D. FUERSTENAU, *Agglomeration 77. Am. Inst. Min. Metall. Petrol. Ens., Inc., 2 Bände, New York 1977, pp. 381-402*), grafican los mecanismos de aglomeración y separación de partículas, ilustrados en la Figura 57.

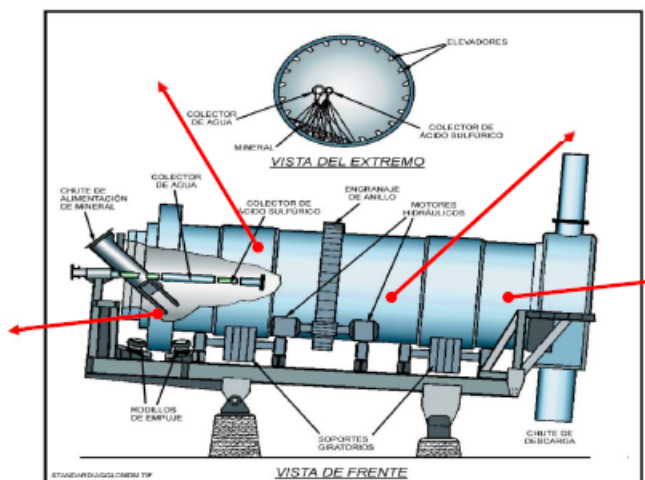


FIGURA 56: ESQUEMA DE TAMBOR AGLOMERADOR INDUSTRIAL. ZONAS: (1) ZONA MUERTA (2) ZONA IMPREGNACIÓN (3) ZONA AGLOMERACIÓN Y (4) ZONA DESCARGA

El tambor se puede dividir en cuatro zonas principales, cada una de ellas recibe su nombre debido a la función que cumple dentro del cilindro.

Zona muerta: Se encuentra entre el fondo del tambor y el punto donde impacta el mineral, una vez que este sale del chute de alimentación al cilindro.

Zona de impregnación: El mineral es rociado con agua y ácido, las partículas comienzan a adherirse unas con otras. Esta zona es relativamente corta, ya que solo se desea rociar el mineral con agua y ácido para prepararlo para la etapa posterior (formación de los glómeros).

El largo de esta zona depende del sistema de adición de agua y ácido, el cual normalmente se realiza por medio de flautas. Éstas consisten en tubos largos que contienen una serie de perforaciones por las cuales salen el ácido y el agua. Sin embargo, presentan grandes problemas como lo es el desprendimiento, debido a su largo. Éste se puede solucionar acortando la zona muerta que reducirá el largo de las flautas. Además, no irrigan de manera uniforme al mineral a medida que este va avanzando, debido a que en las perforaciones que se encuentran más cerca de la fuente de ácido y agua sale mayor flujo con respecto a los que están más alejados. Es por esto que se debe considerar tener orificios de diferentes tamaños. Normalmente, los orificios más cercanos a la fuente de agua o ácido son de un diámetro menor que los que están alejados. Otra solución a la alimentación de agua y