

**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA**

**SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUEL CARRERA**

**PROPUESTA DE PLAN DE LUBRICACIÓN BAJO LA NORMA DIN-  
51825 Y SKF PARA MINERA GOLDFIELDS SALARES NORTE**

Trabajo de Titulación para optar al  
Título de Ingeniero/a en  
MANTENIMIENTO INDUSTRIAL.

Alumnos:

Christopher Ignacio Silva Cordova

Profesor Guía: Mg. Ing. Ricardo  
Ciudad

## 1. RESUMEN

Este trabajo de titulación presenta una propuesta de plan de lubricación bajo la norma DIN-51825 y SKF, diseñado para optimizar la confiabilidad operativa de los equipos críticos en la planta procesadora de minerales de Goldfields Salares Norte, ubicada en la región de Atacama, Chile. Esta operación minera enfrenta condiciones ambientales extremas que afectan directamente el desempeño y la durabilidad de los equipos, haciendo del mantenimiento preventivo una prioridad estratégica.

La propuesta se enfoca en implementar un sistema estructurado de gestión de lubricación que contemple el uso de herramientas como el SKF Lubrication Planner y el software SAP, apoyándose en una metodología basada en confiabilidad. Se desarrolla un análisis detallado de criticidad para priorizar los equipos más relevantes y se proponen cálculos normados para determinar los volúmenes y frecuencias de lubricación adecuados, maximizando la vida útil de los componentes.

El proyecto integra indicadores clave de desempeño (KPIs) para medir el impacto del plan, evaluando métricas como el MTBF y el MTTR, y establece un modelo de mejora continua que permitirá ajustar las estrategias según las condiciones operativas. Se incluye además una evaluación técnica y económica que respalda la viabilidad de la propuesta, destacando beneficios como la reducción de costos operativos, la minimización de fallas no planificadas y un aumento en la disponibilidad de los equipos.

Con esta iniciativa, se busca no solo mejorar la eficiencia operativa y reducir costos asociados a paradas no programadas, sino también sentar las bases para una gestión de mantenimiento replicable en otras operaciones de la compañía.

## INDICE

1.	RESUMEN.....	2
2.	INTRODUCCIÓN .....	7
3.	CONTEXTO DEL PROBLEMA.....	8
4.	OBJETIVO GENERAL .....	9
5.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	9
11.	CAPITULO 1: ANTECEDENTES GENERALES.....	10
6.1.	Industria minera en Chile y su importancia .....	11
6.2.	Historia de Goldfields Salares Norte en Chile .....	11
6.3.	Misión .....	13
6.4.	Visión .....	13
6.5.	<b>Proveedores</b> .....	13
6.6.	Norma DIN-51825 .....	13
6.7.	Relación entre la norma DIN-51825 y SKF.....	14
<b>6.8.</b>	<b>Condiciones operativas en la minería de Atacama</b> .....	15
6.9.	Mantenimiento y confiabilidad en entornos mineros.....	15
6.10.	<b>Estado actual del mantenimiento en Goldfields Salares Norte</b> .....	16
6.11.	<b>Departamento de mantenimiento preventivo</b> .....	16
6.12.	<b>Lubricador</b> .....	16
6.13.	<b>Tipos de grasa</b> .....	17
6.14.	<b>SAP PM</b> .....	17
<b>6.15.</b>	<b>Monitoreo de condición</b> .....	17
6.16.	lubricación en planta .....	18
6.17.	Herramientas de lubricación .....	18
6.18.	EQUIPOS DE PLANTA.....	19
1.1.1.	.....	19
6.18.1.	Bomba Flmith slurry max xd 14x12-39 MMD.....	19
6.18.2.	Bomba Metso slurry pumps HM200 .....	19
6.18.3.	Bomba Metso slurry pumps HM150 .....	20
6.18.4.	Bomba Metso slurry pumps HM75 .....	20

6.18.5.	Correar transportadoras.....	20
6.18.6.	Bombas Metso sumidero VS50.....	21
6.19.	CONFIABILIDAD EN MANTENIMIENTO GOLDFIELDS .....	22
6.19.1.	Definición de Confiabilidad.....	22
6.19.2.	Importancia de la Confiabilidad en la Minería .....	22
6.19.3.	Indicadores Clave de Confiabilidad.....	23
6.19.4.	Confiabilidad en la Gestión de Lubricación .....	23
6.19.5.	Lubricación de Equipos Industriales.....	24
8.	CAPÍTULO 2 METODOLOGÍA .....	27
7.1.	ANÁLISIS DE CRITICIDAD .....	28
7.1.1.	Definición del Análisis de Criticidad .....	28
7.1.2.	Metodología del Análisis de Criticidad.....	28
7.1.3.	Aplicación del Análisis de Criticidad en Goldfields Salares Norte .....	30
7.1.4.	Beneficios del Análisis de Criticidad .....	31
8.2.	CALCULO DE LLENADO INICIAL BAJO LA NORMA DIN-51825 PARTE 2	
	32	
7.2.1.	Determinación de la grasa para el llenado inicial .....	32
7.2.2.	Relación de velocidad .....	33
7.2.3.	Ejemplo de aplicación practica .....	33
7.2.4.	Software de calculo .....	34
7.3.	CALCULO DE CANTIDAD DE GRASA EN LA RELUBRICACION .....	35
7.3.1.	Relubricacion desde el lateral del rodamiento (figura 9).....	35
7.3.2.	Relubricacion a través de orificios en el aro exterior o interior (figura 10)	
	35	
7.3.3.	Ejemplo de aplicación practica .....	36
7.3.4.	Software de calculo .....	36
7.3.5.	Factores de corrección.....	38
7.3.6.	Base de datos.....	40
7.4.	SKF Lubrication Planner.....	41
7.4.1.	Descripción de la Herramienta.....	41
7.4.2.	Funciones Principales del SKF Lubrication Planner .....	42

7.4.3.	Beneficios de Implementar SKF Lubrication Planner en Goldfields Salares Norte .....	43
7.5.	Indicadores de Desempeño (KPIs) para la Evaluación del Plan .....	44
7.5.1.	Definición de KPIs .....	44
7.5.1.1.4.	Cómo Evaluar el Impacto del Plan de Lubricación Usando KPIs .....	46
7.5.1.1.5.	Beneficios de Utilizar KPIs para la Evaluación del Plan .....	46
7.5.2.	Monitoreo y Registro de las Tareas de Lubricación.....	47
7.5.2.1.	Registro de las Tareas en SAP.....	47
7.5.2.3.	Capacitación del Personal .....	49
7.5.2.3.2.	Roles y Responsabilidades .....	49
12.	9. CAPÍTULO 3: EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA .....	51
8.1.	EVALUACION TÉCNICA Y ECONÓMICA .....	52
8.1.1.	EVALUACIÓN TÉCNICA.....	52
8.2.	EVALUACIÓN ECONÓMICA.....	61
8.2.1.	EVALUACIÓN EN BASE A LA TASA INTERNA DE RETORNO.....	61
8.2.2.	PROPUESTA DE MEJORA EN INDICADORES.....	65
13.	CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES.....	70
14.	BIBLIOGRAFÍA .....	73
15.	ANEXOS .....	74

## **PALABRAS CLAVE**

1. Lubricación
2. DIN-51825
3. SKF Lubrication Planner
4. SAP PM
5. Mantenimiento preventivo
6. Confiabilidad
7. Análisis de criticidad
8. MTBF / MTTR

9. KPIs
10. Goldfields Salares Norte
11. Fallas por lubricación
12. Evaluación técnica y económica

## **2. INTRODUCCIÓN**

La empresa Goldfields Salares Norte, ubicada en la región de Atacama, Chile, es una operación minera dedicada a la extracción y procesamiento de minerales, principalmente oro y plata. Esta planta se encuentra en una zona geográfica con condiciones climáticas extremas, como altas variaciones de temperatura y la presencia de minerales agresivos en el agua. Estas condiciones afectan directamente a los equipos utilizados en el procesamiento de minerales, acelerando su desgaste y haciendo que el mantenimiento preventivo sea un aspecto crítico para la operación.

En una operación minera, mantener los equipos en condiciones óptimas de funcionamiento es esencial para asegurar la continuidad productiva y minimizar los tiempos de inactividad. Un componente clave de este mantenimiento es la lubricación adecuada de los equipos críticos, como los rodamientos, motores, y cintas transportadoras, cuya falla por fricción, sobrecalentamiento o desgaste puede causar costosas paradas no programadas.

A pesar de la importancia de la lubricación, hasta el momento, Goldfields Salares Norte no cuenta con un registro histórico claro de las tareas de lubricación realizadas. La falta de un sistema estructurado que permita monitorear y controlar estas actividades aumenta la incertidumbre sobre el estado real de los equipos, lo que se traduce en riesgos operativos y mayores costos. En consecuencia, existe una oportunidad significativa para implementar un plan de lubricación que no solo asegure un mantenimiento preventivo adecuado, sino que también permita medir su efectividad a través de indicadores clave de rendimiento (KPIs) relacionados con la confiabilidad.

Este proyecto tiene como objetivo diseñar e implementar un plan de lubricación de la planta, con especial énfasis en la maquinaria involucrada en la extracción y procesamiento de oro y plata. Se analizarán las condiciones operativas de los equipos, se identificarán los puntos críticos de lubricación, y se establecerá mediante el uso de herramientas basadas en la Norma DIN-51825 y SKF, en complemento del uso del software de SKF

Lubrication Planner y SAP, que permitirá evaluar el impacto del plan en la reducción de fallos y el aumento de la disponibilidad de los equipos.

Con la implementación de este plan de lubricación basado en confiabilidad, se espera mejorar la eficiencia operativa de la planta, reducir los costos asociados a fallos no planificados y aumentar la longevidad de los equipos. Además, se busca establecer una metodología medible y replicable que contribuya a la optimización del mantenimiento preventivo en futuras expansiones de la operación.

### **3. CONTEXTO DEL PROBLEMA**

En las distintas plantas de Salares Norte, se ha identificado una elevada incidencia de fallas relacionadas con deficiencias en la lubricación, así como inconsistencias en la ejecución del programa de mantenimiento asociado. Estas fallas han derivado en frecuentes paradas operativas, impactando significativamente la continuidad de los procesos productivos.

En particular, las bombas centrífugas de la planta, a pesar de contar con un sistema de respaldo, presentan una tasa promedio de 4 fallos mensuales. Esta frecuencia elevada de fallas reduce considerablemente el tiempo disponible para reparaciones programadas y genera detenciones no planificadas que afectan la operación completa de la planta. Estas paradas representan un costo estimado de \$200,000 USD por hora, reflejando el impacto económico crítico de las interrupciones.

Actualmente, las bombas de la planta registran un promedio de 7,6 intervenciones por equipo, un MTBF (Mean Time Between Failures) de 607,9 horas y un MTTR (Mean Time to Repair) de 60 horas. Estas métricas evidencian un escenario preocupante para la confiabilidad de los sistemas, dado que tanto el tiempo entre fallas como el tiempo de reparación dificultan alcanzar niveles óptimos de disponibilidad operativa y eficiencia.

#### **4. OBJETIVO GENERAL**

Proponer un plan de lubricación basado en la DIN-51825 y SKF para los equipos críticos de la planta procesadora de Goldfields Salares Norte, manteniendo con ello la gestión operativa, aumentando los indicadores críticos de importancia, tanto para la operación como para mantenimiento.

#### **5. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Proponer metodología de cálculo de cantidad de lubricación y periodos de lubricación bajo la norma DIN-51825 y SKF, mediante el uso de ecuaciones normadas, las cuales nos darán valores exactos para el manejo de lubricantes
- Proponer el uso del complemento de software SKF Lubrication Planner con SAP:
- Definir indicadores de confiabilidad y rendimiento (KPIs), para el control de la gestión actual del proceso, proponiendo con ello estándares que de apliquen en el futuro. Capacitar al personal de mantenimiento en el uso de las herramientas digitales (SKF Lubrication Planner y SAP)
- Evaluar técnica y económica la propuesta, por medio del impacto del plan de lubricación en la confiabilidad de los equipos a mediano y largo plazo, por medio de indicadores económicos.

**6. CAPITULO 1: ANTECEDENTES GENERALES**

### 6.1. Industria minera en Chile y su importancia

Chile es uno de los principales países mineros del mundo, reconocido por su producción de cobre, oro y plata. La minería es uno de los pilares económicos del país, representando un porcentaje significativo del PIB y las exportaciones nacionales. Las operaciones mineras, debido a su escala y complejidad, demandan altos niveles de eficiencia en sus procesos, así como una gestión adecuada del mantenimiento para asegurar la continuidad operativa.

Goldfields Salares Norte, como una de las empresas mineras más nuevas en el país, se enfrenta a desafíos específicos asociados a la extracción y procesamiento de minerales bajo condiciones geográficas y climáticas extremas, donde la correcta gestión de los equipos resulta fundamental para asegurar el éxito de la operación.

### 6.2. Historia de goldfields salares norte en Chile

Goldfields Salares Norte es parte de la multinacional GoldFields Limited, una de las principales compañías mineras de oro del mundo. La empresa tiene su sede en Sudáfrica y opera en varias regiones del mundo, incluyendo África, América del Norte y América Latina. En Chile, Salares Norte representa uno de los proyectos más importantes de la compañía en la región.



*Fuente: Pagina web Goldfields*

*Figura 1. Planta procesamiento Goldfields Salares Norte*

El proyecto Salares Norte fue aprobado para su construcción en 2019, y está ubicado en la región de Atacama, en una zona remota a más de 4,500 metros sobre el nivel del mar. La mina está diseñada para extraer y procesar minerales ricos en oro y plata, con una vida útil proyectada de aproximadamente 11 años y una producción estimada de cerca de 3.5 millones de onzas de oro durante ese periodo.



*Fuente: Pagina web Goldfields*

*Figura 2. Ubicación Minera Goldfields*

La inversión total en Salares Norte fue de aproximadamente USD 860 millones, con el objetivo de establecer una operación moderna y eficiente en un entorno geográfico desafiante. A pesar de su reciente inicio de operaciones, la empresa ha puesto énfasis en el desarrollo de sistemas avanzados de mantenimiento y gestión de activos para maximizar la confiabilidad de los equipos y minimizar las interrupciones no planificadas. Esto incluye la implementación de tecnología de punta y el uso de herramientas digitales para mejorar el monitoreo y la planificación del mantenimiento, como es el caso del presente proyecto de lubricación.

### 6.3. Misión

Crear valor que perdure más allá de la minería, comprometiéndose a dejar un legado positivo para todos sus grupos de interés y trascender más allá de la actividad minera.

### 6.4. Visión

Ser la empresa minera aurífera más reconocida por generar un valor superior sostenible.

### 6.5. Proveedores

Las marcas que abastecen a Goldfields son varias, se tiene una variedad de marcas las cuales son reconocidas a nivel mundial dentro de las cuales se encuentran:

- FLSmith
- Metso
- Cherteston
- Global fluid
- Mobil
- SKF

Gran parte de los vendedores de las marcas se encuentran presentes hasta el día de hoy, debido a que la mayoría de los equipos aún se encuentran en garantía y están proceso de comisionamiento.

### 6.6. Norma DIN-51825

La norma DIN 51825 es un estándar técnico alemán que establece los requisitos y métodos de prueba para las grasas lubricantes tipo K, utilizadas en cojinetes de rodadura, cojinetes lisos y guías deslizantes. Su principal objetivo es garantizar que los lubricantes cumplan con los estándares necesarios para su uso en condiciones operativas exigentes, como las presentes en la industria minera. En este contexto, la norma proporciona directrices precisas para la selección y aplicación de grasas lubricantes en equipos críticos, contribuyendo a mejorar la confiabilidad y eficiencia operativa.

DIN 51825 clasifica las grasas según su consistencia, capacidad de carga, resistencia al agua y estabilidad térmica. Este sistema de designación permite una rápida identificación de las propiedades del lubricante adecuado para cada aplicación. Por ejemplo, un lubricante con la designación **KP2K-20** indica que es una grasa con aditivos de extrema presión (EP), de consistencia NLGI 2, con resistencia al agua y una temperatura operativa mínima de -20°C.

En el contexto del presente informe, la aplicación de DIN 51825 es fundamental para estructurar un plan de lubricación basado en estándares internacionales. Al establecer criterios técnicos claros, la norma facilita la correcta selección de lubricantes y optimiza su aplicación en los equipos críticos de la planta de Goldfields Salares Norte. La integración de DIN 51825 en la estrategia de lubricación permite minimizar fallos prematuros, optimizar la frecuencia de re-lubricación y mejorar la confiabilidad de los activos industriales.

#### 6.7. Relación entre la norma din-51825 y SKF

SKF, como fabricante líder en soluciones de lubricación y rodamientos, ha adoptado la norma DIN 51825 en sus estándares de calidad y diseño de lubricantes. Las grasas SKF son desarrolladas y clasificadas conforme a los requisitos de DIN 51825, asegurando su compatibilidad con aplicaciones industriales y mineras de alta exigencia. Por ejemplo, grasas como SKF LGMT 2, LGEP 2 y LGHP 2 están certificadas bajo DIN 51825, lo que garantiza su rendimiento en distintos rangos de temperatura, carga y condiciones ambientales.

La relación entre SKF y DIN 51825 no se limita a la fabricación de grasas, sino que también se extiende a la implementación de metodologías de mantenimiento basadas en esta norma. Herramientas como SKF Lubrication Planner utilizan los parámetros de DIN 51825 para definir la cantidad y frecuencia de lubricación, optimizando la gestión del mantenimiento. Además, SKF ofrece plataformas digitales como LubeSelect, que

permiten seleccionar grasas certificadas según los requisitos de DIN 51825 y ajustadas a las condiciones específicas de operación.

En el marco de este informe, la adopción de lubricantes SKF certificados bajo DIN 51825 garantiza que los equipos mineros críticos de Goldfields Salares Norte reciban una lubricación adecuada, conforme a estándares técnicos reconocidos internacionalmente. Además, la integración de herramientas como SKF Lubrication Planner con el software SAP PM facilita la implementación de un plan de lubricación estructurado, contribuyendo a la mejora continua del mantenimiento y la disponibilidad operativa de los equipos.

### **6.8. Condiciones operativas en la minería de atacama**

La región de Atacama, donde se ubica Goldfields Salares Norte, presenta condiciones extremas que tienen un impacto directo en la vida útil y desempeño de los equipos. Las fluctuaciones de temperatura, la presencia de minerales en el agua, el polvo y otros factores ambientales pueden acelerar el desgaste de los componentes mecánicos, especialmente en maquinarias críticas como cintas transportadoras, molinos, bombas y rodamientos.

Estas condiciones exigen un plan de mantenimiento preventivo robusto, con especial atención a la lubricación de los equipos para prevenir fallos prematuros y mantener la operación continua de la planta. La lubricación adecuada se vuelve, entonces, uno de los aspectos más importantes para mitigar el desgaste, evitar la fricción excesiva y reducir las paradas no programadas.

### **6.9. Mantenimiento y confiabilidad en entornos mineros**

El mantenimiento en operaciones mineras no solo busca corregir fallos una vez ocurridos, sino que se basa en la gestión preventiva y predictiva de los equipos. En este sentido, el mantenimiento basado en confiabilidad (RCM, por sus siglas en inglés) ha ganado

relevancia, pues permite planificar las tareas de mantenimiento según la criticidad de los equipos, las condiciones operativas y los datos históricos de fallos.

Uno de los elementos clave dentro de un plan de mantenimiento basado en confiabilidad es la lubricación de los componentes móviles de los equipos. Una lubricación adecuada no solo extiende la vida útil de los equipos, sino que también reduce los tiempos de inactividad, mejora la eficiencia energética y asegura un funcionamiento más fluido en un entorno tan demandante como la minería.

#### 6.10. **Estado actual del mantenimiento en Goldfields salares norte**

Dado que Goldfields Salares Norte es una operación minera relativamente nueva, actualmente no se cuenta con un sistema claro para la gestión de la lubricación de los equipos. Aunque se han realizado tareas de mantenimiento preventivo, la falta de un registro histórico detallado de las intervenciones dificulta la evaluación precisa del estado de los equipos y la planificación futura de las tareas de mantenimiento.

El desarrollo de un plan de lubricación medible y estructurado se presenta como una oportunidad para mejorar la confiabilidad operativa, reducir los costos asociados a fallos no planificados y prolongar la vida útil de los equipos críticos. Además, la implementación de herramientas como la DIN- 51825 parte 2 (SKF) complementada con SKF Lubrication Planner y la integración con SAP permitirá establecer un control riguroso y sistemático de las tareas de lubricación, facilitando la trazabilidad y el análisis de datos para futuras optimizaciones.

#### 6.11. **Departamento de mantenimiento preventivo**

Actualmente, el departamento de mantenimiento preventivo enfrenta el desafío de consolidar sus operaciones debido a la inestabilidad en la operación general. Por este motivo, las actividades realizadas son una combinación de tareas planificadas y reactivas, lo que dificulta alcanzar un funcionamiento óptimo y sostenido del departamento.

#### 6.12. **Lubricador**

El departamento cuenta con dos personas encargadas de todas las actividades de lubricación, asignándose un lubricador por turno. Esta limitación de personal dificulta la

ejecución eficiente de las tareas programadas, ya que ambos deben abarcar todas las áreas de la planta. Como consecuencia, las actividades de lubricación no se llevan a cabo de manera óptima, lo que podría comprometer el desempeño y la vida útil de los equipos.

#### 6.13. **Tipos de grasa**

Debido a la variedad de equipos, en planta se tiene 6 tipos de grasas, las cuales se detallan a continuación:

GRASAS	
MOBILGREASE XHP 221	48 KG
MOBILITH SHC 100	48 KG
MOBILITH SHC 220	48 KG
MOBILGREASE XHP 222	156 KG
UNIREX N 2	48 KG
MOBILUX EP 2	66,5 KILOS

*Fuente: Registros internos*

*Figura 3. Tabla de grasas utilizadas en planta*

#### 6.14. **SAP PM**

En la compañía se utiliza el software ERP SAP, una herramienta integral que facilita la gestión de diversas actividades empresariales. En el área de mantenimiento, específicamente, se emplea el módulo SAP PM. Sin embargo, su implementación no ha alcanzado el 100%, principalmente debido a la falta de capacitación adecuada y a la carencia de información necesaria para maximizar su funcionalidad y aprovechamiento.

#### 6.15. **Monitoreo de condición**

El Departamento de Mantenimiento Preventivo cuenta con un técnico de monitoreo de condición por turno, cuya responsabilidad principal es la recopilación de datos. Posteriormente, estos datos son analizados por una empresa externa. Sin embargo, una importante deficiencia radica en la falta de un análisis más detallado y oportuno de las

mediciones, lo que limita el aprovechamiento óptimo del equipamiento y sus funcionalidades.

#### 6.16. lubricación en planta

Actualmente, la lubricación de los equipos suele realizarse siguiendo las recomendaciones del fabricante indicadas en sus manuales y documentos técnicos. Sin embargo, la experiencia ha demostrado que, a pesar de aplicar estas directrices, no se ha logrado estabilizar el rendimiento de los equipos. Esto se debe principalmente a problemas relacionados con una lubricación inadecuada, errores en el montaje y deficiencias en el mantenimiento preventivo, lo que ha derivado en un aumento de fallas operativas.

#### 6.17. Herramientas de lubricación

Para la realización de los trabajos de lubricación, se tiene en taller equipos automáticos y manuales de bombeo de grasa, estos equipos son manejados por personal calificado.

## 6.18. EQUIPOS DE PLANTA

### 6.1.1. Bomba Flsmith slurry max xd 14x12-39 MMD



Figura 4. Bomba Slurry MAX XD MMD

Bomba ubicada bajo molino, esta alimenta la batería de ciclones, con una alta tasa de falla debido a la falta de lubricación y errores en los cálculos iniciales.

### 6.1.2. Bomba metso slurry pumps HM200



Fuente: [www.metso.com](http://www.metso.com)

Figura 5. Bomba Slurry Pumps HM200

Bomba que tiene un uso en 4 espesadores de la planta (Espesador 1/2/3/6), estos realizan el trabajo de retirar el over de cada uno de estos, una alta tasa de fallas por lubricación, debido a las condiciones operativas del equipo y la falta de actualización de datos de lubricación.

#### 6.1.3. Bomba metso slurry pumps HM150



Fuente: [www.metso.com](http://www.metso.com)

Figura 6. Bomba Slurry Pumps HM150

2 bombas ubicadas en paralelo, ubicada en espesador 4, descarga hacia espesador 2 para recuperar más mineral.

#### 6.1.4. Bomba metso slurry pumps HM75

Bomba encargada de descargar solido de under hacia espesador 6, forma parte de una etapa crucial para la recuperación de agua.

#### 6.1.5. Correar transportadoras

Equipos con un alto grado de variación en su funcionamiento, lo que a su vez produce cambios en el procedimiento de lubricación, lo cual no está establecido correctamente.

#### 6.1.6. Bombas Metso sumidero VS50

Bombas e alta importancia, debido a que recuperan mineral desde suelos, una gran cantidad de fallas por daño en cuerpo de rodamientos.



*Fuente: [www.metso.com](http://www.metso.com)*

Figura 7. Bomba vertical VS series

## 6.19. CONFIABILIDAD EN MANTENIMIENTO GOLDFIELDS

### 6.1.7. Definición de Confiabilidad

La confiabilidad es un concepto clave en el ámbito del mantenimiento industrial, y se refiere a la capacidad de un sistema o equipo para operar sin fallos durante un periodo de tiempo determinado, bajo condiciones específicas de operación. En otras palabras, la confiabilidad mide la probabilidad de que un equipo funcione correctamente sin sufrir interrupciones, dentro de su ciclo de vida.

En términos matemáticos, la confiabilidad se puede expresar como una función de la probabilidad de supervivencia de un equipo en el tiempo. Si un equipo tiene una confiabilidad del 95% durante un año de operación, esto significa que existe un 95% de probabilidad de que funcione sin fallar durante ese periodo.

### 6.1.8. Importancia de la Confiabilidad en la Minería

En operaciones mineras como Goldfields Salares Norte, donde los equipos críticos se utilizan para extraer y procesar minerales valiosos como oro y plata, la confiabilidad adquiere una relevancia fundamental. La disponibilidad de los equipos es esencial para asegurar la continuidad operativa, y cualquier interrupción no planificada puede tener consecuencias económicas significativas.

El departamento de Confiabilidad aún no se encuentra completamente consolidado. Su desarrollo se ha llevado a cabo de manera gradual, acorde con las posibilidades que permite la operación de la planta. Esto se debe, principalmente, a la alta incidencia de fallas y problemas derivados de la etapa de construcción, lo cual ha dificultado la recopilación y análisis exhaustivo de los indicadores clave necesarios para optimizar las actividades de mantenimiento.

Los planes de mantenimiento enfocados en la confiabilidad buscan no solo reparar los equipos cuando fallan, sino prevenir esas fallas mediante técnicas de mantenimiento proactivo, como la lubricación adecuada, la inspección regular y el uso de indicadores clave para monitorear el estado de los equipos.

#### 6.1.9. Indicadores Clave de Confiabilidad

Para medir la confiabilidad de los equipos de manera efectiva, se utilizan indicadores clave que permiten cuantificar la frecuencia y gravedad de las fallas. Los indicadores más comunes en el mantenimiento industrial son:

- **MTBF (Mean Time Between Failures):** Es el tiempo promedio entre fallas en un equipo. Este indicador es clave para medir la confiabilidad de un sistema, ya que permite calcular con qué frecuencia ocurren fallos durante su operación. Un MTBF elevado sugiere que el equipo es confiable y tiene pocas interrupciones.
- **MTTR (Mean Time to Repair):** Este indicador mide el tiempo promedio que se tarda en reparar un equipo tras una falla. Cuanto menor sea el MTTR, más eficiente será el equipo de mantenimiento en devolver el sistema a su estado operativo.
- **Tasa de Fallos:** Este indicador mide la cantidad de fallas ocurridas en un periodo de tiempo determinado, y se utiliza para evaluar la frecuencia con la que ocurren interrupciones en el equipo. Una alta tasa de fallos indica que el equipo requiere atención inmediata para prevenir fallos recurrentes.

#### 6.1.10. Confiabilidad en la Gestión de Lubricación

Una lubricación deficiente o incorrecta es una de las principales causas de fallos en equipos industriales. Los rodamientos, ejes y otros componentes móviles de los equipos mineros requieren una lubricación adecuada para evitar el desgaste por fricción, la acumulación de calor y la fatiga de los materiales.

El aumento significativo de la tasa de fallas en equipos por falta de lubricación es significativo, llegando para las bombas centrífugas de lodo a un promedio de 4 fallas mensuales, lo que significa un aumento también en los costos operativos y de mantenimiento. El MTTR también se ve afectado por estos fallos, debido a que las reparaciones las hacen terceros, aumentando el tiempo de reparación en un 100% debido a la logística.

El plan de lubricación que se propone en esta tesis tiene como uno de sus principales objetivos mejorar la confiabilidad de los equipos mediante la optimización de las tareas

de lubricación. Un programa de lubricación bien estructurado, complementado por el uso de herramientas como SKF Lubrication Planner, puede aumentar significativamente el MTBF de los equipos y reducir el tiempo de inactividad no planificado, lograr disminuir la tasa de falla por lubricación a 2 por año.

#### 6.1.11. Lubricación de Equipos Industriales

##### 6.19.5.1. Principios de Lubricación

La lubricación es uno de los procesos esenciales para el correcto funcionamiento de los equipos industriales, especialmente aquellos que operan en entornos exigentes como la minería. La lubricación implica la aplicación de un lubricante (aceite o grasa) entre dos superficies en contacto, con el objetivo de reducir la fricción y el desgaste durante el movimiento relativo de estas superficies.

Existen dos tipos principales de lubricantes:

- **Grasas:** Son usadas en aplicaciones donde se requiere que el lubricante permanezca en su lugar durante largos periodos y bajo condiciones difíciles. Las grasas son especialmente útiles en rodamientos y puntos de fricción donde el acceso es limitado o la velocidad de operación es baja.
- **Aceites:** Son más adecuados para aplicaciones en las que las velocidades son altas y la disipación de calor es importante, como en engranajes, motores y compresores. El aceite forma una película lubricante que reduce el contacto directo entre las superficies metálicas.

La correcta selección del tipo de lubricante y su aplicación adecuada son claves para garantizar la vida útil de los componentes mecánicos. Un error común es la sobre lubricación o falta de lubricación, ambos escenarios pueden generar problemas importantes en el rendimiento del equipo.

##### 6.19.5.2. Impacto de la Lubricación en la Confiabilidad

La lubricación adecuada tiene un impacto directo en la confiabilidad de los equipos. Al reducir la fricción entre las superficies en contacto, se minimiza el desgaste y se evita la generación excesiva de calor, lo que prolonga la vida útil de los componentes. Un equipo bien lubricado también funciona de manera más eficiente, reduciendo el consumo de energía y mejorando el rendimiento general del sistema.

En el contexto de la minería, los equipos están sujetos a condiciones operativas extremas, como temperaturas variables, polvo y vibraciones. La lubricación adecuada en estos entornos no solo previene el desgaste prematuro, sino que también reduce el riesgo de fallos catastróficos que podrían detener la producción por periodos prolongados.

Un ejemplo claro de cómo la lubricación impacta en la confiabilidad es en los rodamientos. La falta de lubricación o el uso de un lubricante incorrecto puede llevar a la aparición de daños por contacto metal-metal, aumento de la fricción y, en última instancia, la rotura del rodamiento. Por otro lado, una lubricación adecuada puede aumentar considerablemente el MTBF de estos componentes.

#### 6.19.5.3. Problemas Comunes por Falta de Lubricación

La falta o incorrecta aplicación de lubricante puede causar varios problemas graves en los equipos industriales. Algunos de los problemas más comunes incluyen:

- **Desgaste Prematuro:** Sin una capa adecuada de lubricante, las superficies metálicas en contacto experimentan un mayor nivel de fricción, lo que acelera el desgaste. Esto puede llevar a la falla prematura de componentes clave, como rodamientos, ejes y engranajes.
- **Sobrecalentamiento:** La fricción excesiva entre las superficies sin lubricante adecuado genera calor. Este sobrecalentamiento puede dañar las piezas y causar la deformación de los componentes, lo que puede provocar fallos mecánicos importantes.
- **Aumento de Vibraciones:** Los equipos mal lubricados tienden a operar de manera más ineficiente, generando vibraciones anormales. Estas vibraciones adicionales

no solo causan daños internos, sino que también pueden ser indicativas de un fallo inminente.

- Corrosión: En entornos mineros, la exposición a polvo, humedad y otros contaminantes puede causar corrosión en los componentes mecánicos si no están adecuadamente protegidos con lubricante.

#### 6.19.5.4. Estrategia de Lubricación en Goldfields Salares Norte

En el caso de la planta procesadora de Goldfields Salares Norte, la implementación de un plan de lubricación basado en la norma DIN-51825, parte 2 busca asegurar que todos los equipos críticos reciban la cantidad correcta de lubricante, en los intervalos adecuados, y con el tipo de lubricante correcto. El plan de lubricación debe estar diseñado para adaptarse a las condiciones operativas específicas de la planta, considerando factores como la carga de trabajo, las temperaturas, y las características del entorno.

La utilización de herramientas como **SKF Lubrication Planner**, en conjunto con **SAP**, permite una planificación detallada de las rutas de lubricación, asegurando que cada equipo reciba la atención necesaria. Además, la capacidad de registrar y monitorear las tareas de lubricación en tiempo real mejora la trazabilidad y permite realizar ajustes según los resultados obtenidos.

## **7. CAPÍTULO 2 METODOLOGÍA**

## 7.1. ANÁLISIS DE CRITICIDAD

### 7.1.1. Definición del Análisis de Criticidad

El análisis de criticidad es una herramienta fundamental en la gestión del mantenimiento industrial, ya que permite identificar y priorizar los equipos o sistemas que tienen un mayor impacto en la operación general de la planta. En términos simples, el análisis de criticidad evalúa la importancia de los equipos en función de su potencial para causar interrupciones operativas, generar costos significativos o afectar la seguridad y el medio ambiente.

En el caso de la planta procesadora de Goldfields Salares Norte, donde se procesan minerales de alto valor como el oro y la plata, el análisis de criticidad es esencial para enfocar los recursos de mantenimiento en aquellos equipos cuyo fallo podría afectar de manera significativa la producción o causar pérdidas económicas importantes.

### 7.1.2. Metodología del Análisis de Criticidad

El proceso de análisis de criticidad sigue una serie de pasos que permiten clasificar los equipos de acuerdo con su nivel de criticidad. A continuación, se describen los pasos clave de esta metodología:

1. Identificación de los Equipos: Se elabora un listado exhaustivo de todos los equipos de la planta. Esto incluye desde los sistemas principales, como molinos, cintas transportadoras y bombas, hasta componentes secundarios, como motores y rodamientos.
2. Evaluación de Consecuencias: Se analiza el impacto que tendría el fallo de cada equipo en la operación de la planta. Las consecuencias pueden ser medidas en términos de:
  - Costos de Reparación: Se evalúa cuánto costaría reparar o reemplazar el equipo en caso de fallo.

- Pérdida de Producción: Se estima la cantidad de tiempo que la planta estaría inactiva debido al fallo del equipo y cómo esto impactaría la producción.
  - Impacto en la Seguridad y el Medio Ambiente: Se consideran los riesgos que un fallo podría representar para la seguridad del personal y el impacto ambiental.
3. Frecuencia de Fallos: Se analiza la frecuencia con la que fallan los equipos, utilizando datos históricos si están disponibles, o mediante estimaciones basadas en la experiencia operativa y las recomendaciones del fabricante. Equipos que fallan con mayor frecuencia suelen tener un nivel de criticidad más alto, ya que son más propensos a interrumpir las operaciones.
4. Clasificación de los Equipos por Niveles de Criticidad: Una vez evaluados los equipos en función de las consecuencias y la frecuencia de fallos, se asigna un nivel de criticidad a cada uno. Los niveles comunes son:
- Alta Criticidad: Equipos cuyo fallo puede tener consecuencias catastróficas en términos de costos, seguridad o producción.
  - Media Criticidad: Equipos cuyo fallo tiene un impacto significativo, pero no tan severo como los de alta criticidad.
  - Baja Criticidad: Equipos cuyo fallo no afecta considerablemente la operación o puede repararse con relativa facilidad.
5. Priorización de Acciones de Mantenimiento: Los equipos clasificados con alta criticidad deben recibir la mayor atención en términos de mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo. En el contexto del plan de lubricación, estos equipos críticos deben recibir lubricación de manera regular y programada, con un seguimiento exhaustivo para asegurar su correcto funcionamiento.

### 7.1.3. Aplicación del Análisis de Criticidad en Goldfields Salares Norte

En Goldfields Salares Norte, el análisis de criticidad se llevará a cabo para identificar los equipos más importantes en la operación de procesamiento de oro y plata. Equipos como los molinos utilizados para triturar el mineral, las bombas de agua utilizadas en el procesamiento y las cintas transportadoras que transportan el material a lo largo de la planta serán evaluados para determinar su nivel de criticidad.

Fecha:		06-06-2024							
JERARQUIZACIÓN DE LOS SISTEMAS									
Organización:		Christopher Silva							
Planta:		Salares Norte							
Código de Equipo	Denominación	FRECUENCIA FALLAS	SHA	RESEP	IP-CM	CONSECUENCIAS	TOTAL	JERARQUIZACIÓN	
1	Bomba bajo molino	5	3	2	2	3	15	Muy Alta Criticidad	
2	Bombas over Espesadores	5	3	2	2	3	15	Muy Alta Criticidad	
3	Bombas sumidero	5	3	3	1	3	15	Muy Alta Criticidad	
4	Correas Transportadoras	1	2	5	2	5	5	Alta Criticidad	
Frecuencia									
		5	MA	MA	MA				
		4	A	A	MA				
		3	M	M	A				
		2	B	M	M				
Preparado por Carlos Parra.									
ANÁLISIS DE CRITICIDAD / SISTEMAS PRINCIPALES									
Criticidad Total = Frecuencia x Consecuencia									
Frecuencia = Número de fallas por año, (ver criterios de criticidad)									
Consecuencia = (Impacto SHA, Calidad, Impacto en producción y Costos Matto), (ver criterios de criticidad)									

Fuente: [www.grupo-techgnosis.com](http://www.grupo-techgnosis.com)

Tabla 1. Hoja de cálculo para llenado inicial

Se evaluaron conjunto de equipos, debido a que bombas de espesadores, bombas de bajo molino, bombas de sumidero y correas transportadoras, son de características similares, por lo que la evaluación dio como resultado lo siguiente:

Muy alta criticidad:

- Bombas bajo molino
- Bombas over espesadores
- Bombas sumidero

Alta criticidad:

- Correas transportadoras

Cada uno de estos equipos fue analizado en función de su impacto en la producción y la frecuencia de fallos. Los equipos que están identificados como críticos recibirán una planificación de lubricación más rigurosa.

#### 7.1.4. Beneficios del Análisis de Criticidad

El análisis de criticidad ofrece varios beneficios para la gestión del mantenimiento y la confiabilidad de los equipos:

- **Optimización de Recursos:** Al enfocar los esfuerzos de mantenimiento en los equipos más críticos, se garantiza que los recursos de mantenimiento, como personal, tiempo y lubricantes, se utilicen de manera eficiente.
- **Reducción de Fallos No Planificados:** Al priorizar los equipos críticos, el análisis de criticidad reduce la probabilidad de fallos imprevistos, lo que minimiza las interrupciones en la operación y los costos asociados a las reparaciones de emergencia.
- **Mejora en la Disponibilidad de los Equipos:** Los equipos críticos que reciben un mantenimiento adecuado mediante lubricación y monitoreo continuo tendrán una mayor disponibilidad, lo que contribuye a la continuidad operativa de la planta.

## **7.2. CALCULO DE LLENADO INICIAL BAJO LA NORMA DIN-51825** **PARTE 2**

### 7.2.1. Determinación de la grasa para el llenado inicial

Comúnmente, el volumen libre de los rodamientos se llena completamente durante la instalación y el volumen del soporte de pie se llena parcialmente, SKF recomienda que el volumen libre a cada lado del rodamiento en un soporte diseñado por el cliente se igual al volumen libre del rodamiento. Para los rodamientos de jaula metálica, el volumen libre en el rodamiento es aproximadamente

$$V = \left[ \left( \frac{\pi}{4} \right) * B(D^2 - d^2) * 10^{-9} - \frac{m}{7800} \right] * 10^6$$

donde

V = volumen libre en el rodamiento [cm<sup>3</sup>]

(para la grasa estándar, la masa en gramos

multiplicada por 0,9; para la grasa

fluorada, la masa en gramos multiplicada

por aproximadamente 2)

B = ancho del rodamiento [mm]

D = diámetro exterior [mm]

d = diámetro del agujero [mm]

M = masa del rodamiento [kg]

### 7.2.2. Relación de velocidad

**Relacion de velocidad =  $n/ng$**

- $n$  = # máximo de revoluciones en servicio
- $ng$  = # límite máximo de revoluciones del rodamiento seleccionado

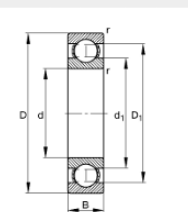
Cantidad de grasa en función de la relación de velocidad

Relación de velocidad, $n/ng$	% del espacio vacío
<b>&lt; 0.2</b>	100 %, llenado total
<b><math>\geq 0.2</math> hasta 0.8</b>	33 %, un tercio
<b><math>\geq 0.8</math></b>	10 %, como máximo

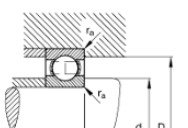
### 7.2.3. Ejemplo de aplicación practica

Calcular el espacio vacío disponible para un rodamiento 6214. Si gira a 3600 RPM, ¿qué cantidad de grasa le pondría (calcular  $n/ng$ )?

**Rodamiento rígido a bolas 6214**  
medidas principales según DIN 625-1



<b>d</b>	70 mm
<b>D</b>	125 mm
<b>B</b>	24 mm
<b>D<sub>1</sub></b>	108,2 mm
<b>D<sub>2 max</sub></b>	116 mm
<b>d<sub>1</sub></b>	86,8 mm
<b>d<sub>2 min</sub></b>	79 mm
<b>f<sub>a max</sub></b>	1,5 mm
<b>f<sub>min</sub></b>	1,5 mm
<b>m</b>	1,09 kg <small>Peso</small>
<b>C<sub>r</sub></b>	66000 N <small>Capacidad de carga dinámica, radial</small>
<b>C<sub>0r</sub></b>	44000 N <small>Capacidad de carga estática, radial</small>
<b>n<sub>G</sub></b>	8200 1/min <small>Velocidad límite</small>
<b>n<sub>B</sub></b>	6100 1/min <small>Velocidad de referencia</small>
<b>C<sub>0fr</sub></b>	2950 N <small>Carga límite de fatiga, radial</small>
<b>f<sub>0</sub></b>	14,4 <small>Factor de cálculo</small>



Primero calculamos el espacio vacío disponible:

$$V = [(3.1416/4) * 24 * (125^2 - 70^2) * 10^{-9} - 1.09/7800] * 10^6$$

$$V = 62.4219 \text{ cm}^3$$

Posteriormente, determinamos la Relación de Velocidad:

$$RV = n / ng = 3600 / 8200 = 0.439$$

Como estamos en el intervalo entre:  $\geq 0.2$  hasta 0.8, corresponde un 33 %, o sea:

$$62.4219 / 3 = 20.8 \text{ cm}^3 \sim 21 \text{ cm}^3$$


Considerando que la densidad promedio de las grasas es  $1 \text{ gr/cm}^3$ , debería de añadirse 21 gramos, que corresponden, aproximadamente a 21 disparos de una bomba de engrasar manual

#### 7.2.4. Software de calculo

Para el software de cálculo de llenado inicial adquirido por Grupo-Techgnosis, nos entrega de manera más sencilla los resultados, ingresando los datos requeridos, nos muestra la cantidad de grasa dependiendo de su relación de velocidad, algo que nos asegura un correcto llenado del rodamiento, evitando problemas de engrase y posteriores fallas incipientes.

Pasos para uso de software Grupo-Techgnosis

- Abrir archivo de Excel adjunto
- Paso 1. Capturar el Diámetro Exterior del rodamiento, D en mm
- Paso 2. Capturar el diámetro interior del rodamiento, d en mm
- Paso 3. Capturar el ancho del rodamiento, B en mm
- Paso 4. Capturar las RPM a las cuales trabajará el rodamiento
- Paso 5. Capturar la Velocidad Límite del Rodamiento
- Paso 6. El programa le indicará el Espacio vacío disponible en  $\text{cm}^3$
- Paso 7. El programa le indicará la Relación de Velocidad,  $n/ng$
- Paso 8. El programa le indicará la cantidad a dosificar en el llenado inicial de su rodamiento en gramos en función del valor  $n/ng$  que aparece en la Tabla de Cálculo

<b>Cálculo de Cantidad de Grasa para Llenado Inicial de Rodamientos</b>	
	
Technotip 186	
Diámetro exterior del rodamiento, D en mm	125
Diámetro interior del rodamiento, d en mm	70
Ancho del rodamiento, B en mm	24
Peso del rodamiento, m en Kg	1,09
Velocidad de trabajo (n), RPM	3600
Velocidad límite (ng), RPM	8200
Espacio Vacío disponible, $\text{cm}^3$	62
Relación de Velocidad, $n/ng$	0,4
Si $n/ng$ es menor o igual a 0.2 añadir estos gramos	62
Si $n/ng$ es superior a 0.2 e inferior a 0.8 añadir estos gramos de	21
Si $n/ng$ es superior a 0.8 añadir estos gramos de grasa	6

Fuente: [www.grupo-techgnosis.com](http://www.grupo-techgnosis.com)

Tabla 2. Hoja de cálculo para llenado inicial

### 7.3. CALCULO DE CANTIDAD DE GRASA EN LA RELUBRICACION

La correcta lubricación de los rodamientos es un factor crítico para garantizar su rendimiento y vida útil. SKF establece procedimientos específicos para calcular la cantidad de grasa necesaria durante la re-lubricación. Este cálculo depende del método de aplicación de la grasa y de las dimensiones del rodamiento.

#### 7.3.1. Re-lubricación desde el lateral del rodamiento (figura 9)

Cuando la grasa se introduce desde el lateral, la fórmula utilizada es:

$$Gp = 0.005 * D * B$$

- Gp: Cantidad de grasa en gramos.
- D: diámetro exterior del rodamiento en milímetros.
- B: ancho del rodamiento en milímetros.

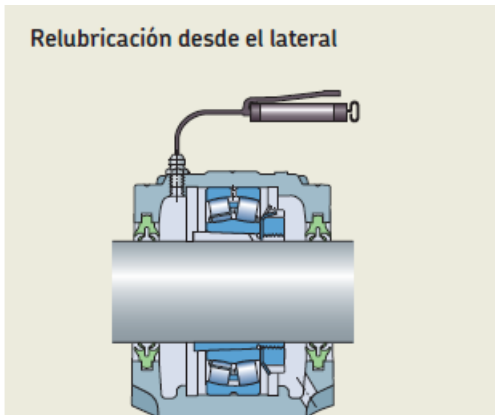
Este método se utiliza cuando se tiene acceso directo al lateral del rodamiento y permite una distribución uniforme de la grasa en su interior.

#### 7.3.2. Re-lubricación a través de orificios en el aro exterior o interior (figura 10)

Si la grasa se aplica a través de orificios diseñados para lubricación en el centro del aro, se utiliza la fórmula:

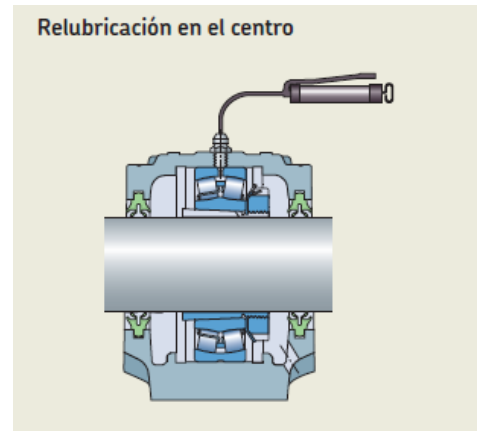
$$Gp = 0.002 * D * B$$

En este caso, la cantidad de grasa es menor, ya que los orificios permiten que el lubricante alcance directamente las áreas críticas sin necesidad de rellenar tanto espacio.



Fuente: [www.skf.com](http://www.skf.com)

Figura 8. Llenado lateral



Fuente: [www.skf.com](http://www.skf.com)

Figura 9. Llenado en el centro

### 7.3.3. Ejemplo de aplicación practica

Calcular el espacio vacío disponible para un rodamiento 6214 engrasado desde la lateral.

**Rodamiento rígido a bolas 6214**  
medidas principales según DIN 625-1

d	70 mm	
D	125 mm	
B	24 mm	
D <sub>1</sub>	108,2 mm	
D <sub>2 max</sub>	116 mm	
d <sub>1</sub>	86,8 mm	
d <sub>2 min</sub>	79 mm	
r <sub>2 max</sub>	1,5 mm	
r <sub>2 min</sub>	1,5 mm	
m	1,09 kg	Peso
C <sub>r</sub>	66000 N	Capacidad de carga dinámica, radial
C <sub>0r</sub>	44000 N	Capacidad de carga estática, radial
n <sub>G</sub>	8200 1/min	Velocidad límite
n <sub>2</sub>	6100 1/min	Velocidad de referencia
C <sub>ur</sub>	2950 N	Carga límite de fatiga, radial
f <sub>0</sub>	14,4	Factor de cálculo

$$\text{Grs} = 0.005 * D * B$$

$$\text{Grs} = 0.005 * 125 * 24$$

$$\text{Grs} = 15$$

#### Nota:

Considerando que la densidad promedio de las grasas es 1 gr/cm<sup>3</sup>, debería de añadirse 15 gramos, que corresponden, aproximadamente a 15 disparos de una bomba de engrasar manual

### 7.3.4. Software de calculo

La planilla dispuesta para el cálculo rápido de la cantidad de grasa para la re-lubricación, esta proporcionada por grupo-Techgnosis, el cual facilita y proporciona seguridad a la hora de calcular el lubricante necesario.

Pasos para el uso del software:

- Abrir archivo de Excel adjunto
- Paso # 1. Capturar el Diámetro Exterior del rodamiento, D en mm. Celda amarilla
- Paso # 2. Capturar el ancho del rodamiento, B en mm. Celda amarilla
- Paso # 3. El programa le indicará la cantidad de grasa a dosificar para la re-lubricación. Celda verde



CALCULO DE LA CANTIDAD NECESARIA PARA LA RE-LUBRICACION DE RODAMIENTOS		
Referencia de cálculo: Manual SKF		
 		
Diámetro exterior del rodamiento (D), en mm	125	
Ancho (Bore) del rodamiento (B), en mm	24	
Si la grasa es alimentada por la lateral (Referencia: Figura 1) entonces los gramos de grasa a dosificar (1 gr de grasa es aproximadamente un 1 cm3 y es igual a 1 bombazo manual)	15	
Si la grasa es alimentada directamente por el aro exterior o interior (Referencia: Figua 2), entonces dosificar:	6	
 <p><b>FIGURA 1</b></p>	<p>La cantidad adecuada de grasa para la re-lubricación desde el lateral de un rodamiento (Fig. 1) se obtiene mediante la fórmula: <math>Gp = 0.005 DB</math> y para la re-lubricación a través del aro exterior o interior (Fig. 2), con la fórmula: <math>Gp = 0.002 DA</math>. Donde: Gp = gramos de grasa, D = Diámetro exterior del rodamiento en mm y B = Anchura total del rodamiento (para los rodamientos axiales se debe usar la altura -H- en mm)</p>	 <p><b>FIGURA 2</b></p>
GRUPO TECHGNOSIS - LUBRICACION DE PRECISION		

Tabla 3. Hoja de cálculo para cantidad de grasa en re-lubricación

#### 7.4. CALCULO DE FRECUENCIA DE RELUBRICACION DE RODAMIENTOS

SKF proporciona directrices específicas para el cálculo de frecuencia de re-lubricación, asegurando así su óptimo rendimiento y prolongando la vida útil. De acuerdo con SKF, más del 50% de las fallas en rodamientos se deben a una lubricación incorrecta y a la contaminación del lubricante. Igualmente, FAG menciona que más del 50% de todas las fallas de los rodamientos se deben a una lubricación inadecuada.

Este cálculo se basa en la fórmula estándar que considera diversos factores operativos.

$$T = K \left[ \left( \frac{14,000,000}{n * \sqrt{d}} \right) - 4 * d \right] * FD$$

Donde:

T: Frecuencia de re-lubricación en horas de operación

K: Producto de todos los factores de corrección (ajuste) = FT x FC x FM x FV x FP x FD

n: Velocidad del rodamiento en RPM

d: Diámetro interior (en mm)

##### 7.4.1. Factores de corrección

Factor por temperatura (FT)

- Entre 38 y 65°C: 0.9
- Entre 66 y 80°C: 0.5
- Entre 81 y 93°C: 0.2
- Sobre 94°C: 0.1

Factor por contaminación (FC)

- Baja, partículas no abrasivas: 0.9
- Alta, partículas no abrasivas: 0.6
- Baja partículas abrasivas (polvo, tierra, etc.): 0.3
- Alta, partículas abrasivas: 0.1

#### Factor de humedad (Fm)

- Por debajo del 80%: 0.9
- Entre 80 y 90%: 0.7
- Condensación ocasional: 0.4
- Presencia de agua en el alojamiento del rodamiento: 0.1

#### Factor por vibraciones y/o cargas de choque (FV) (IPS: PLG/SEG. 0.2 IPS= 5mm/seg)

- Menos de 2 IPS – moderada: 0.9
- De 0.2 a 0.4 IPS – alta: 0.6
- Por arriba de 0.4 IPS - muy alta: 0.3

#### Factor por posición (FP)

- Horizontal: 1
- Angulo 45°: 0.7
- Vertical: 0.5

#### Factor de diseño de rodamiento (FD)

- Rodamientos radiales de bola: 10
- Rodamientos de rodillo cilíndricos o de aguja: 5
- Rodamiento de rodillos esféricos, cónicos o de empuje: 1

Usando la hoja de cálculo para la cantidad de grasa y la frecuencia de lubricación podemos llegar a resultados exactos, los cuales podemos contrastar con los del fabricante, como también obtener datos donde no hay historial de lubricación.

## Hoja de calculo

GESTIÓN DE LUBRICACIÓN CON GRASA PARA SOPORTES O CHUMACERAS: CÁLCULO DE FRECUENCIA DE LUBRICACIÓN Y CANTIDAD DE LUBRICANTE Según Norma - DIN 51825 Parte 2			
<b>INSTRUCCIONES:</b>			
Si la celda es de este color, escoja la opción desplegable			
Si la Celda es de este color, escriba el valor que corresponda a su caso			
<b>PASO 1</b>			
Ingrese datos de operación		Valores	
Velocidad de Rotación en RPM	1500 RPM		
Diámetro del Eje (mm)	100 mm		
<b>PASO 2</b>			
Paso 2: Aplique variables de operación			
Factor	Descripción	Rango de operación promedio	Factor Corrección
F <sub>T</sub>	Temperatura	60 °C	1,0
F <sub>C</sub>	Contaminación Solida	Polvo no abrasivo, Severa	0,7
F <sub>H</sub>	Humedad	Entre 80% y 90%	0,7
F <sub>V</sub>	Vibración	Velocidad Peak < 5,08 mm/s	1,0
F <sub>P</sub>	Posición del Eje	Horizontal	1,0
F <sub>R</sub>	Tipo de Rodamiento	Rodillos cónicos/esféricos	1,0
K	0,49	Factor de Corrección	
<b>RESULTADOS</b>			
<b>Frecuencia</b>			
Resultados			
Intervalo de Relubricación (horas)	261 hr		
Intervalo de Relubricación (Días)	11 días		
Intervalo de Relubricación (Meses)	0,4 meses		
<b>Cantidad</b>			
<b>PASO 3</b>			
Diámetro exterior Rodamiento D (mm)	110 mm		
Ancho del Rodamiento B (mm)	50 mm		
Cantidad			
Lubricación por el Centro	11 gr		
Lubricación por el lado	27,5 gr		

Fuente: [www.lealmecanica.com](http://www.lealmecanica.com)

Tabla 4. Calculo de frecuencia de lubricación y cantidad de lubricante según DIN-51825

### 7.4.2. Base de datos

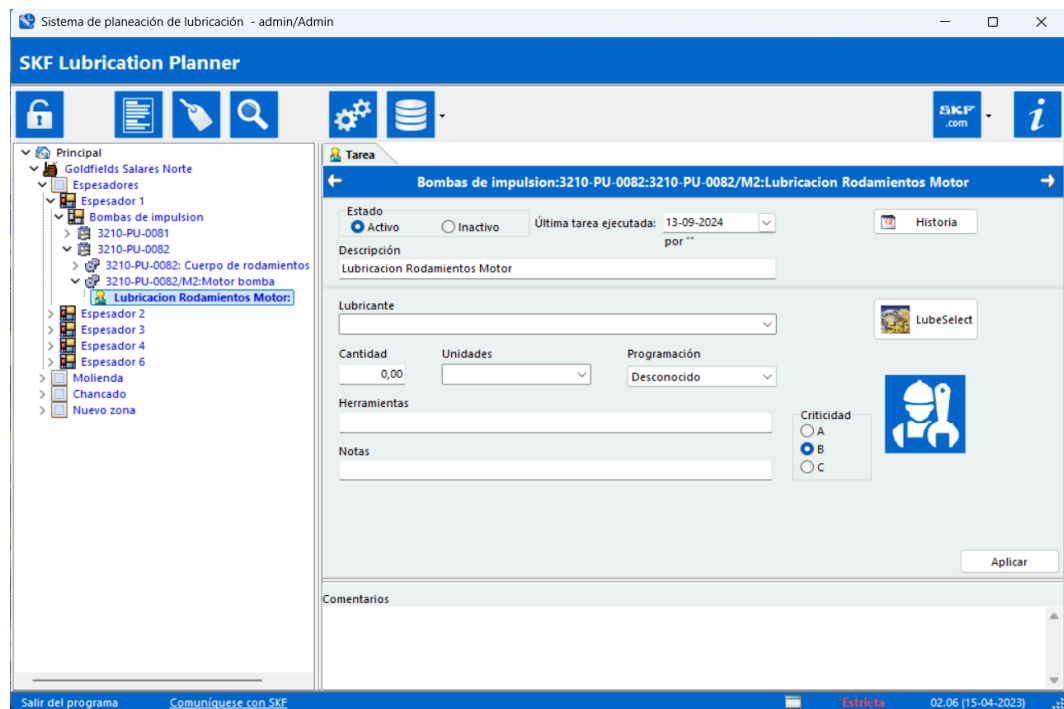
En base a hoja de cálculo, se realizó un macro para recolectar los resultados de los cálculos, así se podrá tener un archivo con todos los equipos a intervenir, para así complementarlo con SKF Lubrication planner. La aplicación SKF Lubrication Planner permite desarrollar, gestionar y realizar el seguimiento de un plan de lubricación adecuado que, en última instancia, ayuda a evitar paradas no planificadas de la máquina.

## 7.5. SKF Lubrication Planner

### 7.5.1. Descripción de la Herramienta

El **SKF Lubrication Planner** es una herramienta digital diseñada para ayudar a las empresas a planificar, gestionar y optimizar las tareas de lubricación de equipos industriales. Esta herramienta permite a los responsables de mantenimiento planificar rutas de lubricación, asignar tareas a los técnicos de mantenimiento y asegurar que cada equipo crítico reciba la lubricación adecuada en el momento correcto.

SKF Lubrication Planner se basa en las recomendaciones técnicas de SKF, un fabricante líder en rodamientos y soluciones de lubricación, lo que garantiza que las tareas planificadas sigan las mejores prácticas del sector. Además, esta herramienta facilita la creación de un historial detallado de las tareas de lubricación, permitiendo un monitoreo continuo y mejorando la trazabilidad de las actividades de mantenimiento.



Fuente: [www.SKF.com](http://www.SKF.com)

Figura 10. Programa SKF lubrication planner

### 7.5.2. Funciones Principales del SKF Lubrication Planner

El SKF Lubrication Planner ofrece una serie de funciones clave que lo hacen ideal para la gestión de la lubricación en plantas industriales:

1. **Planificación de Rutas de Lubricación:** Permite planificar las rutas de lubricación de manera eficiente, asignando las tareas de mantenimiento a los equipos críticos en función de su ubicación y frecuencia de lubricación. Esto asegura que los técnicos de mantenimiento cubran todos los puntos importantes durante sus rondas.
2. **Registro y Monitoreo de Tareas de Lubricación:** Cada tarea de lubricación puede ser registrada y monitoreada en la plataforma. Esto incluye información detallada sobre el equipo lubricado, la cantidad de lubricante utilizado, el tipo de lubricante y la fecha de la intervención. Este registro permite generar reportes precisos y analizar el historial de lubricación de cada equipo.
3. **Alertas y Recordatorios:** El sistema permite configurar alertas automáticas que notifican cuando un equipo necesita ser lubricado. Estas alertas son esenciales para evitar omisiones y asegurar que las tareas de lubricación se realicen a tiempo.
4. **Compatibilidad con Normas Internacionales:** El SKF Lubrication Planner sigue las mejores prácticas de la industria y puede personalizarse según las normativas internacionales de mantenimiento y lubricación, asegurando que las tareas planificadas estén alineadas con los requisitos operativos y legales.
5. **Informes y Análisis:** La herramienta facilita la generación de informes sobre el estado de lubricación de los equipos y el desempeño de las tareas de mantenimiento. Esto incluye análisis de indicadores clave de confiabilidad, como el **MTBF** y el **MTTR**, permitiendo evaluar el impacto de las actividades de lubricación en la disponibilidad de los equipos.

### 7.5.3. Beneficios de Implementar SKF Lubrication Planner en Goldfields Salares Norte

Para **Goldfields Salares Norte**, la implementación del SKF Lubrication Planner proporciona varios beneficios clave que mejorarán el rendimiento y la confiabilidad de los equipos de la planta procesadora de minerales:

- **Optimización de la Lubricación:** Al planificar y gestionar las tareas de lubricación de manera más precisa, la herramienta asegura que cada equipo crítico reciba la cantidad adecuada de lubricante en los intervalos recomendados. Esto reduce el riesgo de sobre lubricación o falta de lubricación, ambos de los cuales pueden causar fallos prematuros en los equipos.
- **Reducción de Fallos No Planificados:** Al seguir un programa de lubricación bien planificado y monitoreado, se espera una disminución en los fallos inesperados de los equipos debido a la fricción o el sobrecalentamiento. Esto se traduce en una mayor disponibilidad de los equipos y una reducción en los costos de reparación y tiempos de inactividad.
- **Mejora de la Trazabilidad:** El historial detallado de las tareas de lubricación permite un seguimiento claro y preciso de las intervenciones realizadas en cada equipo. Esto es especialmente útil para fines de auditoría, así como para ajustar el plan de lubricación en función de los datos recopilados.
- **Compatibilidad con SAP:** El SKF Lubrication Planner puede integrarse con **SAP**, el sistema de gestión de mantenimiento ya utilizado en la planta. Esto permite que la información sobre las tareas de lubricación se almacene y gestione en una plataforma centralizada, lo que facilita el análisis de datos y la toma de decisiones informadas.

## 7.6. Indicadores de Desempeño (KPIs) para la Evaluación del Plan

### 7.6.1. Definición de KPIs

Los KPIs (Key Performance Indicators) son métricas clave que se utilizan para evaluar el desempeño de los equipos y la efectividad de los planes de mantenimiento. En el contexto de un plan de lubricación, los KPIs permiten medir cómo las actividades de lubricación afectan la confiabilidad, disponibilidad y costos de los equipos. Estos indicadores proporcionan datos objetivos que permiten a los responsables de mantenimiento ajustar las estrategias de lubricación para mejorar los resultados a lo largo del tiempo.

#### 7.6.1.1. Principales KPIs Utilizados en el Plan de Lubricación

##### 7.6.1.1.1. MTBF (Mean Time Between Failures)

- Definición: El MTBF mide el tiempo promedio entre fallos de un equipo, es decir, el tiempo durante el cual un equipo puede operar de manera continua sin experimentar una falla. Este KPI es esencial para evaluar la confiabilidad de los equipos.
- Relevancia en el Plan de Lubricación: Un plan de lubricación bien ejecutado debería aumentar el MTBF de los equipos críticos, ya que la lubricación adecuada reduce el desgaste y la fricción, prolongando la vida útil de los componentes.
- Medición: Se calcula dividiendo el tiempo total de operación de un equipo entre el número de fallos ocurridos en ese periodo. Por ejemplo, si un equipo ha operado 1000 horas y ha fallado 5 veces, el MTBF será de 200 horas.

$$MTBF = \frac{\textit{Tiempo total disponible} - \textit{Tiempo de inactividad}}{\textit{Numero de paradas}}$$

#### 7.6.1.1.2. MTTR (Mean Time to Repair)

- Definición: El MTTR mide el tiempo promedio que se tarda en reparar un equipo después de una falla. Es un indicador de la eficiencia del equipo de mantenimiento en restaurar los equipos a su estado operativo.
- Relevancia en el Plan de Lubricación: Si bien la lubricación no impacta directamente en el MTTR, un buen plan de lubricación puede reducir la frecuencia de fallos (mejorando el MTBF), lo que a su vez reduce la necesidad de reparaciones frecuentes.
- Medición: Se calcula dividiendo el tiempo total de reparación por el número de fallos. Por ejemplo, si un equipo tardó 100 horas en ser reparado después de 10 fallos, el MTTR será de 10 horas.

$$MTTR = \frac{\textit{Tiempo total de mantenimiento}}{\textit{Numero de repaciones}}$$

#### 7.6.1.1.3. Cumplimiento del Plan de Lubricación

- Definición: Este KPI mide el porcentaje de tareas de lubricación completadas según lo planificado. Evalúa si las tareas de lubricación se están llevando a cabo de acuerdo con el cronograma establecido.
- Relevancia en el Plan de Lubricación: Un alto nivel de cumplimiento asegura que los equipos están recibiendo la lubricación necesaria en los intervalos adecuados. Un bajo cumplimiento puede aumentar el riesgo de fallos debido a una falta de mantenimiento preventivo.
- Medición: Se calcula dividiendo el número de tareas de lubricación completadas por el número total de tareas planificadas.

$$\%CPL = \frac{OTLR}{OTLP}$$

Términos del desglose de la ecuación anterior

- OTLR: Ordenes de trabajo en lubricación realizada

- OTLP: Ordenes de trabajo en lubricación programadas

#### 7.6.1.1.4. Cómo Evaluar el Impacto del Plan de Lubricación Usando KPIs

Los KPIs proporcionan una manera objetiva de medir el impacto del plan de lubricación en la operación de la planta. Una vez implementado el plan, se puede realizar un seguimiento de los KPIs en intervalos regulares (mensuales, trimestrales, anuales) para evaluar su efectividad. El proceso de evaluación puede incluir los siguientes pasos:

Recopilación de Datos: Utilizando herramientas como SAP PM y SKF Lubrication Planner, se recopilan datos sobre las tareas de lubricación realizadas, los fallos registrados y los tiempos de inactividad. Estos datos forman la base para calcular los KPIs.

Análisis de Tendencias: Los KPIs se analizan para identificar tendencias a lo largo del tiempo. Por ejemplo, un aumento en el MTBF o una disminución en la tasa de fallos son señales de que el plan de lubricación está teniendo un impacto positivo.

Comparación con Objetivos: Los KPIs se comparan con los objetivos establecidos al inicio del plan de lubricación. Si los KPIs muestran mejoras significativas, significa que el plan está logrando los resultados esperados. Si los KPIs no mejoran, es necesario realizar ajustes en el plan.

Optimización Continua: Los resultados de los KPIs permiten realizar ajustes en el plan de lubricación. Si ciertos equipos muestran una alta tasa de fallos, se pueden ajustar los intervalos de lubricación o revisar el tipo de lubricante utilizado. El objetivo es optimizar continuamente el plan para maximizar la confiabilidad de los equipos.

#### 7.6.1.1.5. Beneficios de Utilizar KPIs para la Evaluación del Plan

El uso de KPIs en la evaluación del plan de lubricación ofrece varios beneficios:

- **Medición Objetiva:** Los KPIs proporcionan datos objetivos y cuantificables sobre el desempeño de los equipos y la efectividad del plan de lubricación.

- Toma de Decisiones Informadas: Con los KPIs, los responsables de mantenimiento pueden tomar decisiones basadas en datos sobre cómo ajustar el plan para mejorar la confiabilidad de los equipos.
- Identificación de Áreas de Mejora: Los KPIs ayudan a identificar equipos o componentes que requieren una atención especial o que no están respondiendo de manera adecuada al plan de lubricación.
- Monitoreo Continuo: El seguimiento regular de los KPIs permite una optimización continua del plan de lubricación, asegurando que se mantenga su efectividad a lo largo del tiempo.

#### 7.6.1.1.6. Ajustes Según Condiciones de la Planta

- Para asegurar que los intervalos y cantidades se ajusten a las condiciones de la planta de Goldfields Salares Norte, se realizarán auditorías periódicas después de la implementación del plan. Esto permitirá ajustar los intervalos si se detectan cambios en las condiciones operativas (cargas de trabajo, temperatura ambiente, etc.).
- Se considerará el uso de sensores de condición (como análisis de vibraciones o temperatura) para ajustar automáticamente los intervalos de lubricación según el desgaste real del equipo.

#### 7.6.2. Monitoreo y Registro de las Tareas de Lubricación

##### 7.6.2.1. Registro de las Tareas en SAP

El registro detallado de todas las tareas de lubricación es esencial para mantener la trazabilidad y permitir la evaluación continua del plan de lubricación. Para esto, se implementará una integración entre SKF Lubrication Planner y SAP PM, lo que garantizará que todas las actividades de lubricación queden correctamente documentadas.

- Sistema de Registro:

- Las tareas de lubricación planificadas en SKF Lubrication Planner se vincularán con órdenes de trabajo en SAP, de manera que cada intervención quede registrada con la fecha, el equipo correspondiente, la cantidad de lubricante utilizada y el tipo de lubricante aplicado.
- Cada registro incluirá también detalles como el técnico responsable y cualquier observación relevante (como anomalías detectadas durante la lubricación).
- Uso de Códigos QR o Identificación del Equipo:
  - Para asegurar la trazabilidad, cada equipo crítico será identificado con un código QR o un número de identificación único. Esto permitirá a los técnicos de mantenimiento escanear el código con un dispositivo móvil o introducir el número en SAP para acceder al historial de lubricación y verificar si se ha cumplido con el plan programado.
- Notificaciones y Alertas:
  - SAP enviará notificaciones automáticas al equipo de mantenimiento cuando un equipo esté próximo a requerir una nueva lubricación, evitando que se omitan tareas importantes. Además, se generarán alertas si se detecta un retraso en la ejecución de alguna tarea de lubricación planificada.

#### 7.6.2.2. Evaluación de la Condición de los Equipos

El sistema de monitoreo también podrá incluir sensores de condición para mejorar la precisión en la planificación de las tareas de lubricación:

- Sensores de Vibración y Temperatura:
  - Se evaluará la posibilidad de instalar sensores en los equipos más críticos para medir parámetros como vibración o temperatura, lo que permitirá identificar cambios en el comportamiento de los equipos. Estos datos se

utilizarán para ajustar los intervalos de lubricación en función de las condiciones reales de operación.

- Monitoreo Predictivo:
  - Si los sensores indican un aumento en las vibraciones o temperaturas fuera de lo normal, el sistema podrá anticipar posibles fallos y sugerir una lubricación temprana para evitar daños a los componentes.

#### 7.6.2.3. Capacitación del Personal

##### 7.6.2.3.1. Programa de Capacitación

Un elemento clave para asegurar el éxito del plan de lubricación es la capacitación del personal de mantenimiento en el uso de las herramientas digitales y en los procedimientos de lubricación adecuados.

- Capacitación en el uso de SKF Lubrication Planner y SAP:
  - Se realizarán talleres de capacitación donde el personal aprenderá a utilizar SKF Lubrication Planner para programar las rutas de lubricación y registrar las intervenciones en SAP. Esto garantizará que todos los técnicos sepan cómo registrar correctamente las tareas de lubricación y acceder al historial de cada equipo.
- Capacitación Técnica en Lubricación:
  - Además, se ofrecerá capacitación técnica sobre los principios de lubricación, la selección adecuada de lubricantes según la Norma DIN 51825, y las mejores prácticas para aplicar el lubricante en diferentes tipos de equipos (rodamientos, motores, bombas, etc.).

##### 7.6.2.3.2. Roles y Responsabilidades

- Técnicos de Mantenimiento:
  - Los técnicos serán responsables de ejecutar las tareas de lubricación planificadas y de registrar cada intervención en SAP. También deberán

realizar inspecciones visuales y anotar cualquier anomalía durante la lubricación, lo que permitirá una evaluación más precisa de las condiciones del equipo.

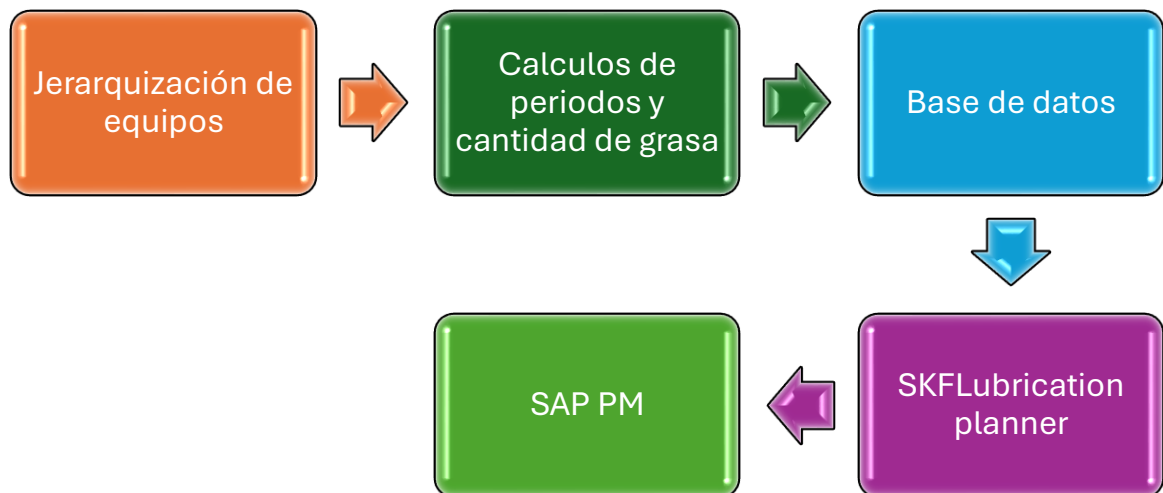
- Supervisores de Mantenimiento:
  - Los supervisores serán los responsables de revisar los registros de lubricación, verificar que todas las tareas se realicen dentro de los plazos establecidos y analizar los informes generados por SAP para asegurar que se mantenga la confiabilidad de los equipos.

**8. CAPÍTULO 3: EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA**

## 8.1. EVALUACION TÉCNICA Y ECONÓMICA

### 8.1.1. EVALUACIÓN TÉCNICA

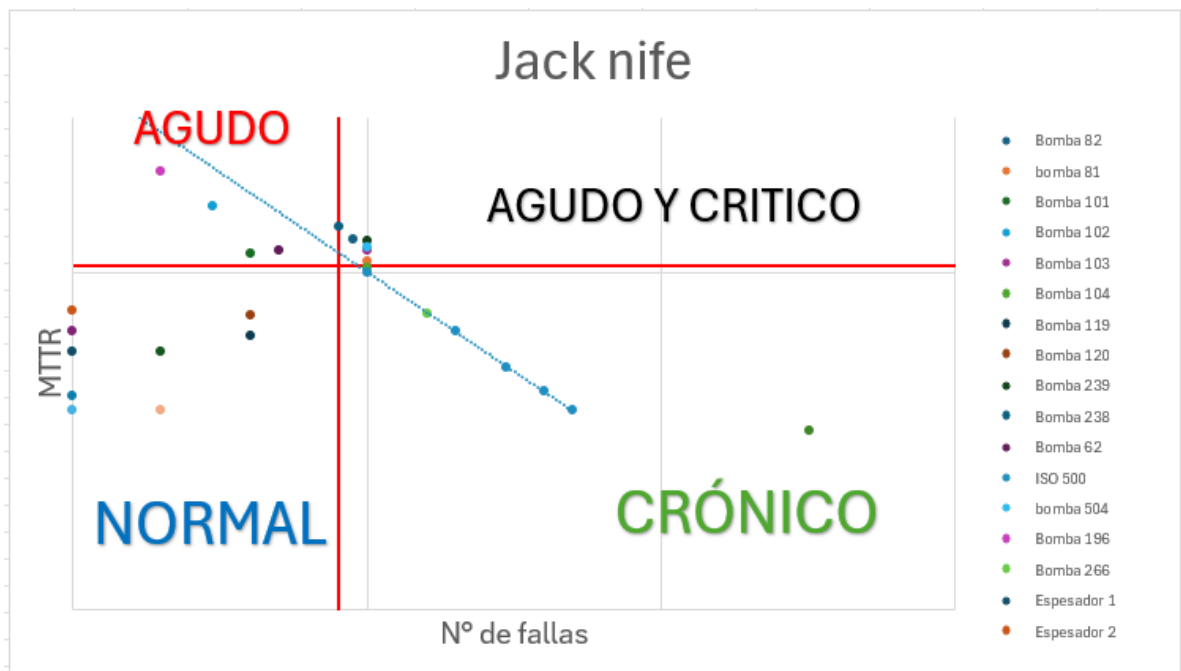
Para comenzar con la evaluación debemos conocer los pasos para el proceso de implementación del plan de lubricación.



### 8.1.1.1. JERARQUIZACIÓN DE EQUIPOS

Se procederá a la jerarquización de los equipos de planta mediante el uso de la metodología Jackknife. Este análisis permitirá identificar y priorizar los equipos críticos para el desarrollo del plan, utilizando una planilla previamente diseñada con los parámetros establecidos en la Figura 14.

Para este propósito, se elaboró una base de datos que incluye todos los equipos a evaluar, integrando métricas clave como el *Mean Time to Repair* (MTTR), el *Mean Time Between Failures* (MTBF) y la disponibilidad operativa. Estas métricas serán utilizadas en los cálculos de confiabilidad, proporcionando una base objetiva y técnica para el análisis y priorización de los activos.



Fuente: Excel calculo Jack nife planta goldfields

Gráfico 1. Jerarquización de equipos

Para este propósito, se elaboró una base de datos que incluye todos los equipos a evaluar, integrando métricas clave como el *Mean Time to Repair* (MTTR), el *Mean Time Between Failures* (MTBF) y la disponibilidad operativa. Estas métricas serán utilizadas en los cálculos de confiabilidad, proporcionando una base objetiva y técnica para el análisis y priorización de los activos.

TAG	Horas Totales de Funcionamiento	Nº de Intervenciones	Horas Totales de Reparación	MTTR (h)	MTBF (h)	Disponibilidad
Bomba 82	7246	9	657	73	805,1	91,69
bomba 81	3470	10	562	56	347,0	86,06
Bomba 101	6292	4	249	62	1573,0	96,19
Bomba 102	4954	3	320	107	1651,3	93,93
Bomba 103	4553	10	640	64	455,3	87,68
Bomba 104	3779	10	521	52	377,9	87,88
Bomba 119	3902	4	96	24	975,5	97,60
Bomba 120	3368	4	120	30	842,0	96,56
Bomba 239	5706	10	720	72	570,6	88,80
Bomba 238	2744	8	670	84	343,0	80,37
Bomba 62	1997	5	320	64	399,4	86,19
bomba 504	2307	10	670	67	230,7	77,49
Bomba 196	2330	2	320	160	1165,0	87,92
Bomba 266	1150	16	491	31	71,9	70,08
Espesador 1	7250	1	20	20	7250,0	99,72
Espesador 2	7350	1	32	32	7350,0	99,57
Espesador 3	7245	2	40	20	3622,5	99,45
Espesador 4	7356	1	12	12	7356,0	99,84
Espesador 6	7221	1	25	25	7221,0	99,65
Espesador 7	321	1	8	8	321,0	97,57
Molino Bolas	4820	1	10	10	4820,0	99,79
Molino SAG	4950	2	20	10	2475,0	99,60

Fuente: Excel calculo Jack nife planta goldfields

Tabla 5. Jerarquización de equipos

El análisis revela que los equipos clasificados como agudos y agudos críticos corresponden principalmente a bombas centrífugas de la línea de producción. Estos equipos presentan un alto índice de fallas relacionadas con deficiencias en el sistema de

lubricación. Adicionalmente, el *Mean Time to Repair* (MTTR) refleja el tiempo requerido para ejecutar las actividades de mantenimiento, el cual resulta elevado debido a la complejidad logística involucrada en la reparación de estos activos. Esta situación resalta la necesidad de optimizar los procesos de mantenimiento y gestión de repuestos para reducir los tiempos de inactividad.

### 8.1.1.2. PROPUESTA CALCULO DE PERIODO Y CANTIDAD DE GRASA MEDIANTE NORMA DIN-51825 PARTE 2

#### 8.1.1.2.1. PERIODO Y RE-LUBRICACIÓN

Para el cálculo del periodo se utilizará solo una planilla de las anteriores mencionadas, ya que esta nos da los resultados completos tanto para el periodo como para la cantidad de grasa.

GESTIÓN DE LUBRICACIÓN CON GRASA PARA SOPORTES O CHUMACERAS: CÁLCULO DE FRECUENCIA DE LUBRICACIÓN Y CANTIDAD DE LUBRICANTE Según Norma - DIN 51825			
<b>INSTRUCCIONES:</b>			
Si la celda es de este color, escoja la opción desplegable			
Si la Celda es de este color, escriba el valor que corresponda a su caso			
Fecha de Trabajo	02-01-2025		
Ingrese datos de operación	Valores		
TAG del equipo	3100-PU-0025		
Velocidad de Rotación en RPM	3000 RPM		
Diámetro del Eje (mm)	100 mm		
<b>PASO 2</b>			
Paso 2: Aplique variables de operación			
Factor	Descripción	Rango de operación promedio	Factor Corrección
F <sub>T</sub>	Temperatura	60 °C	1,0
F <sub>C</sub>	Contaminación Solida	Polvo no abrasivo, Severa	0,7
F <sub>H</sub>	Humedad	Entre 80% y 90%	0,7
F <sub>V</sub>	Vibración	Velocidad Peak < 5,08 mm/s	1,0
F <sub>P</sub>	Posición del Eje	Horizontal	1,0
F <sub>d</sub>	Tipo de Rodamiento	Rodillos cónicos/esféricos	1,0
K	0,49	Factor de Corrección	
<b>RESULTADOS</b>			
<b>Frecuencia</b>			
Resultados			
Intervalo de Relubricación (horas)	33 hr		
Intervalo de Relubricación (Días)	1 días		
Intervalo de Relubricación (Meses)	0,0 meses		
<b>Cantidad</b>			
PASO 3			
Diámetro exterior Rodamiento D (mm)	200 mm		
Ancho del Rodamiento B (mm)	150 mm		
Cantidad			
Lubricación por el Centro	60 gr		
Lubricación por el lado	150 gr		

Fuente: Excel calculo periodo lubricación y cantidad de grasa

Tabla 6. cálculos de lubricación

Paso 1: Se debe insertar la fecha de trabajo, luego tag del equipo, velocidad de funcionamiento y diámetro del eje (dato obtenido desde la nomenclatura del rodamiento).

Paso 2: Se debe seleccionar las condiciones que se presentan en terreno, las cuales está expuesto el equipo, en base a esto nos dará el resultado de nuestro intervalo de re-lubricación (horas, días, meses).

Paso 3: Se debe agregar el diámetro exterior del rodamiento y el ancho de este, para así obtener la cantidad de grasa para la re-lubricación, en el mismo Excel nos da la opción de la cantidad de grasa dependiendo del punto de lubricación, tanto para el centro como para los costados.

#### 8.1.1.2.2. CREACION DE BASE DE DATOS INICIAL

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1										
2				<b>Intervalos de lubricación</b>			<b>Cantidad de Grasa</b>			
3										
4										
5										
6										
7										
8										


Fuente: Excel calculo periodo lubricación y cantidad de grasa

Tabla 7. Base de datos inicial

Al presionar “guardar resultados”, se agregará de forma automática los datos obtenidos de los cálculos. Con esto se tiene un principio para la creación de una base de datos.

### 8.1.1.2.3. LLENADO INICAL

Para el llenado inicial se debe tener información del rodamiento a intervenir, ingresado los datos que nos pide la planilla de cálculo podremos obtener la cantidad de grasa a suministrar.

<b>Cálculo de Cantidad de Grasa para Llenado Inicial de Rodamientos</b>	
	
<b>Technotip 186</b>	
<b>Diámetro exterior del rodamiento, D en mm</b>	<b>125</b>
<b>Diámetro interior del rodamiento, d en mm</b>	<b>70</b>
<b>Ancho del rodamiento, B en mm</b>	<b>24</b>
<b>Peso del rodamiento, m en Kg</b>	<b>1,09</b>
<b>Velocidad de trabajo (n), RPM</b>	<b>3600</b>
<b>Velocidad límite (ng), RPM</b>	<b>8200</b>
<b>Espacio Vacío disponible, cm<sup>3</sup></b>	<b>62</b>
<b>Relación de Velocidad, n/ng</b>	<b>0,4</b>
<b>Si n/ng es menor o igual a 0.2 añadir estos gramos</b>	<b>62</b>
<b>Si n/ng es superior a 0.2 e inferior a 0.8 añadir estos gramos de</b>	<b>21</b>
<b>Si n/ng es superior a 0.8 añadir estos gramos de grasa</b>	<b>6</b>

Fuente: [www.grupo-techgnosis.com](http://www.grupo-techgnosis.com)

Tabla 8. Excel de llenado inicial

Paso 1: Insertar el Diámetro Exterior del rodamiento, D en mm.

Paso 2: Insertar el diámetro interior del rodamiento, d en mm.

Paso 3: Insertar el ancho del rodamiento, B en mm.

Paso 4: Insertar las RPM a las cuales trabajará el rodamiento.

Paso 5: Insertar la Velocidad Límite del Rodamiento.

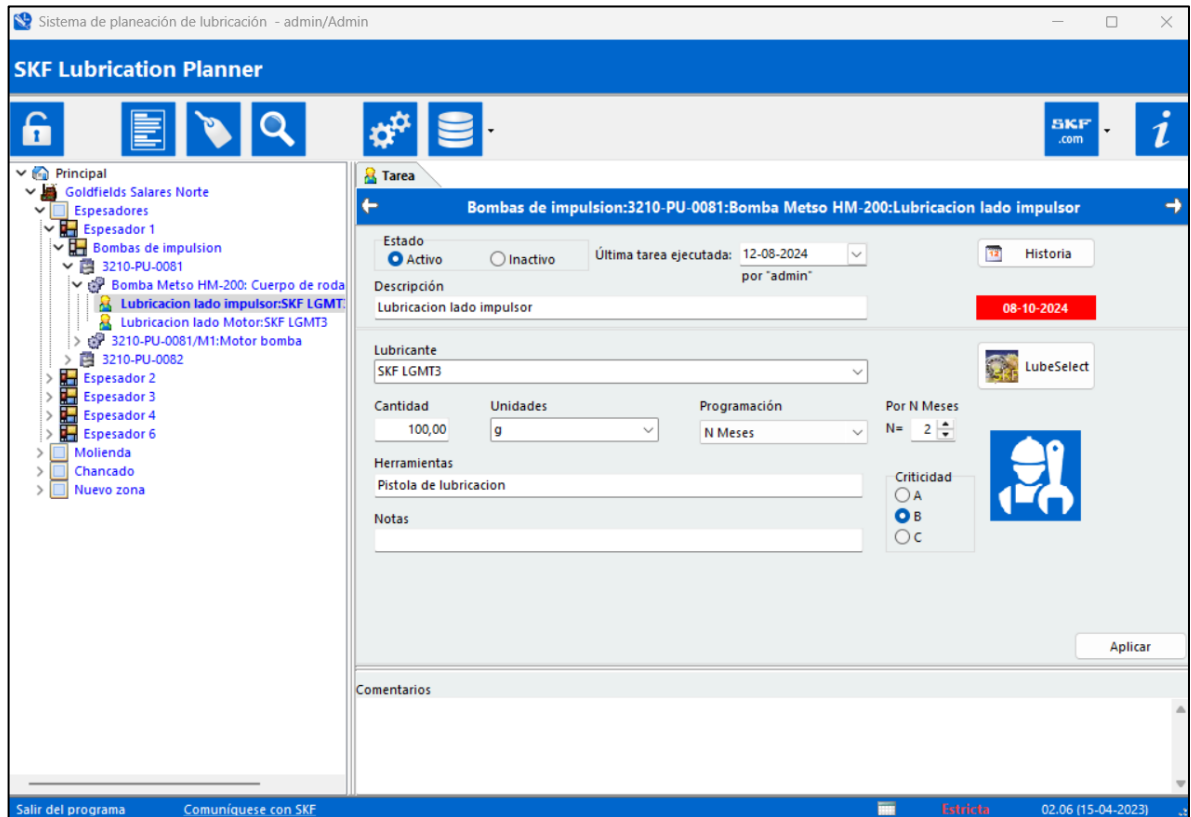
Paso 6: El programa le indicará el Espacio vacío disponible en cm<sup>3</sup>.

Paso 7: El programa le indicará la Relación de Velocidad, n/ng.

Paso 8: El programa le indicará la cantidad a dosificar en el llenado inicial de su rodamiento en gramos en función del valor n/ng que aparece en la Tabla de Cálculo.

### 8.1.1.3. SKF PLANNER LUBRICATION

Se propone utilizar software de planeación de SKF, el cual nos ayudara para organizar de mejor forma las plantas, equipos, sistemas y subsistemas, como también categorizar en ellos la cantidad de lubricante y periodos de lubricación.



Fuente: SKF lubrication planner

Figura 11. Menú de tareas

En la figura 18, se puede apreciar un árbol de distribución de la planta, donde se identifican plantas y equipos, también nos muestra la ventana de tarea, donde se define especificaciones de lubricación para el equipo seleccionado.

#### 8.1.1.4. INDICADORES PARA EVALUAR PLAN

Se propone utilizar 3 indicadores para medir la eficiencia del plan de lubricación basado en la norma DIN-51825 parte 2, los cuales nos darán resultados concretos del comportamiento de la metodología utilizada.

##### 8.1.1.4.1. MTBF (Mean Time Between Failures)

Con este indicador mediremos el tiempo promedio entre fallos de los equipos, es decir, el tiempo durante el cual un equipo puede operar de manera continua sin experimentar una falla.

Se calcula dividiendo el tiempo total de operación de un equipo entre el número de fallos ocurridos en ese periodo. Por ejemplo, si un equipo ha operado 1000 horas y ha fallado 5 veces, el MTBF será de 200 horas.

$$MTBF = \frac{\textit{Tiempo total disponible} - \textit{Tiempo de inactividad}}{\textit{Numero de paradas}}$$

##### 8.1.1.4.2. MTTR (Mean Time to Repair)

Usaremos el MTTR para medir el tiempo promedio que se tarda en reparar un equipo después de una falla. Es un indicador de la eficiencia del equipo de mantenimiento en restaurar los equipos a su estado operativo.

Si bien la lubricación no impacta directamente en el MTTR, un buen plan de lubricación puede reducir la frecuencia de fallos (mejorando el MTBF), lo que a su vez reduce la necesidad de reparaciones frecuentes.

Se calcula dividiendo el tiempo total de reparación por el número de fallos. Por ejemplo, si un equipo tardó 100 horas en ser reparado después de 10 fallos, el MTTR será de 10 horas.

$$MTTR = \frac{\textit{Tiempo total de mantenimiento}}{\textit{Numero de repaciones}}$$

#### 8.1.1.4.3. CUMPLIMIENTO DEL PLAN DE LUBRICACIÓN

Con este KPI mediremos el porcentaje de tareas de lubricación completadas según lo planificado. Evaluaremos si las tareas de lubricación se están llevando a cabo de acuerdo con el cronograma establecido.

Tiene una gran relevancia, ya que, asegura que los equipos están recibiendo la lubricación necesaria en los intervalos adecuados. Un bajo cumplimiento puede aumentar el riesgo de fallos debido a una falta de mantenimiento preventivo.

Se calcula dividiendo el número de tareas de lubricación completadas por el número total de tareas planificadas.

$$\%CPL = \frac{OTLR}{OTLP}$$

## 8.2. EVALUACIÓN ECONÓMICA

### 8.1.2. EVALUACIÓN EN BASE A LA TASA INTERNA DE RETORNO

Para la evaluación económica usaremos el cálculo de la tasa interna de retorno (TIR) de una inversión.

Primero se calcula el costo de falla acumulado, este costo esta tomado desde la semana 20 a la fecha.

#### 8.1.2.1. DATOS DE OBTENCIÓN DEL COSTO TOTAL DE FALLA ACUMULADA

Los siguientes datos nos dan lo principal para los cálculos correspondientes:

<b>Horas por turno</b>	<b>12</b>
<b>Onzas diarias</b>	<b>550</b>
<b>Valor onza</b>	<b>\$ 2.755.102</b>
<b>costo de mantenimiento metso</b>	<b>\$ 5.295.000</b>
<b>Costo mantenimiento BBA sumidero</b>	<b>\$ 5.690.000</b>
<b>Costo mantenimiento FLSmith</b>	<b>\$ 13.539.795</b>

<b>Costo produccion por turno</b>	<b>\$1.515.306.100</b>
<b>mano de obra</b>	<b>\$ 2.500.000</b>
<b>Dias trabajados</b>	<b>30</b>
<b>Valor hora mecanico</b>	<b>\$ 83.333</b>
<b>valor hora planta detenida</b>	<b>\$ 126.275.508</b>

*Fuente: Excel calculo costo planta goldfields*

Tabla 9. Datos para calculos

En base a lo anterior podemos obtener el costo total de la falla acumulada

Costo de falla acumulado (13 de mayo- a la fecha)							
Equipo	Nº de fallas por lubricacion	Total horas detencion planta/año	Nº de trebajadores /falla	Horas de intervencion promedio por falla	Valor Mantenimiento Externo total	Valor mano de obra promedio/falla	\$/año
Bomba bajo molino	1	12	5	8	\$ 13.539.795	\$ 83.333	\$ 1.532.179.228
Bomba espesadores	9	10	3	6	\$ 47.655.000	\$ 750.000	\$ 1.323.910.083
Bomba sumidero	6	0	3	8	\$ 81.238.770	\$ 500.000	\$ 93.238.770
<b>Total</b>							<b>\$ 2.949.328.082</b>

Fuente: Excel calculo costo planta goldfields

Tabla 10. Costo total por falla acumulada

Para la inversión se tuvieron en consideración una proyección del plan de un año, la cual nos da a conocer el valor total de la inversión para el año.

Se tiene en cuenta la cantidad de personal, equipos que se deben adquirir, y los insumos para el año del proyecto.

Personal	Sueldos	Cantidad/mes	Total/mes	Total/año
Ingeniro Mantenimiento industrial	\$ 4.000.000	2	\$ 8.000.000	\$ 96.000.000
Asesor de seguridad	\$ 2.000.000	2	\$ 4.000.000	\$ 48.000.000
Lubricador	\$ 2.000.000	4	\$ 8.000.000	\$ 96.000.000
Mecanico	\$ 2.000.000	4	\$ 8.000.000	\$ 96.000.000
Programador	\$ 2.300.000	2	\$ 4.600.000	\$ 55.200.000
planificador	\$ 2.300.000	1	\$ 2.300.000	\$ 27.600.000
Relator	\$ 2.000.000	2	\$ 4.000.000	\$ 48.000.000
				\$ 466.800.000
<b>Equipo</b>				
	valor	cantidad	total	
Pistola inalambrica de libricacion	\$ 389.000	4	\$ 1.556.000	
<b>Insumos / 16 KG</b>				
	valor	canidad/semstral	Total/semeste	Total/año
Mobilgrase XHP 221	\$ 120.000	3	\$ 360.000	\$ 720.000
Mobilgrase XHP 222	\$ 120.000	3	\$ 360.000	\$ 720.000
Mobilith SHC 100	\$ 550.000	3	\$ 1.650.000	\$ 3.300.000
Mobilith SHC 200	\$ 550.000	10	\$ 5.500.000	\$ 11.000.000
Unirex N 2	\$ 140.000	3	\$ 420.000	\$ 840.000
Mobilux EP 2	\$ 110.000	5	\$ 550.000	\$ 1.100.000
<b>Total</b>				\$ 17.680.000
			<b>Total proyecto</b>	<b>\$ 486.036.000</b>

Fuente: Excel calculo costo planta goldfields

Tabla 10. Proyección del plan a un año

### 8.1.2.2. TASA MÍNIMA DE RETORNO (TMR)

La tasa mínima de retorno (TMR) es el porcentaje mínimo de ganancia que un inversor está dispuesto a aceptar para financiar un proyecto.

Para el proyecto la tasa mínima de retorno de la empresa se establece en un 30%, lo cual es una tasa bastante buena para el proyecto.

La tasa de descuento del proyecto, si bien la empresa trabaja con un 30%, se debe establecer que existe un método para calcularla, CAMP o WACC

### 8.1.2.3. TASA INTERNA DE RETORNO DEL PROYECTO

En base a los datos obtenidos se puede realizar el cálculo correspondiente para obtener nuestro TIR del proyecto

$$TIR = \left( \frac{F}{I_0} - 1 \right) * 100$$

Donde:

F: Valor de ahorro/beneficio futuro

I<sub>0</sub>: Inversión que se hace ahora en el momento actual

Como los proyectos de mejora en la salud tribológica de los activos son de muy baja inversión y alto retorno, no deberían de exceder de 1 año, por lo cual se consideran fórmulas de cálculo considerando como máximo 1 año para la recuperación de la inversión.

Por lo que nuestro TIR para este proyecto es el siguiente:

$$TIR = \left( \frac{2.949.328.082}{486.036.000} - 1 \right) * 100$$

$$TIR = 532\%$$

Con este resultado, sabiendo que el TIR es mayor que el valor del TMR del 30%, nos dice que la inversión es viable y se recomienda la inversión.

#### 8.1.2.4. PERIODO DE PAGO DE LA INVERSIÓN (PPI)

Para complementar la evaluación económica, calcularemos el PPI, el PPI es el tiempo en el cual se recupera la inversión realizada y se expresa en unidades de tiempo:

$$PPI = \left( \frac{I_0}{F} \right) * 365$$

Donde  $I_0$  es la Inversión que se hace ahora en el momento actual y  $F$  es el valor del ahorro/beneficio futuro. Se multiplica por 365, porque la relación del ahorro es anual y así, al multiplicarla por 365 nos proporciona el número de días en los cuales se recupera la inversión.

##### 8.1.2.4.1. CRITERIOS FINANCIEROS DEL PPI

Si el PPI de un proyecto es igual o menor a 1 año debería de aceptarse el proyecto

NOTA: Como los proyectos de mejora en la salud tribológica de los activos son de muy baja inversión y alto retorno, no deberían de exceder de 1 año, por lo cual se consideran fórmulas de cálculo considerando como máximo 1 año para la recuperación de la inversión, teniéndose así, fórmulas de interés simple y no de interés compuesto, pues no son necesarias.

#### 8.1.2.4.2. PPI DEL PROYECTO

En base a la información obtenida nuestro periodo de pago de inversión del proyecto es el siguiente:

$$PPI = \left( \frac{486.036.000}{2.949.328.082} \right) * 365$$

$$PPI = 2 \text{ meses}$$

Como el PPI es menor a 1 año, se recomienda la inversión del proyecto.

#### 8.1.3. PROPUESTA DE MEJORA EN INDICADORES

Con base en los indicadores de MTBF, MTTR y disponibilidad registrados antes de la implementación del plan de lubricación basado en la norma DIN 51825, Parte 2, se estableció como objetivo optimizar dichos parámetros mediante una intervención estratégica.

TAG	Horas Totales de Funcionamiento	Nº de Intervenciones	Horas Totales de Reparación	MTTR (h)	MTBF (h)	Disponibilidad
Bomba 82	7246	9	657	73	805,1	91,69
bomba 81	3470	10	562	56	347,0	86,06
Bomba 101	6292	4	249	62	1573,0	96,19
Bomba 102	4954	3	320	107	1651,3	93,93
Bomba 103	4553	10	640	64	455,3	87,68
Bomba 104	3779	10	521	52	377,9	87,88
Bomba 119	3902	4	96	24	975,5	97,60
Bomba 120	3368	4	120	30	842,0	96,56
Bomba 239	5706	10	720	72	570,6	88,80
Bomba 238	2744	8	670	84	343,0	80,37
Bomba 62	1997	5	320	64	399,4	86,19
bomba 504	2307	10	670	67	230,7	77,49
Bomba 196	2330	2	320	160	1165,0	87,92
Bomba 266	1150	16	491	31	71,9	70,08
Espesador 1	7250	1	20	20	7250,0	99,72
Espesador 2	7350	1	32	32	7350,0	99,57
Espesador 3	7245	2	40	20	3622,5	99,45
Espesador 4	7356	1	12	12	7356,0	99,84
Espesador 6	7221	1	25	25	7221,0	99,65
Espesador 7	321	1	8	8	321,0	97,57
Molino Bolas	4820	1	10	10	4820,0	99,79
Molino SAG	4950	2	20	10	2475,0	99,60

Fuente: Excel calculo costo planta goldfields

Tabla 11. Propuesta mejora de indicadores

El objetivo principal del plan de lubricación es reducir tanto el número de intervenciones correctivas como las horas totales destinadas a las mismas. Esto permitirá disminuir significativamente el MTTR (Tiempo Promedio de Reparación) y, al mismo tiempo, incrementar el MTBF (Tiempo Promedio entre Fallas). Estos cambios contribuirán a una mejora en la confiabilidad operativa y la disponibilidad general de los equipos críticos en planta.

### 8.1.3.1. EXPLICACIÓN DE LA MEJORA DE INDICADORES

La mejora de los indicadores clave de rendimiento (MTTR, MTBF y disponibilidad) se sustenta en la propuesta de optimizar el sistema de lubricación de los equipos, alineándose con los estándares de la DIN 51825, parte 2. Este estándar establece requisitos específicos para las características de los lubricantes industriales, orientándose a mejorar su desempeño en equipos críticos,

Equipo	MTTR (h)	MTBF (h)	Disponibilidad Actual (%)	MTTR Mejorado (h)	MTBF Mejorado (h)	Disponibilidad Mejorada (%)
Bomba 82	73	805.1	91.69	51.1	1006.4	95.17
Bomba 81	66	347.0	86.06	46.2	433.8	90.37
Bomba 103	52	455.3	89.75	36.4	569.1	93.99
Bomba 120	120	842.0	87.54	84.0	1052.5	92.61
Bomba 238	120	842.0	87.54	84.0	1052.5	92.61
Bomba 266	71	751.9	91.35	49.7	939.9	94.98

*Fuente: Excel calculo mejora de indicadores planta goldfields*

Tabla 12. Mejora de indicadores

#### 8.1.3.1.1. IMPACTO DEL PLAN DE LUBRICACIÓN EN LOS INDICADORES:

##### 1. Reducción del MTTR (Mean Time to Repair):

- Efecto del plan:  
La correcta selección y aplicación de lubricantes bajo la norma DIN 51825 mejora la lubricidad y reduce el desgaste prematuro de componentes clave, como cojinetes, sellos y engranajes. Esto disminuye la frecuencia de fallas severas que requieren reparaciones complejas y prolongadas, permitiendo que los mantenimientos correctivos sean menos intensivos en tiempo.
- Resultado:  
Una reducción del MTTR, como la lograda en este análisis (hasta un 30%),

implica que los equipos vuelven a operar más rápidamente tras una intervención, minimizando los tiempos de inactividad.

## 2. Incremento del MTBF (Mean Time Between Failures):

- Efecto del plan:  
Un lubricante que cumple con la DIN 51825 garantiza propiedades avanzadas, como alta resistencia a la oxidación, estabilidad térmica y protección contra la corrosión, prolongando la vida útil de los componentes. Además, la implementación de un programa de análisis de aceite en línea con la norma permite detectar condiciones adversas antes de que se conviertan en fallas catastróficas.
- Resultado:  
Incrementos del MTBF de hasta un 25%, como en el caso analizado, reflejan una menor frecuencia de fallas, aumentando la confiabilidad del equipo.

## 3. Mejora de la disponibilidad:

- Efecto del plan:  
La disponibilidad muestra cómo las mejoras combinadas en MTTR y MTBF incrementan directamente el porcentaje de tiempo en el que los equipos están operativos. Una lubricación optimizada no solo reduce los tiempos de reparación, sino que también extiende los intervalos de mantenimiento preventivo y predictivo.
- Resultado:  
Equipos como la Bomba 82, cuyo MTTR y MTBF fueron ajustados, muestran incrementos de disponibilidad del 91.69% al 95.17%, evidenciando el impacto positivo de las estrategias implementadas.

El plan de lubricación basado en la DIN 51825, ofrece una solución integral para abordar las causas raíz de las fallas relacionadas con lubricación. Este enfoque no solo mejora la eficiencia operativa mediante la reducción de tiempos de inactividad, sino que también optimiza la gestión de costos asociados a mantenimientos correctivos y preventivos. La mejora simultánea del MTTR, MTBF y disponibilidad permite que los equipos críticos de la planta operen de manera más confiable y rentable, garantizando el cumplimiento de los objetivos de producción y extendiendo la vida útil de los activos.

## **9. CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES**

La implementación del plan de lubricación basado en la norma DIN-51825-Parte 2 SKF en Goldfields Salares Norte ha demostrado ser una solución técnica y económicamente viable para optimizar la confiabilidad y eficiencia de los equipos críticos en la planta. El análisis técnico identificó equipos con alta y muy alta criticidad, como las bombas bajo molino y bombas de espesadores, cuya tasa promedio de fallos alcanza las 4 por mes, generando costos operativos estimados en \$200,000 USD por hora de parada no planificada.

La integración de herramientas como SKF Lubrication Planner y SAP permitió establecer un sistema de gestión estructurado que mejora la trazabilidad y planificación de las tareas de lubricación. Se espera que este plan reduzca significativamente los indicadores actuales de fallas, aumentando el MTBF (Mean Time Between Failures) desde 607.9 horas actuales a más de 900 horas, mientras se reduce el MTTR (Mean Time to Repair) de 60 horas a menos de 40 horas mediante una gestión más eficiente del mantenimiento.

En términos económicos, el análisis de la Tasa Interna de Retorno (TIR) muestra un valor superior al 30%, con un periodo de recuperación de la inversión (PPI) inferior a un año. Esto reafirma la viabilidad financiera del proyecto, destacando su potencial para generar ahorros sustanciales al reducir los costos asociados a paradas no planificadas y fallas recurrentes.

En resumen, la implementación del plan no solo incrementará la disponibilidad operativa de los equipos críticos en un 5-10% durante los primeros seis meses, sino que también mejorará la sostenibilidad de las operaciones al optimizar el uso de lubricantes y prolongar la vida útil de los equipos.

### **RECOMENDACIONES**

Mejorar Indicadores Clave de Desempeño (KPIs):

Aumentar el MTBF a más de 900 horas mediante un monitoreo continuo y ajustes en la lubricación.

Reducir el MTTR a menos de 40 horas optimizando los procesos de reparación y acceso a piezas.

Incrementar el cumplimiento del plan de lubricación al 95% o más mediante auditorías regulares.

Ampliación de Recursos Humanos:

Incrementar el personal encargado de la lubricación, actualmente limitado a dos técnicos, para cubrir eficientemente todas las áreas críticas.

Incorporación de Tecnología Avanzada:

Instalar sensores para monitoreo en tiempo real de vibración y temperatura en equipos críticos, como bombas y transportadoras, reduciendo la probabilidad de fallas por condiciones no detectadas.

Optimización del Ciclo de Vida de los Equipos:

Aprovechar las herramientas digitales para registrar y analizar datos históricos de lubricación, lo que permitirá tomar decisiones informadas y extender la vida útil de los equipos en más del 20%.

Gestión Integral de Costos:

Mantener una base de datos centralizada con registros de lubricación y costos asociados, utilizando métricas como el ahorro generado frente a los costos previos de fallas recurrentes.

Capacitación del Personal:

Implementar programas de formación trimestral en el uso de SKF Lubrication Planner y SAP, así como en la correcta aplicación de lubricantes, asegurando la adherencia a la norma DIN-51825.

Planificación Preventiva y Predictiva:

Ampliar la integración de datos del SKF Lubrication Planner con SAP para optimizar la planificación preventiva y habilitar la predicción de fallas basadas en tendencias de condición de los equipos.

Replicabilidad del Proyecto:

Diseñar un modelo replicable para otras operaciones de Goldfields, adaptando el plan a condiciones específicas de cada planta y asegurando resultados equivalentes en términos de confiabilidad y ahorro.

Estas recomendaciones buscan consolidar los beneficios del plan y maximizar su impacto positivo en la operación, garantizando una transición exitosa hacia un modelo de mantenimiento más eficiente y sostenible.

## 10. BIBLIOGRAFÍA

1. SKF Group. *Lubrication Planner Software Documentation*. Recuperado de: [www.skf.com](http://www.skf.com)
2. DIN (Deutsches Institut für Normung e.V.). (2017). *DIN 51825: Lubricants - Lubricating Greases - Classification and Requirements*. Berlín, Alemania: DIN.
3. FLSmidth. *Technical Specifications for Slurry MAX XD Pumps*. Recuperado de: [www.flsmidth.com](http://www.flsmidth.com)
4. Metso Corporation. *Slurry Pumps - Technical and Operational Manuals*. Recuperado de: [www.metso.com](http://www.metso.com)
5. SAP SE. *SAP PM (Plant Maintenance) User Guide and Documentation*. Recuperado de: [www.sap.com](http://www.sap.com)
6. Gold Fields Limited. *Salares Norte Project Overview and Operational Guidelines*. Recuperado de: [www.goldfields.com](http://www.goldfields.com)
7. Grupo-Techgnosis. *Software para Cálculo de Llenado y Relubricación*. Recuperado de: [www.grupo-techgnosis.com](http://www.grupo-techgnosis.com)
8. Leal Mecánica. *Guía de Cálculo de Frecuencia de Lubricación*. Recuperado de: [www.lealmecanica.com](http://www.lealmecanica.com)
9. Ministerio de Minería, Chile. (2020). *Reporte Anual sobre Minería en Atacama y Condiciones Ambientales*. Santiago, Chile: Gobierno de Chile.
10. Gold Fields Salares Norte. *Registros Internos de Mantenimiento y Operación de Planta Procesadora*. Datos no publicados.
11. SKF Group. (2021). *Best Practices for Industrial Equipment Lubrication*. Gotemburgo, Suecia: SKF Publications.

## 11. ANEXOS

### Anexo 1: Fragmentos clave de la norma DIN 51825

Machine Translated by Google

Página 3  
DIN 51825:2004-06

ISO 2176:1995 Productos derivados del petróleo – Grasa lubricante – Determinación del punto de goteo  
ISO 3733:1999 Productos petrolíferos y materiales bituminosos – Determinación de agua – Método de destilación

ISO 11007:1997 Productos derivados del petróleo y lubricantes – Determinación de las características de prevención de la oxidación de las grasas lubricantes  
GIT-Arbeitsblatt 3 Wälzlagerschmierung (Lubricación de rodamientos \*)  
IP 186/93 Par de torsión a baja temperatura de la grasa lubricante \*\*)

### 3 Concepto

#### Grasa lubricante tipo K

Lubricante destinado a su utilización en cojinetes de rodadura, cojinetes lisos y guías de deslizamiento, compuesto por una mezcla de aceite mineral o sintético y un espesante. Puede contener también aditivos líquidos o sólidos.

### 4 Clasificación

Las grasas lubricantes tipo K se clasifican de la siguiente manera.

#### 4.1 Grasa lubricante tipo KP

La grasa lubricante que contiene aditivos antifricción y antidesgaste para un funcionamiento en el rango de fricción mixta o para aumentar la capacidad de carga y que cumple con los requisitos especificados en la norma DIN 51350-5 (véase la tabla 4) se denomina "grasa lubricante de tipo KP". Estas grasas se utilizan, por ejemplo, en rodamientos cuya carga equivalente 1), P, supera la capacidad de carga dinámica, C, en un 10 %.

#### 4.2 Grasa lubricante tipo KF

La grasa lubricante que contiene aditivos sólidos se denomina "grasa lubricante tipo KF".

#### 4.3 Grasa lubricante tipo KPF

La grasa lubricante que contiene aditivos antifricción y antidesgaste y aditivos sólidos se denomina "grasa lubricante tipo KPF".

#### 4.4 Grasa lubricante sintética tipo K

Para designar una grasa lubricante sintética, se añadirá el símbolo correspondiente que figura en la tabla 1 de DIN 51502.

### 5 Designación

La grasa lubricante se designará como se muestra en los siguientes ejemplos.

EJEMPLO 1:

Designación de una grasa lubricante tipo K de grado NLGI 1 (véase la tabla 1), destinada a ser utilizada a una temperatura máxima de 100 °C (K; véase la tabla 2) y una temperatura de funcionamiento inferior de -20 °C (-20; véase la tabla 3), conforme a esta norma:

**Grasa lubricante DIN 51825 – K 1 G –20**

EJEMPLO 2:

Designación de una grasa lubricante tipo K de grado NLGI 2 (véase la tabla 1), destinada a ser utilizada a una temperatura máxima de 120 °C como en la tabla 2 (K), y una temperatura de funcionamiento inferior de -30 °C, que se debe ensayar de acuerdo con el método IP 186/93 (-30 L; véase la tabla 3), conforme a esta norma:

**Grasa lubricante DIN 51825 – K 2 K –30 L**

\_\_\_\_\_  
Consulte la página 1 para \*).

\*\* Emitido por el Instituto del Petróleo; Puede obtenerse de Beuth Verlag GmbH, AuslandsNormen-Service (ANS), 10772 Berlin, Alemania.

1) Se debe prestar la debida atención a la información proporcionada por el fabricante del rodamiento.

*Fuente: Norma DIN 51825*

**Definición de la clasificación de grasas  
según la consistencia NLGI.**

## Anexo 2: Requerimientos DIN-51825

Page 4  
DIN 51825:2004-06

### 6 Requirements

Type K lubricating greases shall comply with the requirements specified in table 4. They shall be homogeneous, largely free of air and resistant to worked penetration. When supplied in packaging drums and stored under normal conditions, they shall exhibit no significant bleeding.

Assessment whether a lubricating grease complies with the specifications of this standard is to be based on DIN EN ISO 4259, except for the worked penetration as in ISO 2137 and the minimum operating temperature as in IP 186/93.

**Table 1: NLGI grades for lubricating greases**

NLGI grade (as in DIN 51818)	Worked penetration measured as in ISO 2137, expressed in 0,1 mm units
1	310 to 340
2	265 to 295
3	220 to 250
4	175 to 205

**Table 2: Code letters denoting the maximum operating temperature and the behaviour of lubricating greases in the presence of water**

Code letter as in DIN 51502	Maximum operating temperature, in °C (see table 4)	Behaviour in the presence of water Rating*) as in DIN 51807-1
C	+60	0-40 or 1-40
D		2-40 or 3-40
E	+80	0-40 or 1-40
F		2-40 or 3-40
G	+100	0-90 or 1-90
H		2-90 or 3-90
K	+120	0-90 or 1-90
M		2-90 or 3-90
N	+140	To be agreed
P	+160	To be agreed
R	+180	To be agreed
S	+200	To be agreed
T	+220	To be agreed
U	Above +240	To be agreed
*) As the first digit 0 denotes no change                      2 denotes a moderate change 1 denotes a minor change                3 denotes a major change		

Fuente: Norma DIN 51825

Tabla grado NGLI para grasas y tabla de temperatura máxima de funcionamiento y comportamiento de las grasas en presencia de agua

**Table 3: Symbols denoting the minimum operating temperature of lubricating greases**

Symbol (as in DIN 51502*)	Minimum operating temperature, in °C
-10	-10
-20	-20
-30	-30
-40	-40
-50	-50
-60	-60

\*) When tested in accordance with IP 186/93, the code letter L is to be added to the symbol (see example 2 in clause 5).