



Optimización de la cantidad de grasa utilizada en los cojinetes lisos en la Draga de extracción masiva No.3

Yefferson Andrés Baena George

Informe de práctica presentado para optar al título de Ingeniero Mecánico

Asesores

Sebastián Sarmiento Ruiz, Ingeniero mecánico

Junes Abdul Villarraga Ossa, PhD en ingeniería mecánica

Universidad de Antioquia

Facultad de ingeniería

Ingeniería mecánica

Medellín, Colombia

2023

Cita	(Baena George, 2023)
Referencia	(Baena George, 2023). <i>Optimización de la cantidad de grasa utilizada en los cojinetes lisos en la Draga de extracción masiva No.3</i> [Informe de práctica]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
Estilo APA 7 (2020)	



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Tabla de Contenido

Resumen	11
Abstract	12
Introducción	13
1 Planteamiento del problema	14
2 Objetivos	15
2.1 Objetivo general	15
2.2 Objetivos específicos.....	15
3 Marco teórico	15
3.1 Draga	15
3.2 Mecanismos generales.....	17
3.3 Tribología	20
3.3.1 Fricción	20
3.3.2 Desgaste	21
3.3.2.1 Tipos de desgaste	21
3.3.2.2 Problemas ocasionados por el desgaste	22
3.3.2.3 Formas de reducir el desgaste	22
3.3.3 Lubricación	23
3.3.3.1 Principios básicos de lubricación.....	24
3.4 Grasas lubricantes	24
3.5 Mezclas de grasa	27
3.6 Cojinetes lisos	28
3.6.1 Tipos de cojinetes lisos	29
3.6.2 Lubricación de cojinetes lisos.....	34

3.6.3 Métodos de lubricación por grasa	35
3.7 Optimización de la cantidad de grasa utilizada en los cojinetes lisos en la draga de extracción masiva No.3.	36
3.7.1 Consideraciones del estudio.....	37
3.7.2 Recopilación de datos de operación.....	61
3.7.2 Desarrollo de pruebas	63
4 Conclusiones	85
5 Referencias Bibliográficas	88

Lista de Tablas

Tabla 1.	
Valores de Kg para lubricación con grasa de cojinetes lisos radiales.	37
Tabla 2.	
Cantidad de cojinetes lisos.	37
Tabla 3.	
Ficha técnica grasa Petrobras Lith Ep (Petrobras, 2023).	40
Tabla 4.	
Chumacera eje intermedio derecho.	48
Tabla 5.	
Chumacera eje intermedio izquierdo.	48
Tabla 6.	
Chumacera tambor lado derecho.	49
Tabla 7.	
Chumacera tambor lado izquierdo.	49
Tabla 8.	
Chumacera eje intermedio derecho.	50
Tabla 9.	
Chumacera eje intermedio izquierdo.	50
Tabla 10.	
Chumacera tambor lado derecho.	51
Tabla 11.	
Chumacera tambor lado izquierdo.	51
Tabla 12.	
Chumacera rolo motriz norte.	52
Tabla 13.	
Chumacera rolo motriz sur.	52
Tabla 14.	
Chumacera rolo guía superior derecho norte.	53
Tabla 15.	
Chumacera rolo guía superior derecho sur.	53
Tabla 16.	
Chumacera rolo guía superior izquierdo norte.	54
Tabla 17.	
Chumacera rolo guía superior izquierdo sur.	54
Tabla 18.	
Chumacera rolo guía inferior derecho.	55
Tabla 19.	
Chumacera rolo guía inferior izquierdo.	55
Tabla 20.	
Chumacera rolo cónico izquierdo.	56
Tabla 21.	
Chumacera rolo cónico derecho.	56
Tabla 22.	
Transmisión principal lado derecho.	57

Tabla 23.	
Transmisión principal lado izquierdo.....	57
Tabla 24.	
Chumacera derecha tambor loco.	58
Tabla 25.	
Chumacera derecha tambor loco.	58
Tabla 26.	
Chumacera tabor lado izquierdo.	59
Tabla 27.	
Chumacera tabor lado derecho.	59
Tabla 28.	
Chumacera eje intermedio lado izquierdo.....	60
Tabla 29.	
Chumacera eje intermedio lado derecho.	60
Tabla 30.	
Chumacera caja de reducción.....	61
Tabla 31.	
Cantidad grasa aplicada malacates de proa derecho-izquierda.	62
Tabla 32.	
Cantidad grasa aplicada transmisión principal – tambor loco.....	62
Tabla 33.	
Cantidad grasa aplicada malacate de escala.	62
Tabla 34.	
Cantidad grasa aplicada criba giratoria.	63
Tabla 35.	
Comparación cantidad de grasa teórica vs operación malacate proa derecha.....	64
Tabla 36.	
Comparación cantidad de grasa teórica vs operación malacate proa izquierda.	64
Tabla 37.	
Comparación cantidad de grasa teórica vs operación transmisión principal.	64
Tabla 38.	
Comparación cantidad de grasa teórica vs operación tambor loco.	65
Tabla 39.	
Comparación cantidad de grasa teórica vs operación malacate de escala.....	65
Tabla 40.	
Comparación cantidad de grasa teórica vs operación criba giratoria.....	65
Tabla 41.	
Mediciones chumacera eje intermedio derecho.	67
Tabla 42.	
Mediciones chumacera eje intermedio izquierdo.....	67
Tabla 43.	
Mediciones tambor lado derecho.	68
Tabla 44.	
Chumacera tambor lado izquierdo.	68
Tabla 45.	
Chumacera eje intermedio derecho.	69

Tabla 46.	
Chumacera eje intermedio izquierdo.....	69
Tabla 47.	
Chumacera tambor lado derecho.....	70
Tabla 48.	
Chumacera tambor lado izquierdo.	70
Tabla 49.	
Chumacera rolo motriz sur.....	71
Tabla 50.	
Chumacera rolo motriz norte.....	71
Tabla 51.	
Medición chumacera rolo guía superior derecho norte.	72
Tabla 52.	
Medición chumacera rolo guía superior derecho sur.	72
Tabla 53.	
Medición chumacera rolo guía superior izquierdo norte.	73
Tabla 54.	
Mediciones chumacera rolo guía superior izquierdo sur.	73
Tabla 55.	
Mediciones chumacera rolo guía inferior derecho.....	74
Tabla 56.	
Mediciones chumacera rolo guía inferior izquierdo.	74
Tabla 57.	
Mediciones chumacera rolo cónico izquierdo.....	75
Tabla 58.	
Mediciones chumacera rolo cónico derecho.	75
Tabla 59.	
Mediciones transmisión principal lado derecho.....	76
Tabla 60.	
Mediciones transmisión principal lado izquierdo.	76
Tabla 61.	
Mediciones tambor loco chumacera derecha.	77
Tabla 62.	
Mediciones tambor loco chumacera izquierda.....	77
Tabla 63.	
Mediciones chumaceras malacate escala tambor.	78
Tabla 64.	
Mediciones chumaceras eje intermedio izquierdo – derecho.....	79
Tabla 65.	
Chumacera caja de reducción.....	79
Tabla 66.	
Diferencia entre valores teóricos y cartas de lubricación malacate proa derecha.	80
Tabla 67.	
Diferencia entre valores teóricos y cartas de lubricación malacate proa derecha.	80
Tabla 68.	
Diferencia entre valores teóricos y cartas de lubricación criba giratoria.	81

Tabla 69.	
Diferencia entre valores teóricos y cartas de lubricación transmisión principal.....	81
Tabla 70.	
Diferencia entre valores teóricos y cartas de lubricación tambor loco.	81
Tabla 71.	
Diferencia entre valores teóricos y cartas de lubricación malacate escala.....	82
Tabla 72.	
Ahorro anual proyectado malacate proa derecho.	83
Tabla 73.	
Ahorro anual proyectado malacate proa izquierdo.	83
Tabla 74.	
Cantidad en gramos ahorro anual proyectado criba giratoria.	83
Tabla 75.	
Cantidad en gramos ahorro anual proyectado criba giratoria.	84
Tabla 76.	
Ahorro total proyectado.	84

Lista de Figuras

Ilustración 1. Draga de Succión (Dredging Today, 2017).	16
Ilustración 2. Draga de cucharas (Dredging Today, 2017).	17
Ilustración 3. Malacates.....	18
Ilustración 4. Criba giratoria.	19
Ilustración 5. Clasificación de cojinetes (Albarracin Aguillón, 2019).....	29
Ilustración 6. Especificaciones de grasa lubricante Akron (AKRON, 2023).....	39
Ilustración 7. Especificaciones de grasa tributo argentina (Tribuno, 2023).....	39
Ilustración 8. Ficha lubricación criba giratoria (Mineros Aluvial SAS, 2023).	41
Ilustración 9. Ficha de lubricación, anillo inferior criba giratoria (Mineros Aluvial SAS, 2023).	42
Ilustración 10. Ficha de lubricación malacate de escala (Mineros Aluvial SAS, 2023).	43
Ilustración 11. Ficha de lubricación transmisión principal (Mineros Aluvial SAS, 2023).	44
Ilustración 12. Ficha de lubricación tambor loco (Mineros Aluvial SAS, 2023).....	45
Ilustración 13. Ficha de lubricación malacate de proa derecho (Mineros Aluvial SAS, 2023).	46
Ilustración 14. Ficha de lubricación malacate de proa izquierdo (Mineros Aluvial SAS, 2023).....	47
Ilustración 15. Valor estándar de la caneca de grasa, en la empresa (Mineros Aluvial SAS, 2023).	84

Resumen

Un cojinete liso es un dispositivo que facilita el movimiento relativo entre dos partes, generalmente limitando ese movimiento a un tipo específico, como rotación o deslizamiento lineal. Estos cojinetes operan sin elementos rodantes y tienen una superficie lisa que se desliza sobre otra. Los cojinetes lisos están comúnmente hechos de materiales resistentes al desgaste. A menudo están impregnados o revestidos con lubricantes para minimizar la fricción y prolongar su vida útil.

La principal función de la grasa es formar una película entre las superficies en contacto, minimizando la fricción directa entre ellas y, por ende, reduciendo el desgaste y previniendo el fallo prematuro del cojinete. Aunque los cojinetes lisos no generan tanto calor como otros tipos debido a su baja fricción, la lubricación ayuda a distribuir y eliminar el calor generado durante la operación. Esta lubricación también proporciona una cierta capacidad de amortiguación, ayudando a absorber pequeños impactos o vibraciones y protegiendo al cojinete.

Son 6 mecanismos: malacate de proa derecho, malacate de proa izquierdo, malacate de escala, criba giratoria, tambor loco, transmisión principal; y 27 cojinetes lisos con los que se realizará el proyecto.

Este trabajo tiene como finalidad calcular las cantidades de grasa teóricas necesarias para cada cojinete liso, recopilar información de cantidades de lubricación aplicadas por el personal encargado y comparar los valores obtenidos con las cartas de lubricación.

Palabras clave: optimización, lubricación, cojinetes lisos, ahorro, grasa.

Abstract

A plain bearing is a device that allows relative movement between two parts, usually limiting that movement to rotation or linear sliding. These bearings operate without rolling elements and have a smooth surface that slides over each other. Plain bearings are commonly made of wear-resistant materials. They are often impregnated with lubricants to minimize friction and extend their lifespan.

The main function of the grease is to form a layer between the contacting surfaces, minimizing direct friction between them and thus reducing wear and preventing premature bearing failure. Although plain bearings do not generate as much heat as other types due to their low friction, lubrication helps to distribute and remove heat generated during operation. This lubrication also provides a certain damping capacity, helping to absorb small impacts or vibrations and protecting the bearing.

There are six mechanisms: right bow winch, left bow winch, ladder winch, rotating sieve, mechanical drum, main transmission; and 27 plain bearings that will be used in the project.

The purpose of this report is to calculate the theoretical amounts of grease needed for each plain bearing, collect information on lubrication quantities applied by the responsible personnel, and compare the obtained values with lubrication charts.

Keywords: optimization, lubrication, plain bearings, savings, grease.

Introducción

Mineros Aluvial SAS es una empresa de exploración, preparación y explotación de metales preciosos, especialmente el oro. La empresa cuenta con más de 48 años de experiencia en minería en el territorio nacional, además cuenta con presencia en otros 2 países. Los países en los cuales desarrollan sus actividades adicionales son Nicaragua, en el cual se realiza exploración y explotación, mientras que en Chile solo se realiza exploración. En Colombia, las operaciones mineras se realizan en el municipio del Bagre, Bajo cauca perteneciente al departamento de Antioquía y en el municipio de Anorí, Antioquía donde se encuentran dos pequeñas centrales hidroeléctricas las cuales proveen la energía eléctrica necesaria para llevar a cabo las operaciones de minería aluvial. La operación Aluvial en Mineros Aluvial SAS se realiza en tres fases: la fase de exploración, preparación y la fase de explotación, estas actividades se realizan con el apoyo de dragas de succión, dragas de cucharas y maquinaria pesada (Mineros Aluvial SAS, 2023).

Una draga es un equipo que puede estar instalado en una embarcación o tierra firme, que se utiliza para excavar material debajo del nivel del agua, y luego elevarlo hasta la superficie, en la aplicación de mineros aluvial SAS el equipo está sobre una embarcación. Las dragas de succión son utilizadas en la fase de preparación, en esta etapa se extrae suelo (capa vegetal) hasta aproximadamente 18 metros de profundidad y se bombea hacia la superficie para formar rellenos hidráulicos. Comúnmente esta fase contiene bajos contenidos de oro por lo que la empresa descarta el proceso de extracción en estas capas. Las dragas de cucharas son las dragas de explotación masiva en las cuales se extrae gravas, arcillas y arenas con contenidos de oro considerables, desde los 18 hasta los 27 metros aproximadamente, las cuales son beneficiadas al interior de la draga a través de procesos gravimétricos de peso y tamizaje de tamaño, sin la utilización de mercurio o algún agente químico contaminante. El material no aprovechable es utilizado para la elaboración de cargueros y rellenos hidráulicos sobre los cuales se dará el restablecimiento de nuevos ecosistemas. El equipo de maquinaria pesada (preparación) es utilizado para apoyar las labores en la operación aluvial, entre otras actividades están: Creación de agujeros para amarrar cables de proa de las dragas de cucharas, movimiento de materiales, creación de jarillones y levantamiento de postes de energía. El presente documento se centrará en la optimización de la cantidad de grasa utilizada en los cojinetes lisos de la draga de cuchara No.3 de extracción masiva (Mineros Aluvial SAS, 2023).

1 Planteamiento del problema

En la industria de la minería aluvial, la eficiencia operativa y la confiabilidad de las máquinas utilizadas desempeñan un papel fundamental en la obtención de recursos minerales de manera rentable y sostenible. Entre los componentes cruciales de las dragas de cuchara, que son ampliamente empleadas en este tipo de minería, se encuentran los cojinetes lisos. Estos cojinetes, que facilitan el movimiento de las partes rotativas de la maquinaria, requieren una lubricación adecuada para garantizar su funcionamiento óptimo y prolongar su vida útil. La optimización de la cantidad de grasa utilizada en estos cojinetes lisos se ha convertido en un desafío esencial para la industria, ya que busca equilibrar la reducción de costos operativos con la necesidad de mantener la integridad de los equipos. La aplicación insuficiente de grasa puede resultar en un desgaste prematuro y fallos costosos, mientras que el exceso de grasa puede generar un aumento innecesario de los gastos y contribuir a la contaminación ambiental.

Este trabajo tiene como objetivo abordar este dilema crítico al explorar a fondo las prácticas de lubricación en las dragas de cuchara utilizadas en la minería aluvial y proponer estrategias efectivas para optimizar la cantidad de grasa en los cojinetes lisos. A través de la investigación, el análisis de datos y la experimentación, se busca no solo mejorar la eficiencia operativa de estas máquinas, sino también reducir su impacto ambiental al minimizar el desperdicio de recursos. En el siguiente texto, se presenta un resumen de la importancia de este problema, los objetivos de la investigación, la metodología utilizada y la estructura general de esta tesis, que se centrará en proporcionar soluciones prácticas y teóricamente respaldadas para una lubricación eficiente en las dragas de cuchara utilizadas en la minería aluvial.

2 Objetivos

2.1 Objetivo general

Optimizar la cantidad de grasa en los cojinetes lisos (Bujes y chumaceras) de la draga de cuchara No3, con el fin de mejorar la eficiencia operativa, prolongar la vida útil del equipo y reducir costos asociados a mantenimientos y reparaciones.

2.2 Objetivos específicos

- Medir y registrar la cantidad actual de grasa utilizada en los cojinetes lisos durante operaciones regulares, estableciendo así un punto de referencia.
- Efectuar los cálculos teóricos de la cantidad de grasa que requiere cada tipo de cojinete según su aplicación y uso.
- Comparar las cantidades de grasa actual, teórica y cartas de lubricación establecidas.
- Implementar cantidades de grasas experimentales, partiendo de la fundamentación teórica, donde no se afecte el debido funcionamiento de los componentes.
- Evaluar los costos asociados a la implementación del nuevo protocolo.

3 Marco teórico

3.1 Draga

Una draga de extracción es una embarcación o un equipo móvil utilizado para excavar y extraer materiales del fondo del mar, de un río o de pozos, tales como arena, grava, lodo, arcilla, minerales y petróleo. Pueden ser utilizadas en una variedad de proyectos, como la construcción de diques, puertos, canales, represas y plataformas petrolíferas (Dredging Today, 2017).

Existen diferentes tipos de dragas de extracción, como las dragas de succión, las dragas de corte y las dragas de perforación, cada una con características y especificaciones diferentes, pero todas ellas tienen en común su capacidad de movilizar y extraer grandes cantidades de materiales (Dredging Today, 2017). Mineros S.A. cuenta con dragas de succión o de preparación y dragas de cucharas o extracción masiva.

Una draga de preparación (Figura 1) es un tipo específico de draga que se utiliza para preparar el fondo de un río o pozo para la construcción de estructuras, tales como diques, puertos, canales y plataformas petrolíferas. El funcionamiento de una draga de preparación puede variar dependiendo del tipo específico, pero en general, utilizan una combinación de mecanismos de succión y corte para remover y nivelar el fondo del cuerpo de agua (Dredging Today, 2017).

Ilustración 1.

Draga de Succión (Dredging Today, 2017).



La draga de preparación opera mediante un sistema de succión que extrae el material desde el lecho del cuerpo de agua, trasladándolo por una tubería hasta un punto designado de descarga. Una vez allí, el material se deposita en una ubicación determinada o incluso en una embarcación. Además, algunas de estas dragas están equipadas con un mecanismo de corte que, mediante cuchillas o discos, fragmenta y extrae el material del fondo. Una vez cortado, este material es aspirado y conducido a su destino final a través de la tubería. La acción de preparar el lecho del cuerpo de agua puede realizarse de forma constante, con la draga desplazándose sin interrupciones por la zona designada, o de manera intermitente, deteniéndose en ciertas áreas para realizar la extracción (Dredging Today, 2017).

Una draga de cuchara, también referida como draga de extracción masiva (figura 2), se especializa en la remoción de vastas cantidades de material del lecho de un río, incluyendo elementos como arena, grava, lodo, arcilla y otros minerales. Su mecanismo central es una amplia

pala o cuchara que se emplea para desplazar y cargar el material, ya sea en una embarcación o en un vehículo de carga (Dredging Today, 2017).

Este tipo de draga presenta una cuchara montada en un brazo articulado que, gracias a su diseño, permite ajustar su inclinación y orientación con base en las características del lecho del río o lago. Gracias a motores hidráulicos, el brazo se desplaza, mientras un operador desde su puesto de mando controla la acción de la cuchara. En acción, esta se sumerge al lecho del cuerpo de agua, capturando y almacenando el material. Una vez llena, se eleva y descarga su contenido, ya sea en una embarcación o vehículo cercano. Este procedimiento se realiza en ciclos hasta alcanzar la extracción requerida del material (Dredging Today, 2017).

Ilustración 2.

Draga de cucharas (Dredging Today, 2017).

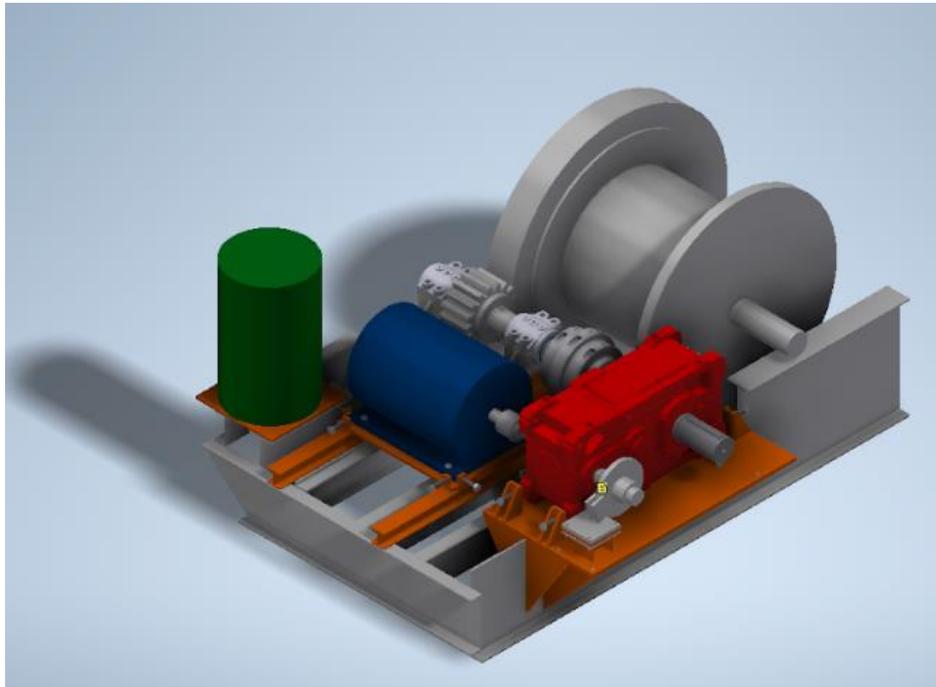


3.2 Mecanismos generales

Las dragas de cucharas son equipos que tienen muchos mecanismos para su funcionamiento, sin embargo, a rasgos generales se tienen mecanismos tales como: malacates de escala, malacates de proa, sistema de transmisión de potencia, cribas giratorias, entre muchos otros.

El malacate de escala en una draga de cuchara desempeña un papel crucial al controlar el movimiento vertical, esencialmente determinando el alcance y la profundidad de la cuchara durante las operaciones de dragado. Su principal función es permitir que la cuchara de la draga sea descendida al lecho del cuerpo de agua para recolectar material y, posteriormente, ser izada para depositar el contenido en un lugar designado. Dada la naturaleza del trabajo y el entorno operativo, el malacate de escala está construido para ser particularmente robusto y resistente, capaz de soportar las demandas de las operaciones de dragado. En dragas modernas, estos malacates son típicamente motorizados, lo que proporciona un control más preciso y eficiente sobre el movimiento de la cuchara. Esto no solo mejora la eficiencia del proceso de dragado, sino que también aumenta la seguridad al proporcionar un control más fiable del equipo. El malacate de proa controla el movimiento horizontal de la embarcación.

Ilustración 3.
Malacates.

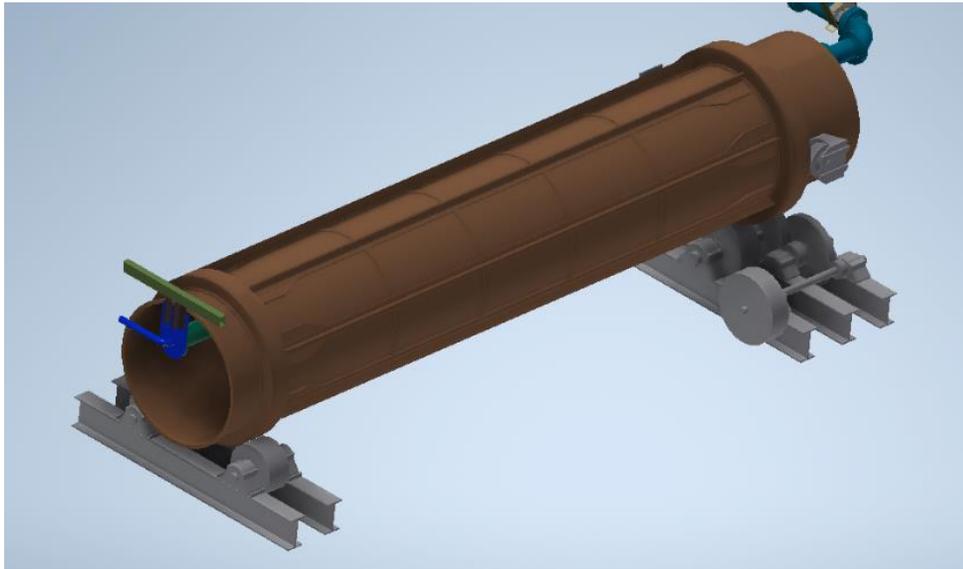


El sistema hidráulico de transmisión principal de una draga de cucharas desempeña una función crucial en su operación al permitir el movimiento y control de la línea de cuchara, facilitando la excavación, recolección y descarga del material. Este sistema se compone de dos bombas hidráulicas que convierte la energía mecánica del motor principal en energía hidráulica, generando un flujo de aceite a presión. A través de válvulas de control, se regula y dirige este flujo

a diferentes partes del sistema, lo que permite un movimiento controlado. Los motores hidráulicos, por su parte, transforman la energía hidráulica nuevamente en energía mecánica, mientras que los cilindros hidráulicos ayudan en la articulación y movimiento de componentes específicos de la draga, garantizando una operación fluida y precisa.

La criba giratoria, también conocida como tamiz rotativo o trommel, es un dispositivo de clasificación utilizado principalmente en la industria minera y de procesamiento de materiales. Funciona mediante la rotación de una malla o rejilla cilíndrica. Cuando el material se introduce en el tambor, esta gira y, gracias a la gravedad y a la inclinación del tambor, el material se desplaza a lo largo del mismo. Las partículas más pequeñas que el tamaño de las aberturas de la malla caen a través de ellas, mientras que las más grandes continúan su trayecto hasta el extremo opuesto del tambor, donde son descargadas. Esta operación permite la separación y clasificación de materiales según su tamaño. Es una herramienta esencial en muchas operaciones donde se necesita clasificar y separar materiales de manera eficiente. Además, su diseño puede variar dependiendo de las especificidades de cada aplicación, incluyendo el tamaño de las aberturas de la malla y la longitud y diámetro del tambor (Mineros Aluvial SAS, 2023).

Ilustración 4.
Criba giratoria.



3.3 Tribología

La tribología es la ciencia y estudio del rozamiento, el desgaste y la lubricación de las superficies en movimiento relativo. Es un campo interdisciplinario que abarca conceptos de física, química, ciencia de materiales e ingeniería. Su origen etimológico proviene del griego "tribos", que significa "frotar" o "rozamiento". La importancia de la tribología radica en su capacidad para optimizar sistemas mecánicos, mejorar la eficiencia energética, prolongar la vida útil de los equipos y reducir la posibilidad de fallos. Desde tiempos antiguos, la humanidad ha buscado formas de reducir el rozamiento en dispositivos como ejes y ruedas, utilizando diversos métodos de lubricación. Sin embargo, no fue sino hasta el siglo XX que la tribología fue reconocida formalmente como una disciplina científica especializada. Hoy en día, la tribología juega un papel crucial en numerosas industrias, desde la automotriz hasta la aeroespacial, y continúa siendo un área activa de investigación y desarrollo, buscando soluciones más eficientes y sostenibles para los desafíos relacionados con el contacto y el movimiento entre superficies (Albarracin Aguillón, 2019).

3.3.1 Fricción

Desde una perspectiva tribológica, la fricción no es solo una simple resistencia al movimiento entre dos superficies. Es el resultado de complejas interacciones a nivel microscópico que involucran fenómenos físicos y químicos. La tribología, al estudiar la fricción, no solo se enfoca en su medición y observación, sino en comprender los mecanismos subyacentes que la originan y cómo estos pueden ser modulados o controlados. En el ámbito tribológico, la fricción está intrínsecamente vinculada a otros dos fenómenos: el desgaste y la lubricación. El desgaste se refiere a la pérdida gradual de material de las superficies en contacto debido a la fricción, mientras que la lubricación busca reducir la fricción y el desgaste interponiendo un medio, generalmente líquido, entre las superficies en movimiento relativo. La comprensión tribológica de la fricción va más allá del simple hecho de que las superficies se resisten entre sí, explorando cómo las condiciones operativas, los materiales involucrados y la presencia de lubricantes o contaminantes pueden influir en el comportamiento friccional y en la eficiencia y longevidad de los sistemas mecánicos (Albarracin Aguillón, 2019).

3.3.2 Desgaste

Es consecuencia directa del rozamiento metal – metal entre dos superficies y se define como el deterioro sufrido por ellas a causa de la intensidad de la interacción de sus rugosidades superficiales. El desgaste puede llegar a ser crítico, haciendo que las piezas de una maquina pierdan sus tolerancias y queden inservibles, causando costosos daños y elevadas pérdidas de producción. Una de las funciones básicas que debe tener toda sustancia que se emplee como lubricante es la de reducir la fricción sólida y, por tanto, el desgaste a los valores más bajos posibles (Albarracín Aguillón, 2019).

3.3.2.1 Tipos de desgaste

En tribología, el desgaste se refiere a la pérdida gradual de material de una o ambas superficies en contacto cuando están en movimiento relativo. Esta pérdida puede ser causada por una variedad de mecanismos. Los principales tipos de desgaste en tribología incluyen:

- **Desgaste adhesivo:** Ocurre cuando hay contacto directo entre superficies y se forma una unión adhesiva. Las fuerzas de cizallamiento pueden hacer que fragmentos de una superficie se desprendan y se adhieran a la superficie opuesta. Es común en metales y se presenta cuando no hay una película lubricante adecuada entre las superficies en contacto.
- **Desgaste abrasivo:** Resulta de la acción de partículas duras o asperezas que penetran en la superficie más blanda y la rayan o desgastan. Puede ser causado por partículas entre las superficies (abrasivo de tres cuerpos) o por asperezas de una superficie más dura que penetra en una más blanda (abrasivo de dos cuerpos).
- **Desgaste corrosivo o químico:** Es causado por reacciones químicas entre la superficie y el medio ambiente, que pueden ser aceleradas por la presencia de lubricantes o contaminantes. Esta forma de desgaste está influenciada por factores como la temperatura, la humedad y la presencia de sustancias corrosivas.
- **Desgaste erosivo:** Es la pérdida de material de una superficie debido al impacto de partículas sólidas o líquidas. Suele ocurrir a altas velocidades y es común en sistemas como turbinas o tuberías donde fluidos con partículas en suspensión fluyen a alta velocidad.

- Desgaste por fatiga: Ocurre debido a la repetición de cargas o esfuerzos cíclicos, lo que lleva a la formación y propagación de grietas, resultando finalmente en el desprendimiento de partículas del material.
- Desgaste fretting: Se produce en contactos donde hay pequeños movimientos oscilatorios bajo carga. Aunque los movimientos son mínimos, pueden causar daño significativo y generar óxidos en la superficie.

Estos tipos de desgaste no son mutuamente excluyentes y, en muchos escenarios prácticos, varios tipos pueden ocurrir simultáneamente o en sucesión. La comprensión y control de estos mecanismos de desgaste son fundamentales en tribología para diseñar sistemas más duraderos y eficientes (Albarracin Aguillón, 2019).

3.3.2.2 Problemas ocasionados por el desgaste

- Mayor consumo de repuestos por aumento en las reparaciones y en el mantenimiento.
- Reducción en la producción por paros en la maquinaria
- Reducción vida útil de la maquinaria
- Posibilidad de accidentes ante el peligro de rotura de piezas al sobrepasar los límites permisibles de diseño.

3.3.2.3 Formas de reducir el desgaste

- Utilizando lubricantes más apropiados para las diferentes condiciones de operación.
- Frecuencia de lubricación adecuada, con el fin de determinar los cambios de aceite y los reengrases correctos.
- Buenos programas de mantenimiento preventivo, incluyendo principalmente la limpieza y/o el cambio de filtros de aire y aceite.
- No sometiendo los equipos a condiciones diferentes de diseño.

3.3.3 Lubricación

La lubricación no es simplemente el acto de reducir el rozamiento entre dos superficies; es una ciencia y una técnica dedicada a controlar y entender las interacciones entre superficies en movimiento relativo mediante la interposición de una sustancia, el lubricante. Esta disciplina busca optimizar el rendimiento y la vida útil de los sistemas mecánicos al minimizar el desgaste y la fricción (Albarracin Aguillón, 2019).

En tribología, se reconoce que la lubricación juega un papel crucial en la protección de las superficies, en la disipación del calor generado por el movimiento y en la reducción del desgaste y la corrosión. Además, a través de la lubricación, se puede reducir el ruido y las vibraciones en las máquinas. Existen diferentes regímenes de lubricación, y su eficacia está determinada por la película lubricante entre las superficies en contacto. Estos regímenes varían desde la lubricación hidrodinámica, donde existe una película completa de lubricante separando las superficies, hasta la lubricación límite, donde solo hay una capa molecular delgada de lubricante y las superficies están prácticamente en contacto (Albarracin Aguillón, 2019).

El estudio tribológico de la lubricación no solo se preocupa por el tipo de lubricante a utilizar, sino también por cómo se distribuye, cómo se mantiene a lo largo del tiempo y cómo interactúa con las superficies y el ambiente circundante. La selección adecuada y el uso correcto de un lubricante, basados en principios tribológicos, son esenciales para garantizar la eficiencia operativa y la durabilidad de cualquier sistema mecánico (Albarracin Aguillón, 2019).

La película lubricante debe poseer determinadas características como son adhesividad, viscosidad, espesor y aditivos. Es tan perjudicial una película delgada como una gruesa, porque en el primer caso, se puede dar lugar a contacto metálico y en la segunda se puede presentar generación de calor por exceso de fricción interna en la película lubricante, la fricción metal-metal causa el mayor desgaste; mientras que la fricción fluida lo reduce hasta tal punto que puede llegar casi a eliminarlo. La fricción fluida es un estado de fricción constituido por tres elementos, presentando uno de ellos propiedades líquidas. En toda máquina por complicada que parezca, solamente requerirán lubricación los siguientes elementos: Cojinetes lisos y rodamientos, cadenas, levas, guías, cremalleras, piñones, cilindros en los cuales deslizan émbolos (Albarracin Aguillón, 2019).

3.3.3.1 Principios básicos de lubricación

-De acuerdo con las condiciones de operación, cada máquina requiere una lubricación en particular.

-En una maquina pueden existir elementos físicamente iguales, pero que pueden estar sometidos a condiciones de operación diferentes, requiriéndose, por lo tanto, lubricantes que cumplan en cada caso específico.

-Los lubricantes seleccionados deben contar con las características fisicoquímicas necesarias para su correcto funcionamiento.

La lubricación es un proceso complejo influenciado por diversos factores. La viscosidad del lubricante es fundamental ya que determina cómo se forma una película entre las superficies en movimiento, protegiendo contra el desgaste y reduciendo la fricción. La temperatura también juega un papel crucial ya que puede alterar la viscosidad del lubricante. Los contaminantes, como partículas de suciedad y agua, pueden afectar la eficacia del lubricante al interferir con su función y potencialmente causar abrasión o corrosión. Por otro lado, la carga aplicada sobre las superficies en movimiento determinará la robustez requerida del lubricante y si se necesitan aditivos específicos. La velocidad de operación puede dictar la viscosidad necesaria del lubricante. La compatibilidad química es esencial para asegurarse de que el lubricante no reaccione adversamente con los materiales del equipo o con otros lubricantes presentes. Además, el tipo de movimiento ya sea oscilante, rotativo o lineal, influye en la elección del lubricante. Las condiciones ambientales, como la humedad o la exposición a productos químicos, pueden afectar la durabilidad y eficacia del lubricante. Los aditivos en el lubricante, diseñados para mejorar propiedades específicas, deben ser seleccionados adecuadamente para la aplicación específica. Por último, el intervalo de re-lubricación, o la frecuencia con la que se reemplaza o se añade lubricante, es vital para mantener una lubricación efectiva (Albarracin Aguillón, 2019).

3.4 Grasas lubricantes

La grasa ya sea mineral, sintética o vegetal, es un lubricante que garantiza la misma calidad de lubricación de un aceite, y en muchos casos es imprescindible su utilización. Una grasa es un producto que puede ir desde solido hasta semifluido y se obtiene por la dispersión de un agente

espesante (jabón metálico) en un líquido lubricante (aceite base) (Albarracin Aguillón, 2019). La composición de la grasa se puede definir como:

$$\text{Grasa} = \text{Base lubricante} + \text{Aditivos} + \text{Agente espesante}$$

La grasa es una sustancia semisólida a base de aceite utilizada principalmente como lubricante en diversas aplicaciones industriales y mecánicas. A nivel más detallado, la grasa es una dispersión de un espesante (un agente que proporciona la consistencia semisólida) en un fluido lubricante, que suele ser un aceite mineral o sintético. Además, las grasas a menudo contienen aditivos que mejoran sus propiedades, como antioxidantes, anti-desgaste, extrema presión, entre otros (Albarracin Aguillón, 2019). En la composición y características de la grasa:

Aceite Base

Este es el principal componente lubricante de la grasa. Puede ser un aceite mineral derivado del petróleo o un aceite sintético diseñado en laboratorio. El tipo y viscosidad del aceite base determinará en gran medida las propiedades lubricantes de la grasa (Albarracin Aguillón, 2019).

Espesantes

Son agentes que, cuando se mezclan con el aceite base, crean una estructura semisólida. Los espesantes más comunes incluyen jabones metálicos (como los de litio, calcio o aluminio) y no jabonosos. La naturaleza y la concentración del espesante determinan la consistencia de la grasa y su comportamiento a diferentes temperaturas (Albarracin Aguillón, 2019).

Entre los tipos de espesantes encontramos:

- **Jabones Metálicos:** Estos son los espesantes más comunes para grasas. Están formados por la reacción de un ácido graso con una base metálica. Algunos ejemplos incluyen:
- **Litio:** Popular por su buena resistencia al calor y al agua. Las grasas de litio son ampliamente utilizadas en automoción y aplicaciones industriales.
- **Calcio:** Estas grasas tienen buena resistencia al agua y se usan a menudo en aplicaciones marinas.

- Sodio: Conocidas por su alta resistencia al calor, pero son solubles en agua.
- Aluminio: Resistentes al agua y con buena estabilidad térmica.
- Bario: Menos comunes, pero tienen propiedades similares a las de litio y calcio.
- Jabones Complejos: Estos espesantes se forman utilizando dos tipos diferentes de ácidos metálicos, lo que les confiere propiedades superiores en comparación con los jabones simples.
- Litio Complejo: Tiene una mayor resistencia al calor y una mejor estabilidad mecánica que las grasas de litio simples.
- Espesantes No Jabonosos: No están basados en jabones metálicos y tienen propiedades distintas que pueden ser beneficiosas en ciertas aplicaciones.
- Poliuria: Buenas propiedades a altas temperaturas y excelente resistencia al agua y a la oxidación.
- Bentónica: Basada en arcilla y no se disuelve en aceites. Tiene excelentes propiedades a altas temperaturas, pero no es resistente al agua.
- Sílice: Otro tipo de espesante basado en arcilla. Es resistente a productos químicos y tiene una buena estabilidad térmica.
- PTFE (Teflón): Ofrece una baja fricción y buena resistencia a productos químicos.
- Espesantes de Polímeros: Son compuestos orgánicos que pueden actuar como espesantes. Proporcionan una excelente resistencia al agua y otras propiedades específicas dependiendo del tipo de polímero utilizado.
- Espesantes de Gel: Estos son sistemas de aceites que han sido convertidos en gel mediante el uso de activadores específicos. Proporcionan una consistencia muy suave y son usados en aplicaciones especiales.

Aditivos

Dependiendo de las necesidades de la aplicación específica, se pueden añadir varios aditivos a la grasa para mejorar sus propiedades. Estos pueden incluir antioxidantes (para resistir la oxidación), aditivos anti-desgaste, aditivos de extrema presión (para resistir cargas elevadas), inhibidores de corrosión, entre otros (Albarracin Aguillón, 2019).

3.5 Mezclas de grasa

En la práctica de lubricación se debe evitar mezclar grasas de diferentes marcas o especificaciones porque en muchos casos, tanto los espesadores, la viscosidad del aceite base y los aditivos son incompatibles y por lo tanto pueden llegar a reaccionar desfavorablemente, descomponiendo la grasa resultante, estado que da lugar por lo regular a un aspecto “arenoso” de la grasa. Solamente son compatibles las grasas de jabón de calcio y de litio (CALI), siempre y cuando los aceites sean del mismo tipo (parafinici0os, nafténicos, sintéticos o vegetales) y tengan la misma viscosidad. Para evitar problemas de contaminación de una grasa con otra, es necesario que cada una de ellas se aplique con su respectiva pistola engrasadora. Cuando se vaya a cambiar una grasa por otra, se debe limpiar el mecanismo de tal forma que no queden trazas de la grasa anterior. Las grasas a base de aceite mineral han demostrado perfecta inalterabilidad frente a los plásticos, elastómeros, pegamentos, lacas u otros tipos de materiales de construcción de las maquinas (Albarracin Aguillón, 2019).

Métodos de lubricación por grasa (Albarracin Aguillón, 2019).

- **Lubricación Manual:** Es el método más simple y consiste en aplicar la grasa directamente en el cojinete mediante una pistola de engrase o manualmente con una espátula. Este método requiere inspecciones periódicas para asegurar que la cantidad de grasa es adecuada.
- **Lubricación con Sistemas de Dosificación:** Estos sistemas bombean automáticamente la grasa al cojinete desde un depósito central. El flujo y el intervalo de lubricación se pueden ajustar según las necesidades. Son adecuados para máquinas o instalaciones donde hay múltiples puntos de lubricación.
- **Copas de Grasa:** Son pequeños depósitos que se atornillan directamente en el componente que se va a lubricar. La grasa se libera lentamente hacia el cojinete a medida que se consume. El flujo de grasa se puede ajustar girando la tapa de la copa.
- **Collarines de Grasa:** Son dispositivos que se montan directamente en el eje y liberan grasa a medida que el eje rota. Están diseñados para suministrar una cantidad controlada de lubricante al cojinete.

- **Sistemas de Grasa con Células de Gas:** Estos dispositivos contienen una celda de gas (como nitrógeno) que empuja un pistón, liberando lentamente la grasa al cojinete. Son útiles para aplicaciones donde se requiere una liberación constante y lenta de lubricante durante un período prolongado.
- **Lubricación con Grasas de Alta Duración:** Estas grasas están formuladas para durar más tiempo que las grasas convencionales, lo que significa que los intervalos de re-lubricación pueden ser más largos. Están especialmente indicadas para lugares de difícil acceso o donde la re-lubricación frecuente no es práctica.
- **Monitoreo de Condición:** En algunos casos, es útil implementar sensores o sistemas de monitoreo para medir parámetros como la temperatura, vibración o el nivel de grasa en el cojinete. Esto permite realizar una lubricación basada en la condición real del cojinete, en lugar de en un programa preestablecido.

3.6 Cojinetes lisos

Un cojinete liso está constituido por un elemento que gira o desliza dentro o sobre una superficie de fricción que le sirve de soporte y se conoce comúnmente con el nombre de casquete o guía. Este puede ser independiente del cuerpo del cojinete, con el fin de facilitar su reposición cuando sea necesario. Se clasifican en cojinetes lisos radiales, de empuje y de guía dependiendo del tipo descarga y movimiento (Albarracin Aguillón, 2019).

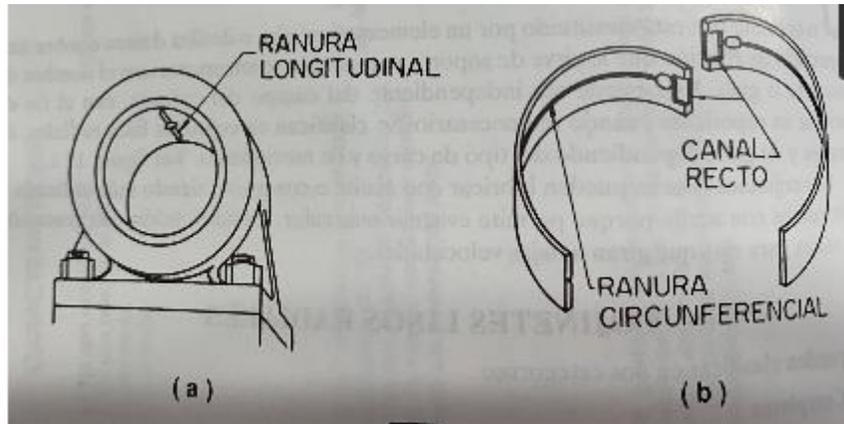
Los cojinetes lisos se pueden lubricar con aceite o grasa, siendo más utilizada la lubricación con aceite porque permite evacuar más calor, la lubricación con grasa solo se utiliza para ejes que giran a bajas velocidades, como es en el caso de los ejes pertenecientes a los mecanismos a evaluar, además estos cojinetes son del tipo lisos radiales los cuales se pueden clasificar (Albarracin Aguillón, 2019):

- **Completos:** casquete constituido por una sola pieza e integrado al cuerpo del cojinete, se utilizan para aquellas situaciones en donde se requiere estar montando y desmontando el eje dentro del cojinete.
- **Dividido en dos partes:** el casquete puede ser independiente del cuerpo del cojinete.

Ilustración 5.

Clasificación de cojinetes (Albarracin Aguillón, 2019).

a) Cojinete completo, b) Cojinete partido



Son componentes mecánicos diseñados para soportar cargas radiales, axiales o combinadas, permitiendo el deslizamiento entre el cojinete y el eje o componente que se desplaza sobre él. Están compuestos por dos partes: una superficie deslizante interna y una externa. La superficie deslizante interna está en contacto directo con el eje en movimiento, mientras que la superficie externa está generalmente fija. Estos cojinetes no tienen elementos rodantes, por lo que la fricción se reduce mediante la formación de una película de lubricante entre las dos superficies en contacto (Albarracin Aguillón, 2019).

3.6.1 Tipos de cojinetes lisos

- Cojinetes Lisos Radiales (o Cojinetes de Manga): Principalmente soportan cargas radiales, es decir, cargas perpendiculares al eje. Por lo general, tienen forma cilíndrica, aunque también pueden ser cónicos o esféricos dependiendo de las necesidades de alineación. Son utilizados en aplicaciones donde el movimiento principal es rotativo, como en ejes de motores, transmisiones y muchas otras máquinas rotativas. Requieren una película de lubricante entre el eje y el cojinete para minimizar la fricción y el desgaste (Albarracin Aguillón, 2019).
- Cojinetes Lisos de Empuje (o Cojinetes de Axiales): Están diseñados para soportar cargas axiales, es decir, cargas paralelas al eje. Por lo general, son planos y discoidales. Se colocan de forma que su superficie plana quede enfrentada contra la carga axial. Se utilizan en aplicaciones donde existen cargas axiales significativas,

como en tornillos elevadores o en algunos tipos de engranajes. Al igual que los cojinetes radiales, requieren lubricación para minimizar la fricción, aunque las necesidades y métodos pueden variar (Albarracin Aguillón, 2019).

- **Cojinetes Lisos de Guías (o Cojinetes de Deslizamiento Lineal):** Pueden soportar cargas tanto radiales como axiales, dependiendo de su orientación y aplicación. Su diseño es típicamente plano o en forma de prismas rectangulares. Como en guías de máquinas herramientas, rieles deslizantes y otras aplicaciones de deslizamiento lineal. Dado que estos cojinetes permiten movimientos lineales, la distribución y retención del lubricante puede requerir consideraciones especiales (Albarracin Aguillón, 2019).

Fallas en cojinetes lisos

Como sucede en todas las partes internas de un equipo, los cojinetes lisos también se desgastan con el uso y es necesario reemplazarlos periódicamente; de lo contrario, se puede presentar que el equipo no funcione o que ocurra una falla importante del mismo. La vida útil de un cojinete depende principalmente de su resistencia a la fatiga, la corrosión y el desgaste (Albarracin Aguillón, 2019).

Fatiga normal

La fatiga en los cojinetes lisos, también conocidos como cojinetes de deslizamiento, bujes o casquillos, es un proceso de deterioro que ocurre debido a la operación continua bajo condiciones normales de carga, velocidad y lubricación. Estos cojinetes funcionan proporcionando una superficie deslizante que soporta cargas y reduce la fricción entre dos partes en movimiento relativo. La importancia de entender la fatiga radica en que puede conducir al fallo prematuro del cojinete y, consecuentemente, del equipo o máquina en el que está instalado. Diversos factores influyen en la fatiga de un cojinete liso. Las cargas cíclicas repetidas o fluctuantes, por ejemplo, pueden causar la formación de grietas o desprendimientos en la superficie del cojinete. La alta velocidad de operación puede incrementar la fricción y, por ende, el calor generado, afectando la integridad del cojinete y su lubricante. La lubricación juega un papel crucial; una película lubricante inadecuada entre el cojinete y la pieza en movimiento puede resultar en un contacto directo metal-metal, aumentando el desgaste. Las temperaturas extremas, tanto altas como bajas,

pueden alterar las propiedades del material del cojinete y del lubricante, acelerando la fatiga. Por supuesto, la calidad del material del cojinete también es fundamental; las impurezas o defectos en el material pueden ser puntos iniciales para la formación de grietas o desprendimientos. Las condiciones operativas, como la presencia de contaminantes o humedad, y el diseño del cojinete, en particular si hay un ajuste incorrecto, también pueden influir en la aparición de la fatiga. Es crucial llevar a cabo inspecciones regulares y monitorear las condiciones operativas para detectar signos tempranos de fatiga y tomar medidas preventivas. Una gestión adecuada, que incluya una buena lubricación, operación dentro de las especificaciones recomendadas y un entorno limpio, puede retrasar o incluso prevenir la fatiga en cojinetes lisos (Albarracin Aguillón, 2019).

Desgaste abrasivo

El desgaste abrasivo en cojinetes lisos es un fenómeno común que se refiere a la remoción de material de la superficie del cojinete debido a la presencia de partículas duras que actúan como abrasivos. Estas partículas pueden originarse desde el exterior, por ejemplo, debido a la contaminación del ambiente, o desde el interior, debido a la degradación del propio equipo o de componentes adyacentes (Albarracin Aguillón, 2019).

El mecanismo detrás del desgaste abrasivo es bastante simple: cuando las partículas abrasivas entran en contacto con la superficie del cojinete, se incrustan en el material más blando (generalmente el cojinete) y actúan como un papel de lija, desgastando el material a medida que se mueven. Este tipo de desgaste puede ser especialmente agresivo y dañino, ya que puede alterar rápidamente las tolerancias y ajustes, llevando a un mal funcionamiento o a un fallo prematuro del cojinete. Para prevenir o minimizar el desgaste abrasivo, es fundamental mantener el lubricante limpio y libre de contaminantes. Esto puede lograrse mediante la utilización de filtros adecuados y realizando cambios regulares de lubricante. También es esencial asegurarse de que los sellos o retenes estén en buen estado para evitar la entrada de contaminantes desde el exterior. Además, el uso de cojinetes fabricados con materiales más resistentes al desgaste o tratamientos superficiales especiales puede reducir la susceptibilidad al desgaste abrasivo. Por último, es vital realizar inspecciones y monitoreo regularmente para detectar signos tempranos de desgaste y tomar medidas correctivas a tiempo (Albarracin Aguillón, 2019).

Desgaste adhesivo

El desgaste adhesivo en cojinetes lisos ocurre cuando dos superficies en movimiento relativo entran en contacto directo, causando que el material sea transferido de una superficie a la otra. Es una forma de desgaste que resulta de la adhesión entre las superficies en fricción. En el contexto de los cojinetes lisos, esto sucede cuando la película lubricante entre el cojinete y la pieza en movimiento es insuficiente o se rompe, permitiendo el contacto metal-metal (Albarracin Aguillón, 2019).

El proceso de desgaste adhesivo comienza con la formación de microsoldaduras entre las dos superficies en contacto. Estas microsoldaduras se forman debido a la presión y el calor generados por la fricción. A medida que las superficies continúan moviéndose, estas microsoldaduras se rompen, causando la transferencia de material. Con el tiempo, esto puede llevar a la formación de marcas, rayaduras o incluso escarificaciones en las superficies de los cojinetes (Albarracin Aguillón, 2019).

El desgaste adhesivo es perjudicial para los cojinetes ya que puede causar un aumento en la fricción y, por ende, en el calor generado, además altera las tolerancias y ajustes, lo que puede afectar la eficiencia y precisión del equipo y aumenta el riesgo de fallos y reduce la vida útil del cojinete (Albarracin Aguillón, 2019).

Desgaste corrosivo

El desgaste corrosivo en cojinetes lisos se refiere al deterioro de la superficie del cojinete debido a reacciones químicas con agentes corrosivos presentes en el entorno o en el lubricante. Estas reacciones pueden ser causadas por diversos factores, como la presencia de humedad, contaminantes en el lubricante o la exposición a ambientes agresivos (Albarracin Aguillón, 2019).

La corrosión comienza a nivel microscópico, formando picaduras o puntos de oxidación en la superficie del cojinete. Con el tiempo, estos puntos pueden crecer, formando áreas corroídas más grandes. Esto no solo deteriora la superficie del cojinete, sino que también puede afectar la eficiencia del lubricante, ya que los productos de corrosión generados pueden actuar como contaminantes (Albarracin Aguillón, 2019).

El desgaste corrosivo puede ser perjudicial ya que aumenta la rugosidad de la superficie, lo que puede elevar la fricción y el desgaste entre el cojinete y la pieza en movimiento. Puede alterar las tolerancias y ajustes del cojinete. Reduce la resistencia del material, aumentando el riesgo de fallos o fracturas. Acelera el proceso general de desgaste del cojinete, reduciendo su vida útil (Albarracin Aguillón, 2019).

Desgaste por sobrecarga

Las sobrecargas imponen cargas intermitentes sobre la superficie antifricción del casquete. Este continuo golpeteo produce zonas de fatiga prematuras, con desprendimiento de material, lo cual reduce la capacidad de soporte de carga del cojinete e impone cargas adicionales sobre las áreas sanas del revestimiento, terminando con la vida útil del cojinete. Tiende a confundirse con la fatiga normal, aunque las áreas de fatiga se localizan únicamente en el casquete superior o inferior (Albarracin Aguillón, 2019).

Desgaste por corrientes eléctricas

Se presenta algunas veces en los cojinetes de equipos rotativos como consecuencia del paso de corrientes eléctricas a través del lubricante, desde el muñón hasta los casquetes. El arco que se forma puede picar la superficie del casquete, el muñón o ambos, y las partículas desprendidas darán lugar a un desgaste abrasivo. En casos extremos, el paso de corriente puede causar un incremento en la temperatura del cojinete, dañando sus partes o el lubricante. Esta falla es muy difícil de analizar porque va seguida de desgaste abrasivo y adhesivo (Albarracin Aguillón, 2019).

Corrosión por vibración

Contacto mínimo entre el muñón y el casquete cuando se presenta una acción combinada de ataque químico y pequeños movimientos oscilatorios. Las vibraciones se pueden presentar en el equipo en un momento dado, rompen la película lubricante, presentándose contacto metal-metal en ese punto. Este tipo de falla también se puede presentar cuando el eje está en reposo y existe una vibración de equipos adyacente (Albarracin Aguillón, 2019).

Desalineamiento

El desalineamiento en cojinetes lisos se refiere a la falta de alineación correcta entre el eje y el cojinete respecto a su eje longitudinal. Esta situación puede surgir debido a una instalación incorrecta, deformación estructural o asentamiento del equipo. Cuando el cojinete y el eje no están adecuadamente alineados, la carga no se distribuye de manera uniforme en el cojinete, lo que lleva a una distribución desigual del esfuerzo y la presión. Esta distribución irregular puede resultar en un desgaste acelerado del cojinete y reducir su vida útil. El desalineamiento puede aumentar la fricción y la generación de calor, provocar desgaste desigual del cojinete y del eje, causar ruidos o vibraciones inusuales y aumentar el riesgo de fallos prematuros. También puede reducir la eficiencia general del equipo debido a la resistencia adicional generada por el desalineamiento (Albarracin Aguillón, 2019).

Para abordar el desalineamiento, es fundamental asegurar una correcta instalación inicial del equipo. Las inspecciones regulares y el monitoreo de vibraciones pueden ayudar a detectar y corregir problemas de alineación antes de que se conviertan en un problema mayor. En algunos casos, los cojinetes autoalineables pueden ser una solución efectiva, ya que están diseñados para adaptarse a ciertos niveles de desalineamiento sin sufrir daños. Además, mantener y verificar otros componentes asociados, como los soportes, puede ayudar a prevenir o corregir problemas de desalineamiento. Es esencial reconocer la importancia de una alineación adecuada para garantizar la longevidad y eficiencia de los cojinetes y del equipo en el que están instalados (Albarracin Aguillón, 2019).

3.6.2 Lubricación de cojinetes lisos

La lubricación de cojinetes lisos es esencial para garantizar su correcto funcionamiento, minimizar el desgaste y prolongar su vida útil. La principal función de la lubricación es crear una película separadora entre el cojinete y el eje o componente en movimiento, reduciendo así la fricción y previniendo el contacto directo entre las superficies metálicas (Albarracin Aguillón, 2019).

Lubricación Hidrodinámica: Ocurre cuando la rotación del eje genera una película de aceite que separa completamente las superficies del cojinete y el eje. Esta película es la que soporta la carga y evita el contacto metálico (Albarracin Aguillón, 2019).

Lubricación Hidrostática: Utiliza una bomba externa para suministrar lubricante a presión entre las superficies del cojinete y el eje, formando una película separadora.

Lubricación por Película Mixta: Se da cuando las condiciones no permiten mantener una película de aceite continua, por lo que hay zonas de contacto metálico directo y otras con película de lubricante.

Lubricación Límite o de Frontera: Ocurre cuando la película lubricante es tan delgada que las asperezas de las superficies en contacto interactúan entre sí. Es una situación no ideal que puede causar un desgaste acelerado.

Es importante estructurar y encaminar la investigación al definir que los cojinetes utilizados en los sistemas mecánicos son completamente radiales, además las velocidades con las que se trabajan son relativamente bajas y las cargas son altas, por lo que la lubricación de estos mecanismos se realiza con grasas (Albarracin Aguillón, 2019).

3.6.3 Métodos de lubricación por grasa

- **Lubricación Manual:** Es el método más simple y consiste en aplicar la grasa directamente en el cojinete mediante una pistola de engrase o manualmente con una espátula. Este método requiere inspecciones periódicas para asegurar que la cantidad de grasa es adecuada.
- **Lubricación con Sistemas de Dosificación:** Estos sistemas bombean automáticamente la grasa al cojinete desde un depósito central. El flujo y el intervalo de lubricación se pueden ajustar según las necesidades. Son adecuados para máquinas o instalaciones donde hay múltiples puntos de lubricación.
- **Copas de Grasa:** Son pequeños depósitos que se atornillan directamente en el componente que se va a lubricar. La grasa se libera lentamente hacia el cojinete a medida que se consume. El flujo de grasa se puede ajustar girando la tapa de la copa.
- **Collarines de Grasa:** Son dispositivos que se montan directamente en el eje y liberan grasa a medida que el eje rota. Están diseñados para suministrar una cantidad controlada de lubricante al cojinete.
- **Sistemas de Grasa con Células de Gas:** Estos dispositivos contienen una celda de gas (como nitrógeno) que empuja un pistón, liberando lentamente la grasa al

cojinete. Son útiles para aplicaciones donde se requiere una liberación constante y lenta de lubricante durante un período prolongado.

- **Lubricación con Grasas de Alta Duración:** Estas grasas están formuladas para durar más tiempo que las grasas convencionales, lo que significa que los intervalos de re-lubricación pueden ser más largos. Están especialmente indicadas para lugares de difícil acceso o donde la re-lubricación frecuente no es práctica.
- **Monitoreo de Condición:** En algunos casos, es útil implementar sensores o sistemas de monitoreo para medir parámetros como la temperatura, vibración o el nivel de grasa en el cojinete. Esto permite realizar una lubricación basada en la condición real del cojinete, en lugar de en un programa preestablecido.

3.7 Optimización de la cantidad de grasa utilizada en los cojinetes lisos en la draga de extracción masiva No.3.

De acuerdo con la metodología descrita en el planteamiento de la propuesta de grado, el primer ítem describe la obtención de los cálculos teóricos y análisis de literatura. En base a la literatura “Tribología y Lubricación Industrial y Automotriz” AUTOR: Pedro Albarracín Aguillón, ingeniero mecánico de la Universidad de Antioquia.

Los cojinetes lisos radiales se pueden lubricar con grasa cuando trabajan sometidos a altas o bajas cargas, y el eje gira a baja velocidad. La grasa también es particularmente indicada para ambientes de alta contaminación y en cojinetes donde la tolerancia entre el casquete y el muñón es grande. Las frecuencias de lubricación son relativamente cortas y la cantidad de grasa Q_R que se debe aplicar se calcula de:

$$Q_R = K_g * \pi * D * L * J_d, [cm^3/h]$$

Dónde:

K_g = Factor para lubricación con grasa, que se determina de la tabla 1, conociendo la velocidad del eje en RPM.

D = Diámetro del eje en centímetros.

L = Longitud del cojinete en centímetros.

J_d = Juego diametral en cm

Tabla 1.

Valores de Kg para lubricación con grasa de cojinetes lisos radiales.

Velocidad eje, RPM		
Mayor de	Hasta	Kg
	100	0.1
100	250	0.2
250	500	0.4
500	1000	1

Para llevar a cabo el proyecto es indispensable cuantificar la Cantidad de cojinetes lisos a los cuales se realizará el estudio, se divide de acuerdo con los mecanismos:

Tabla 2.

Cantidad de cojinetes lisos.

MECANISMO	CANTIDAD DE COJINETES LISOS
MALACATE DE PROA IZQUIERDO	4
MALACATE DE PROA DERECHO	4
MALACATE DE ESCALA	5
CRIBA GIRATORIA	10
TRANSMISION PRINCIPAL	2
TAMBOR LOCO	2
TOTAL	27

De acuerdo a las variables que se necesitan para el desarrollo de los cálculos teóricos, se debe buscar en la documentación técnica de la empresa los planos de los mecanismos de la draga de extracción No 3. Donde se deben extraer el diámetro del eje, Longitud del cojinete liso y el Juego diametral existente entre el eje y el babbitt.

3.7.1 Consideraciones del estudio

Es importante resaltar que las medidas de Juego diametral que se utiliza directamente en la empresa son 1 milésima de pulgada por cada pulgada de diámetro del eje.

Todos los mecanismos descritos en la tabla 2, trabajan a velocidades por debajo a los 100 RPM (se buscaron las relaciones de transmisión de cada mecanismo) , por lo que la constante Kg definido para el estudio se toma directamente como 0.1 (tabla1) en las tablas se observaran rpm 99 que corresponde a el valor de 0.1.

Es indispensable hallar valores de acuerdo a la operación, los turnos se dividen en 3 jornadas, 8 horas cada turno (blanca, morena, negra), por lo que las cantidades serán calculadas de acuerdo a cada turno (lubricación por turno) o lubricación cada 8 horas.

Para la lubricación de los cojinetes lisos se utilizan graseras manuales, se cuantifica por bombazos, cada bombazo tiene aproximadamente 2-3 gramos de grasa, se tomara el valor mínimo estándar, es decir 1 bombazo = 2 gramos de grasa. Algunas chumaceras tienen 2 puntos de lubricación, sin embargo la cantidad de bombazos es el total aplicado en la chumacera.

La Grasa utilizada en la operación en los cojinetes lisos es la grasa Petrobras Lith plus EP, la cual es una Grasa Lubricante a base de complejo de litio, para múltiples aplicaciones industriales y condiciones de operación severas, de textura suave que contiene aditivación de extrema presión a base de Azufre y Fósforo estando exenta de Plomo, inhibidores de herrumbre y oxidación y aditivos mejoradores de adherencia. Disponible en el grado NLGI 2. Revisando la ficha técnica del proveedor no se encontró la densidad de la grasa (esto con la finalidad de realizar el análisis dimensional y dejar los términos expresados en gramos/hora). Según la literatura una grasa NLGI 2 tiene una densidad entre 0.9 g/cm³ – 1.2 g/cm³ por lo que en acuerdo con el ingeniero de confiabilidad se establece un valor estándar de 0.95 g/cm³, no se logró encontrar la densidad de la grasa utilizada en la operación.

Para facilidad de los cálculos del proyecto se utilizará Excel como herramienta, y se entregarán valores en tablas. A continuación se presenta especificaciones de dos tipos de grasa:

Tabla 3.

Ficha técnica grasa Petrobras Lith Ep (Petrobras, 2023).

Análisis Típicos*

Grado NLGI			2
Análisis	Unidad	Método	Resultado
Tipo de jabón			Complejo de Litio
Contenido de jabón	%	ASTM D 128	10
Penetración a 25°C (a 60 golpes)	mm/10	ASTM D 217	270
Penetración a 25°C (a 10000 golpes)	mm/10	ASTM D 217	278
Estabilidad mecánica	%	ASTM D 217	8
Viscosidad aceite a 40°C	cSt	ASTM D 445	220
Punto de Goteo	°C	ASTM D 2265	Mayor a 260
Separación de Aceite	%peso	IP 121	2
Álcali Libre	g LiOH/100 gr muestra	ASTM D 4739	0.1
Corrosión en lámina de Cobre	3h 100°C	ASTM D 4048	1a
Color			Verde
Característica	Unidad	Método	Resultado
Ensayo de lavado por agua	%	ASTM D 1264	0.13
Carga de Soldadura	Kg-f	ASTM D 2596	315
Cuatro bolas- Desgaste	mm	ASTM D 2266	0.52
Carga Timken OK	lb	ASTM D 2509	45
Tendencia a la fuga en Cojinetes	g	ASTM D 1263	0.23

Cartas de lubricación definidas

Criba giratoria - Anillo superior de la criba

A continuación, con la finalidad de brindar un correcto entendimiento del trabajo realizado, se enseñan las cartas de lubricación, ya que estas contienen las fotografías de cada mecanismo y, por ende, son imprescindibles para su identificación. Cabe agregar que, dichas cartas señalan cada cojinete liso sujeto a evaluación.

Ilustración 8.

Ficha lubricación criba giratoria (Mineros Aluvial SAS, 2023).

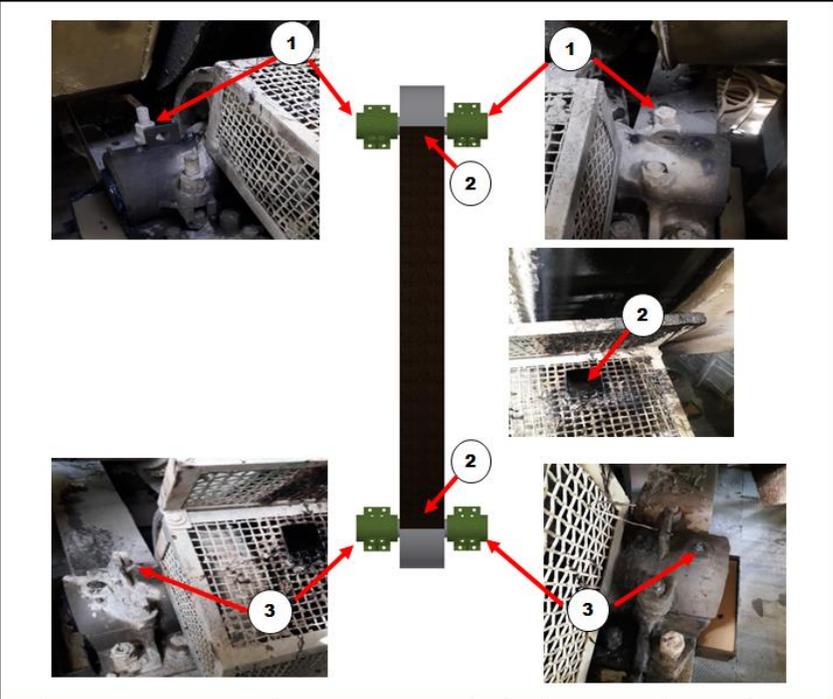
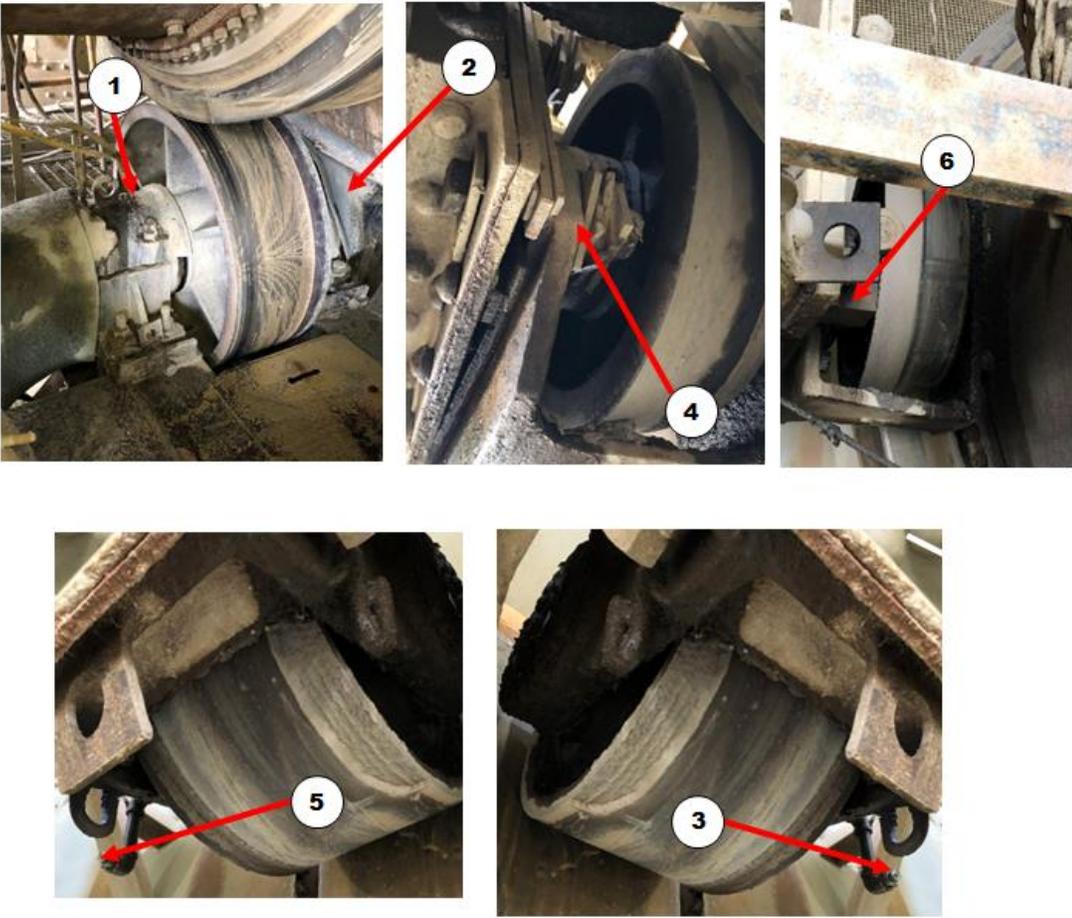
		FICHA DE LUBRICACIÓN ÁREA: INGENIERÍA Y PLANEACIÓN DE MANTENIMIENTO REVISÓ: INGENIERO DE CONFIABILIDAD APROBÓ: DIRECTOR DE INGENIERÍA Y PLANEACIÓN DE MANTENIMIENTO			C&L-FOR-008 Edición No. 2 Fecha edición Mayo de 2017		
DRAGA DE CUCHARAS N°3 - ANILLO SUPERIOR DE LA CRIBA		Ubicación física:	CRIBA GIRTATORIA	Fecha elaboración:	abr-21		
							
PUNTO	COMPONENTE	LUBRICANTE	CANT	TAREA	FRECUENCIA	METODO	RESPONSABLE
1	Chumacera rologuía izquierdo x2 und (2 pt c/u)	Lith Plus EP 2	25 gr	Engrase	Diario (2 veces x turno)	Bombeo manual	Mto. Autónomo
2	Anillo superior de la criba	Grasa Asfáltica Petrobras Betumen 400	2,5 kg	Engrase	Diario	Bombeo manual	Mto. Autónomo
3	Chumacera rologuía derecho x 2 und (2 pt c/u)	Lith Plus EP 2	25 gr	Engrase	Diario (2 veces x turno)	Bombeo manual	Mto. Autónomo
Observaciones: Realizar diariamente toma de temperatura a los diferentes puntos. Temperatura Máxima de operación 70 °C. Aproximadamente 2 a 3 gr - 1 bombazo 1. Aplicación de 25 gr - 13 bombazos							
				Revisó: Ing. Sebastian Sarmiento			

Ilustración 9.

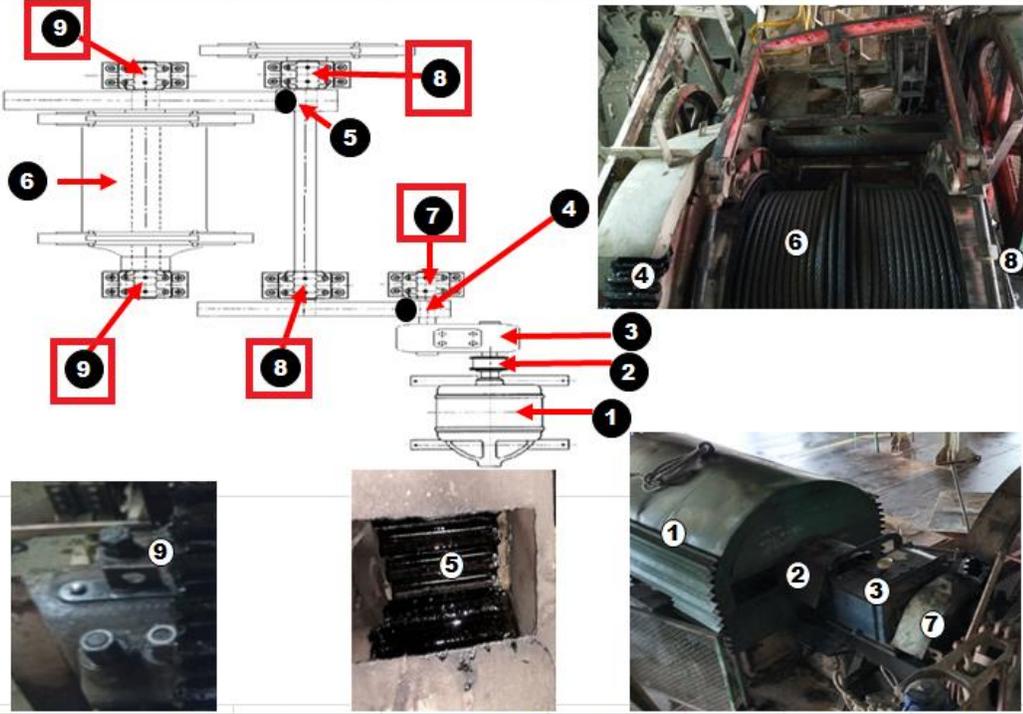
Ficha de lubricación, anillo inferior criba giratoria (Mineros Aluvial SAS, 2023).

		FICHA DE LUBRICACIÓN ÁREA: INGENIERÍA Y PLANEACIÓN DE MANTENIMIENTO REVISÓ: INGENIERO DE CONFIABILIDAD APROBÓ: DIRECTOR DE INGENIERÍA Y PLANEACIÓN DE MANTENIMIENTO			C&L-FOR-008 Edición No. 2 Fecha edición Mayo de 2017		
DRAGA DE CUCHARAS N°3 - ANILLO INFERIOR DE LA CRIBA		Ubicación física:	CRIBA GIRATORIA	Fecha elaboración:	abr-21		
							
PUNTO	COMPONENTE	LUBRICANTE / REF	CANT	TAREA	FRECUENCIA	METODO	RESPONSABLE
1	Chumacera de proa rolo motriz (2 pts)	Lith Plus EP 2	25 gr	Engrase	Diario (2 veces x turno)	Bombeo manual	Mto. Autónomo
2	Chumacera de popa rolo motriz (2 pts)	Lith Plus EP 2	25 gr	Engrase	Diario (2 veces x turno)	Bombeo manual	Mto. Autónomo
4	Rolo cónico derecho	Lith Plus EP 2	25 gr	Engrase	Diario (2 veces x turno)	Bombeo manual	Mto. Autónomo
5	Rolo guía izquierdo	Lith Plus EP 2	25 gr	Engrase	Diario (2 veces x turno)	Bombeo manual	Mto. Autónomo
3	Rolo guía derecho	Lith Plus EP 2	25 gr	Engrase	Diario (2 veces x turno)	Bombeo manual	Mto. Autónomo
6	Rolo cónico izquierdo	Lith Plus EP 2	25 gr	Engrase	Diario (2 veces x turno)	Bombeo manual	Mto. Autónomo
Observaciones: Realizar diariamente toma de temperatura a los diferentes puntos, Temperatura Máxima de operación 70 °C. Hacer uso adecuado del de los procedimientos de seguridad y el uso de elementos de protección personal para las diferentes actividades de lubricación. Aproximadamente 2 a 3 gr ~ 1 bombazo 1. Aplicación de 25 gr ~ 13 bombazos							
					Revisó: Ing. Sebastian Sarmiento		

Malacate de escala

Ilustración 10.

Ficha de lubricación malacate de escala (Mineros Aluvial SAS, 2023).

	FICHA DE LUBRICACIÓN ÁREA: INGENIERÍA Y PLANEACIÓN DE MANTENIMIENTO REVISÓ: INGENIERO DE CONFIABILIDAD APROBÓ: DIRECTOR DE INGENIERÍA Y PLANEACIÓN DE MANTENIMIENTO	C&L-FOR-008 Edición No. 2 Fecha edición Mayo de 2017					
DRAGA DE CUCHARAS N°3 - MALACATE SUSPENSIÓN DE ESCALA	Ubicación física:	LADO IZQUIERDO	Fecha elaboración:	abr-21			
							
PUNTO	COMPONENTE	LUBRICANTE	CANT	TAREA	FRECUENCIA	METODO	RESPONSABLE
1	Motor Eléctrico (2 pts)	Polytec 2	30 gr	Engrase	Trimestral	Bomba manual	Mto. Eléctrico
2	Acople Falk 1140T (1 pt)	LMCG 1 SKF	1140 gr	Engrase	Anual	Manual	Mto. Mecánico
3	Acople Falk 1140T (1 pt)	LMCG 1 SKF	114 gr	Engrase	Trimestral	Bomba manual	Mto. Autónomo
4	Reductor de Velocidad	Gear 220	-	Revisar	Diario	Visual	Mto. Autónomo
5	Engranaje abierto - Eje Reductor	Mezcla 4:1	700 ml	Engrase	Semanal	Manual	Mto. Autónomo
6	Engranaje abierto - Eje Tambor	Mezcla 4:1	700 ml	Engrase	Semanal	Manual	Mto. Autónomo
7	Cable Metálico x 2 Und	Mezcla 6:3:1	8 lt	Engrase	2 veces x semana	Manual	Mto. Autónomo
8	Chumacera eje reductor (1 pt)	Lith Plus EP2	12 gr	Engrase	Diario	Bomba manual	Mto. Autónomo
9	Chumaceras Babbit x 2 Und (2 pt c/u)	Lith Plus EP2	14 gr	Engrase	Diario	Bomba manual	Mto. Autónomo
9	Chumaceras Babbit x 2 Und (2 pt c/u)	Lith Plus EP2	14 gr	Engrase	Diario	Bomba manual	Mto. Autónomo
9	Grasera freno tambor x 2 Und (3 pt c/u)	Lith Plus EP2	12 gr	Engrase	Semanal	Bomba manual	Mto. Autónomo
Observaciones: Realizar diariamente toma de temperatura a los diferentes puntos, Temperatura Máxima de operación 70 °C. Hacer uso adecuado del de los procedimientos de seguridad y el uso de elementos de protección personal para las diferentes actividades de lubricación.							
Nota 1. Capacidad del acople: 1.140 gr							
Nota 2. Mezcla 4:1 de grasas Petrobras Betumen 400 y Calcium GR 3							
Nota 3. Mezcla 6:3:1 de grasas Petrobras Betumen 400, Calcium GR 3 y aceite							
1. Aproximadamente 12 gr ~ 6 bombazos				5. Aproximadamente 114 gr ~ 57 bombazos			
2. Aproximadamente 14 gr ~ 7 bombazos							
3. Aproximadamente 16 gr ~ 8 bombazos							
4. Aproximadamente 30 gr ~ 15 bombazos							
Revisó: Ing. Sebastian Sarmiento							

Transmisión principal

Ilustración 11.

Ficha de lubricación transmisión principal (Mineros Aluvial SAS, 2023).

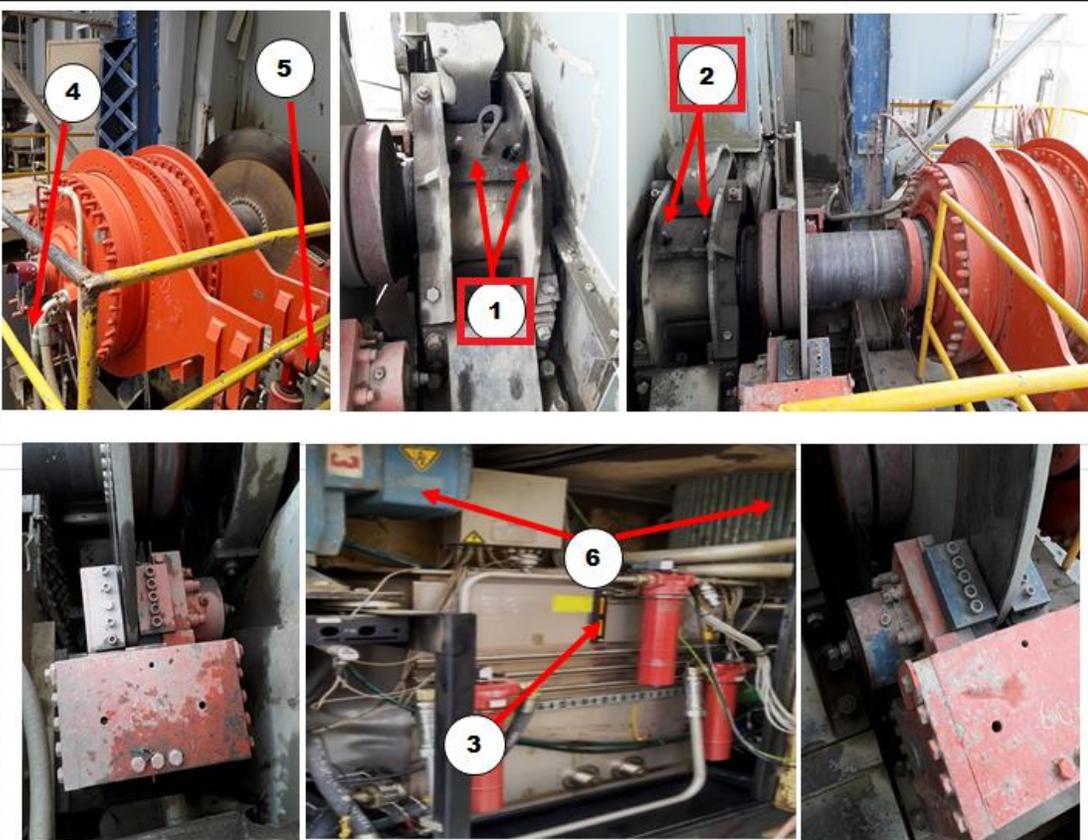
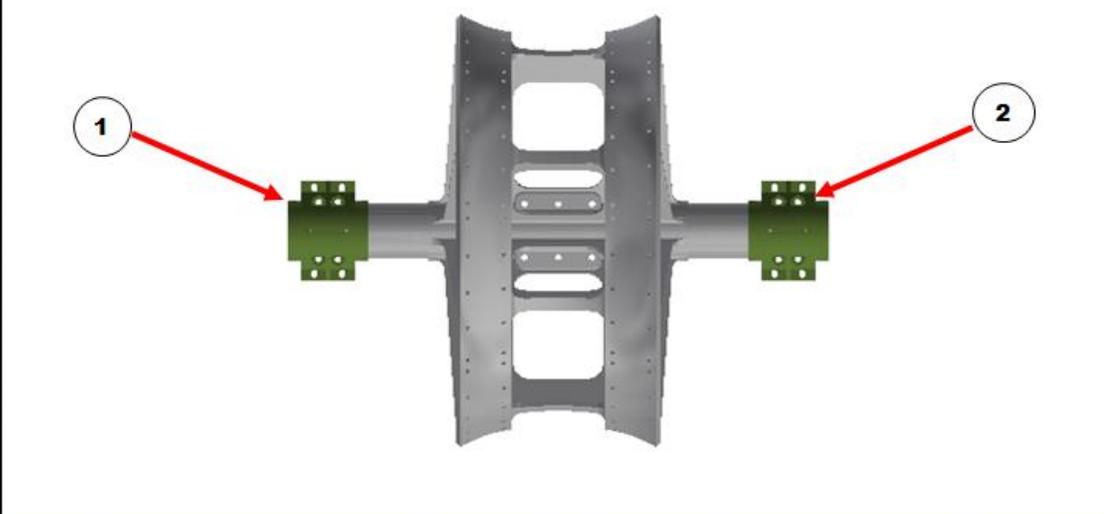
	<p>FICHA DE LUBRICACIÓN ÁREA: INGENIERÍA Y PLANEACIÓN DE MANTENIMIENTO REVISÓ: INGENIERO DE CONFIABILIDAD APROBÓ: DIRECTOR DE INGENIERÍA Y PLANEACIÓN DE MANTENIMIENTO</p>	<p>C&L-FOR-008 Edición No. 2 Fecha edición Mayo de 2017</p>					
<p>DRAGA DE CUCHARAS N°3 - TRANSMISION PRINCIPAL</p>	<p>Ubicación física: TAMBOR SUPERIOR</p>	<p>Fecha elaboración: abr-21</p>					
							
PUNTO	COMPONENTE	LUBRICANTE / REF	CANT	TAREA	FRECUENCIA	METODO	RESPONSABLE
1	Chumacera tambor superior lado izquierdo (3 pts)	Lith Plus EP 2	15 gr	Engrase	Diario	Bomba manual	Mto. Autónomo
2	Chumacera tambor superior lado derecho (3 pts)	Lith Plus EP 2	15 gr	Engrase	Diario	Bomba manual	Mto. Autónomo
3	Unidad hidráulica-Nivel	Hydra 150	-	Revisar	Diario	Visual	Mto. Autónomo
3	Unidad hidráulica-Acete	Hydra 150	Requerido	Rellenar	X condición	Manual	Mto. Mecánico
4	Cilindro hidráulico de brazo de torque x 2 Und (4 pts)	Lith Plus EP 2	8 gr	Engrase	Quincenal	Bomba manual	Mto. Autónomo
5	Sistema fijo del brazo de torque x 2 Und (4 pts)	Lith Plus EP 2	8 gr	Engrase	Quincenal	Bomba manual	Mto. Autónomo
6	Motor Eléctrico x 2 Und (2 pts)	Polytec 2	30 gr	Engrase	Trimestral	Bomba manual	Mto. Eléctrico
<p>Observaciones: Realizar diariamente toma de temperatura a los diferentes puntos, Temperatura Máxima de operación 70 °C. Hacer uso adecuado del de los procedimientos de seguridad y el uso de elementos de protección personal para las diferentes actividades de lubricación.</p> <p>Nota: Accionamiento hidráulico con unidad de potencia.</p>							
Aproximadamente 2 a 3 gr ~1 bombazo			2. Aproximadamente 8 gr ~ 4 bombazos				
1. Aproximadamente 15 gr ~ 8 bombazos			3. Aproximadamente 30 gr ~ 15 bombazos				
Revisó: Ing. Sebastian Sarmiento							

Ilustración 12.

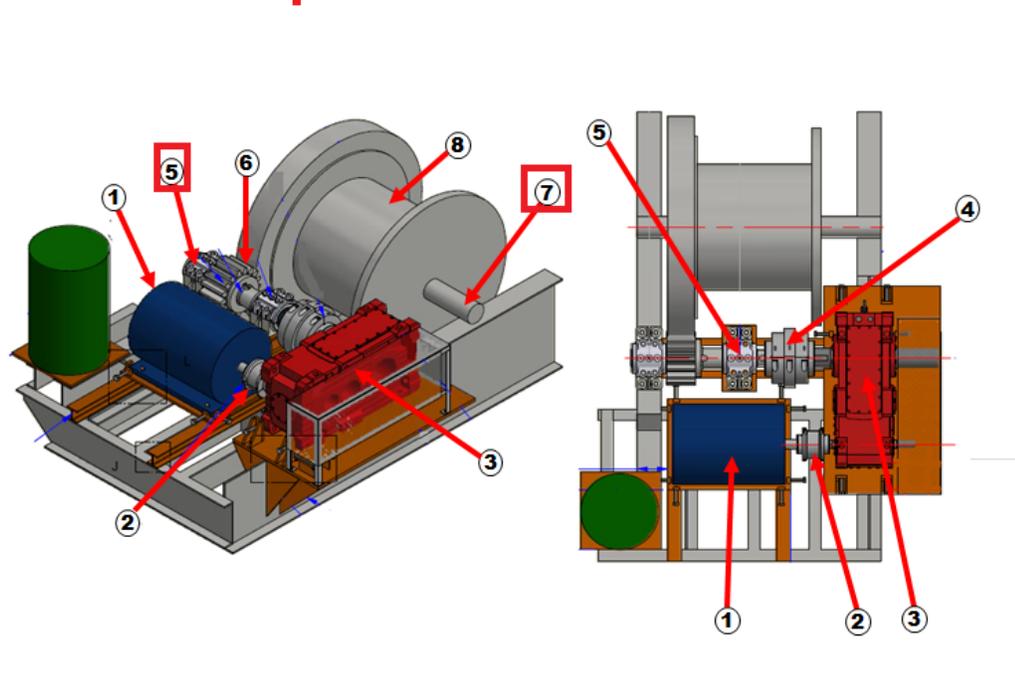
Ficha de lubricación tambor loco (Mineros Aluvial SAS, 2023).

	FICHA DE LUBRICACIÓN ÁREA: INGENIERÍA Y PLANEACIÓN DE MANTENIMIENTO REVISÓ: INGENIERO DE CONFIABILIDAD APROBÓ: DIRECTOR DE INGENIERÍA Y PLANEACIÓN DE MANTENIMIENTO	C&L-FOR-008 Edición No. 2 Fecha edición Mayo de 2017					
DRAGA DE CUCHARAS N°3 - TAMBOR LOCO	Ubicación física:	ESCALA	Fecha elaboración:	abr-21			
							
							
PUNTO	COMPONENTE	LUBRICANTE	CANT	TAREA	FRECUENCIA	METODO	RESPONSABLE
1	Chumacera lado derecho (2 pts c/u)	Lith Plus EP2	15gr	Engrase	Diario	Bombeo manual	Mto. Autónomo
2	Chumacera lado izquierdo (2 pts c/u)	Lith Plus EP2	15gr	Engrase	Diario	Bombeo manual	Mto. Autónomo
Observaciones: Realizar diariamente toma de temperatura a los diferentes puntos, Temperatura Máxima de operación 70 °C. Hacer uso adecuado del de los procedimientos de seguridad y el uso de elementos de protección personal para las diferentes actividades de lubricación.							
1. Aproximadamente 2 a 3 gr ~ bombazo 2. Aplicación de 15 gr ~ 8 bombazo							
						Revisó: Ing. Sebastian Sarmiento	

Malacate de proa derecho

Ilustración 13.

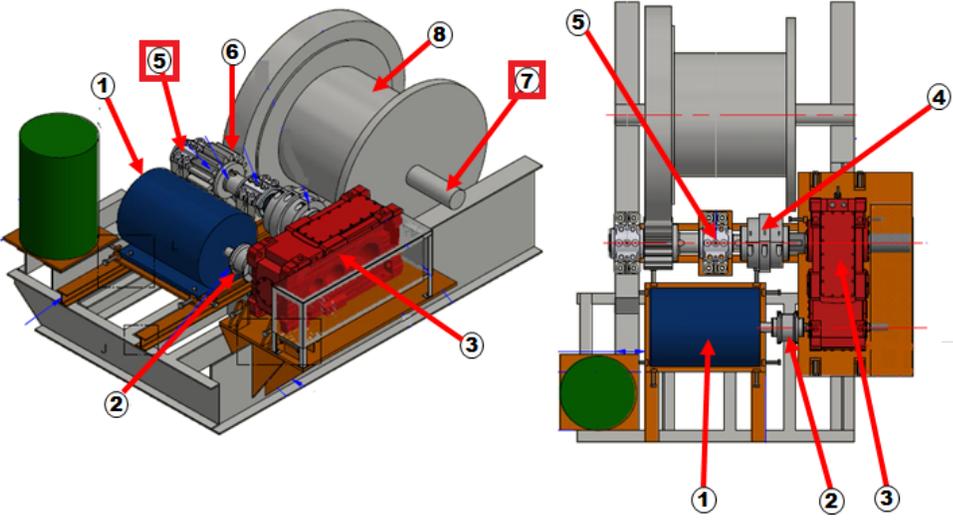
Ficha de lubricación malacate de proa derecho (Mineros Aluvial SAS, 2023).

	<p>FICHA DE LUBRICACIÓN ÁREA: INGENIERÍA Y PLANEACIÓN DE MANTENIMIENTO REVISÓ: INGENIERO DE CONFIABILIDAD APROBÓ: DIRECTOR DE INGENIERÍA Y PLANEACIÓN DE MANTENIMIENTO</p>	<p>C&L-FOR-008 Edición No. 2 Fecha edición Mayo de 2017</p>					
<p>DRAGA DE CUCHARAS N°3 - MALACATE DE PROA</p>	<p>Ubicación física:</p>	<p>LADO DERECHO</p>	<p>Fecha elaboración:</p>	<p>oct-23</p>			
							
PUNTO	COMPONENTE	LUBRICANTE	CANT	TAREA	FRECUENCIA	METODO	RESPONSABLE
1	Motor Eléctrico (2 pts)	Polytec 2	24 gr	Engrase	Trimestral	Bomba manual	Mto. Eléctrico
2	Acople Falk Motor-Caja reductora T10 1100T	LMCG 1 SKF	43 gr	Engrase	Trimestral	Bomba manual	Mto. Autónomo
3	Acople Falk Motor-Caja reductora T10 1100T	LMCG 1 SKF	430 gr	Engrase	Anual	Manual	Mto. Mecánico
4	Reductor de Velocidad - Nivel	Gear 320	-	Revisar	Diario	Visual	Mto. Autónomo
5	Acople Falk Motor-Caja reductora T10 1100T	LMCG 1 SKF	195 gr	Engrase	Trimestral	Bomba manual	Mto. Autónomo
6	Acople Falk Motor-Caja reductora T10 1100T	LMCG 1 SKF	1950 gr	Engrase	Anual	Manual	Mto. Mecánico
7	Chumaceras Eje Intermedio x2 und (1 pt c/u)	Lith Plus EP2	14 gr	Engrase	Diario	Bomba manual	Mto. Autónomo
8	Engranaje abierto Eje Intermedio - Tambor	Móvil Gear SHC 22M	-	Engrase	Automático	Bomba automática	Mto. Mecánico
9	Chumaceras Eje Tambor x 2 und (1 pt c/u)	Lith Plus EP2	14 gr	Engrase	Diario	Bomba manual	Mto. Autónomo
10	Cable De Acero	Mezcla 6:3:1	8 lt	Engrase	2 veces x semana	Manual	Mto. Autónomo
<p>Hacer uso adecuado del de los procedimientos de seguridad y el uso de elementos de protección personal para las diferentes actividades de lubricación.</p>							
<p>SIMBOLOS DE LA FRECUENCIA DE LA LUBRICACION</p>							
DIARIO	SEMANAL	QUINCENAL	MENSUAL	TRIMESTRAL	SEMESTRAL	ANUAL	
○	△	◇	□	⬡	▭	▭	
<p>Nota 1. Mezcla 6:3:1 de grasas Petrobras Betumen 400, Calcium GR 3 y aceite. Aproximadamente 2 a 3 gr ~1 bombazo</p>							
<p>1. Aproximadamente 14 gr ~ 7 bombazos</p>				<p>3. Aproximadamente 25 gr ~ 13 bombazos</p>			
<p>2. Aproximadamente 24 gr ~ 12 bombazos</p>				<p>4. Aproximadamente 43 gr ~ 22 bombazos</p>			
<p>5. Aproximadamente 195 gr ~ 98 bombazos</p>							
<p>ACTUALIZO: RODRIGO BUSTAMANTE - DONALDO AGUDELO</p>				<p>Revisó: Ing. Sebastian Sarmiento</p>			

Malacate de proa izquierdo

Ilustración 14.

Ficha de lubricación malacate de proa izquierdo (Mineros Aluvial SAS, 2023).

		FICHA DE LUBRICACIÓN ÁREA: INGENIERÍA Y PLANEACIÓN DE MANTENIMIENTO REVISÓ: INGENIERO DE CONFIABILIDAD APROBÓ: DIRECTOR DE INGENIERÍA Y PLANEACIÓN DE MANTENIMIENTO			C&L-FOR-008 Edición No. 2 Fecha edición Mayo de 2017		
DRAGA DE CUCHARAS N°3 - MALACATE DE PROA		Ubicación física:	LADO IZQUIERDO	Fecha elaboración:	oct-23		
							
PUNTO	COMPONENTE	LUBRICANTE	CANT	TAREA	FRECUENCIA	METODO	RESPONSABLE
1	Motor Eléctrico (2 pts)	Polytec 2	24 gr	Engrase	Trimestral	Bomba manual	Mto. Eléctrico
2	Acople Falk Motor-Caja reductora T10 1100T	LMCG 1 SKF	43 gr	Engrase	Trimestral	Bomba manual	Mto. Autónomo
2	Acople Falk Motor-Caja reductora T10 1100T	LMCG 1 SKF	430 gr	Engrase	Anual	Manual	Mto. Mecánico
3	Reductor de Velocidad - Nivel	Gear 320	-	Revisar	Diario	Visual	Mto. Autónomo
4	Acople Falk Motor-Caja reductora T10 1100T	LMCG 1 SKF	195 gr	Engrase	Trimestral	Bomba manual	Mto. Autónomo
4	Acople Falk Motor-Caja reductora T10 1100T	LMCG 1 SKF	1950 gr	Engrase	Anual	Manual	Mto. Mecánico
5	Chumaceras Eje Intermedio x 2 und (1 pt c/u)	Lith Plus EP2	14 gr	Engrase	Diario	Bomba manual	Mto. Autónomo
6	Engranaje abierto Eje Intermedio - Tambor	Móvil Gear SHC 22M	-	Engrase	Automático	Bomba automática	Mto. Mecánico
7	Chumaceras Eje Tambor x 2 und (1 pt c/u)	Lith Plus EP2	14 gr	Engrase	Diario	Bomba manual	Mto. Autónomo
8	Cable De Acero	Mezcla 6:3:1	8 lt	Engrase	2 veces x semana	Manual	Mto. Autónomo
Hacer uso adecuado del de los procedimientos de seguridad y el uso de elementos de protección personal para las diferentes actividades de lubricación.							
SIMBOLOS DE LA FRECUENCIA DE LA LUBRICACION							
DIARIO	SEMANAL	QUINCENAL	MENSUAL	TRIMESTRAL	SEMESTRAL	ANUAL	
○	△	◇	□	⬡	▭	▭	
Nota 1. Mezcla 6:3:1 de grasas Petrobras Betumen 400, Calcium GR 3 y aceite. Aproximadamente 2 a 3 gr ~1 bombazo							
1. Aproximadamente 14 gr ~ 7 bombazos		3. Aproximadamente 25 gr ~ 13 bombazos					
2. Aproximadamente 24 gr ~ 12 bombazos		4. Aproximadamente 43 gr ~ 22 bombazos					
5. Aproximadamente 195 gr ~ 98 bombazos							
ACTUALIZO: RODRIGO BUSTAMANTE - DONALDO AGUDELO				Revisó: Ing. Sebastian Sarmiento			

Cálculos teóricos

Valores teóricos para los mecanismos: Malacate Proa derecho (4)

Tabla 4.

Chumacera eje intermedio derecho.

CHUMACERA EJE INTERMEDIO DERECHO	
DATOS ENTRADA	
Diámetro (D) – cm	13.97
Juego diametral (jd) –cm	0.0127
Longitud casquete (L)- cm	25.4
RPM	99
Densidad grasa gr/cm ³	0.95
Constante de RPM (Kg)	0.1
Cantidad (cm ³ /h)	1.4
Cantidad (gr/h)	1.3
Cantidad por turno teóricos (gr/turno)	10.8
Cantidad aplicada según cálculos	12.0
Cantidad por turno teóricos (bombazos)	6

Tabla 5.

Chumacera eje intermedio izquierdo.

CHUMACERA EJE INTERMEDIO IZQUIERDO	
Datos entrada	
Diámetro (D) – cm	13.97
Juego diametral (jd) –cm	0.0127
Longitud casquete (L) –cm	25.4
RPM	99
Densidad grasa gr/cm ³	0.95
Constante de RPM (Kg)	0.1
Cantidad (cm ³ /h)	1.4
Cantidad (gr/h)	1.3
Cantidad por turno teóricos (gr/turno)	10.8
Cantidad aplicada según cálculos	12.0
Cantidad por turno teóricos (bombazos)	6

Tabla 6.*Chumacera tambor lado derecho.*

CHUMACERA TAMBOR LADO DERECHO	
DATOS DE ENTRADA	
Diámetro (D) – cm	15.875
Juego diametral (jd) –cm	0.01524
Longitud casquete (L) –cm	25.4
RPM	99
Densidad grasa gr/cm ³	0.95
Constante de RPM (Kg)	0.1
Cantidad (cm ³ /h)	1.9
Cantidad (gr/h)	1.8
Cantidad por turno teóricos (gr/turno)	14.7
Cantidad aplicada según cálculos	16.0
Cantidad por turno teóricos (bombazos)	8

Tabla 7.*Chumacera tambor lado izquierdo.*

CHUMACERA TAMBOR LADO IZQUIERDO	
DATOS DE ENTRADA	
Diámetro (D) – cm	15.875
Juego diametral (jd) –cm	0.01524
Longitud casquete (L) –cm	25.4
RPM	99
Densidad grasa gr/cm ³	0.95
Constante de RPM (Kg)	0.1
Cantidad (cm ³ /h)	1.9
Cantidad (gr/h)	1.8
Cantidad por turno teóricos (gr/turno)	14.7
Cantidad aplicada según cálculos	16.0
Cantidad por turno teóricos (bombazos)	8

Malacate de proa izquierdo (4)

Tabla 8.

Chumacera eje intermedio derecho.

CHUMACERA EJE INTERMEDIO DERECHO	
DATOS ENTRADA	
Diámetro (D) – cm	13.97
Juego diametral (jd) –cm	0.0127
Longitud casquete (L)- cm	25.4
RPM	99
Densidad grasa gr/cm ³	0.95
Constante de RPM (Kg)	0.1
Cantidad (cm ³ /h)	1.4
Cantidad (gr/h)	1.3
Cantidad por turno teóricos (gr/turno)	10.8
Cantidad aplicada según cálculos	12.0
Cantidad por turno teóricos (bombazos)	6

Tabla 9.

Chumacera eje intermedio izquierdo.

CHUMACERA EJE INTERMEDIO IZQUIERDO	
Datos entrada	
Diámetro (D) – cm	13.97
Juego diametral (jd) –cm	0.0127
Longitud casquete (L) –cm	25.4
RPM	99
Densidad grasa gr/cm ³	0.95
Constante de RPM (Kg)	0.1
Cantidad (cm ³ /h)	1.4
Cantidad (gr/h)	1.3
Cantidad por turno teóricos (gr/turno)	10.8
Cantidad aplicada según cálculos	12.0
Cantidad por turno teóricos (bombazos)	6

Tabla 10.*Chumacera tambor lado derecho.*

CHUMACERA TAMBOR LADO DERECHO	
DATOS DE ENTRADA	
Diámetro (D) – cm	15.875
Juego diametral (jd) –cm	0.01524
Longitud casquete (L) –cm	25.4
RPM	99
Densidad grasa gr/cm ³	0.95
Constante de RPM (Kg)	0.1
Cantidad (cm ³ /h)	1.9
Cantidad (gr/h)	1.8
Cantidad por turno teóricos (gr/turno)	14.7
Cantidad aplicada según cálculos	16.0
Cantidad por turno teóricos (bombazos)	8

Tabla 11.*Chumacera tambor lado izquierdo.*

CHUMACERA TAMBOR LADO IZQUIERDO	
DATOS DE ENTRADA	
Diámetro (D) – cm	15.875
Juego diametral (jd) –cm	0.01524
Longitud casquete (L) –cm	25.4
RPM	99
Densidad grasa gr/cm ³	0.95
Constante de RPM (Kg)	0.1
Cantidad (cm ³ /h)	1.9
Cantidad (gr/h)	1.8
Cantidad por turno teóricos (gr/turno)	14.7
Cantidad aplicada según cálculos	16.0
Cantidad por turno teóricos (bombazos)	8

Criba giratoria (10)

Tabla 12.

Chumacera rolo motriz norte.

CHUMACERA ROLO MOTRIZ NORTE	
Datos entrada	
Diámetro (D) – cm	45.72
Juego diametral (jd) –cm	0.0254
Longitud casquete (L) –cm	25.4
RPM	99
Densidad grasa gr/cm ³	0.95
Constante de RPM (Kg)	0.1
Cantidad (cm ³ /h)	9.3
Cantidad (gr/h)	8.8
Cantidad por turno teóricos (gr/turno)	70.4
Cantidad aplicada según cálculos	72
Cantidad por turno teóricos (bombazos)	36

Tabla 13.

Chumacera rolo motriz sur.

CHUMACERA ROLO MOTRIZ SUR	
Datos entrada	
Diámetro (D) – cm	45.72
Juego diametral (jd) –cm	0.0254
Longitud casquete (L) –cm	25.4
RPM	99
Densidad grasa gr/cm ³	0.95
Constante de RPM (Kg)	0.1
Cantidad (cm ³ /h)	9.3
Cantidad (gr/h)	8.8
Cantidad por turno teóricos (gr/turno)	70.4
Cantidad aplicada según cálculos	72
Cantidad por turno teóricos (bombazos)	36

Tabla 14.*Chumacera rolo guía superior derecho norte.*

CHUMACERA ROLO GUIA SUPERIOR DERECHO NORTE	
Datos entrada	
Diámetro (D) – cm	16.51
Juego diametral (jd) –cm	0.01524
Longitud casquete (L) –cm	35.56
RPM	99
Densidad grasa gr/cm ³	0.95
Constante de RPM (Kg)	0.1
Cantidad (cm ³ /h)	2.8
Cantidad (gr/h)	2.7
Cantidad por turno teóricos(gr/turno)	21.4
Cantidad aplicada según cálculos	22
Cantidad por turno teóricos(bombazos)	11

Tabla 15.*Chumacera rolo guía superior derecho sur.*

CHUMACERA ROLO GUÍA SUPERIOR DERECHO SUR	
Datos entrada	
Diámetro (D) – cm	16.51
Juego diametral (jd) –cm	0.01524
Longitud casquete (L) –cm	35.56
RPM	99
Densidad grasa gr/cm ³	0.95
Constante de RPM (Kg)	0.1
Cantidad (cm ³ /h)	2.8
Cantidad (gr/h)	2.7
Cantidad por turno teóricos (gr/turno)	21.4
Cantidad aplicada según cálculos	22
Cantidad por turno teóricos (bombazos)	11

Tabla 16.*Chumacera rolo guía superior izquierdo norte.*

CHUMACERA ROLO GUIA SUPERIOR IZQUIERDO NORTE	
Datos entrada	
Diámetro (D) – cm	16.51
Juego diametral (jd) –cm	0.01524
Longitud casquete (L) –cm	35.56
RPM	99
Densidad grasa gr/cm ³	0.95
Constante de RPM (Kg)	0.1
Cantidad (cm ³ /h)	2.8
Cantidad (gr/h)	2.7
Cantidad por turno teóricos (gr/turno)	21.4
Cantidad aplicada según cálculos	22
Cantidad por turno teóricos (bombazos)	11

Tabla 17.*Chumacera rolo guía superior izquierdo sur.*

CHUMACERA ROLO GUIA SUPERIOR IZQUIERDO SUR	
Datos entrada	
Diámetro (D) – cm	16.51
Juego diametral (jd) –cm	0.01524
Longitud casquete (L) –cm	35.56
RPM	99
Densidad grasa gr/cm ³	0.95
Constante de RPM (Kg)	0.1
Cantidad (cm ³ /h)	2.8
Cantidad (gr/h)	2.7
Cantidad por turno teóricos (gr/turno)	21.4
Cantidad aplicada según cálculos	22
Cantidad por turno teóricos (bombazos)	11

Tabla 18.*Chumacera rolo guía inferior derecho.*

CHUMACERA ROLO GUIA INFERIOR DERECHO	
Datos entrada	
Diámetro (D) – cm	12.7
Juego diametral (jd) –cm	0.0127
Longitud casquete (L) –cm	27.94
RPM	99
Densidad grasa gr/cm ³	0.95
Constante de RPM (Kg)	0.1
Cantidad (cm ³ /h)	1.4
Cantidad (gr/h)	1.3
Cantidad por turno teóricos (gr/turno)	10.8
Cantidad aplicada según cálculos	12
Cantidad por turno teóricos (bombazos)	6

Tabla 19.*Chumacera rolo guía inferior izquierdo.*

CHUMACERA ROLO GUIA INFERIOR IZQUIERDO	
Datos entrada	
Diámetro (D) – cm	12.7
Juego diametral (jd) –cm	0.0127
Longitud casquete (L) –cm	27.94
RPM	99
Densidad grasa gr/cm ³	0.95
Constante de RPM (Kg)	0.1
Cantidad (cm ³ /h)	1.4
Cantidad (gr/h)	1.3
Cantidad por turno teóricos (gr/turno)	10.8
Cantidad aplicada según cálculos	12
Cantidad por turno teóricos (bombazos)	6

Tabla 20.*Chumacera rolo cónico izquierdo.*

CHUMACERA ROLO CONICO IZQUIERDO	
Datos entrada	
Diámetro (D) – cm	15.24
Juego diametral (jd) –cm	0.01524
Longitud casquete (L) –cm	18.161
RPM	99
Densidad grasa gr/cm ³	0.95
Constante de RPM (Kg)	0.1
Cantidad (cm ³ /h)	1.3
Cantidad (gr/h)	1.3
Cantidad por turno teóricos(gr/turno)	10.1
Cantidad aplicada según cálculos	12.0
Cantidad por turno teóricos(bombazos)	6

Tabla 21.*Chumacera rolo cónico derecho.*

CHUMACERA ROLO CONICO DERECHO	
Datos entrada	
Diámetro (D) – cm	15.24
Juego diametral (jd) –cm	0.01524
Longitud casquete (L) –cm	18.161
RPM	99
Densidad grasa gr/cm ³	0.95
Constante de RPM (Kg)	0.1
Cantidad (cm ³ /h)	1.3
Cantidad (gr/h)	1.3
Cantidad por turno teóricos(gr/turno)	10.1
Cantidad aplicada según cálculos	12.0
Cantidad por turno teóricos(bombazos)	6

Transmisión principal (2)

Tabla 22.*Transmisión principal lado derecho.*

TRANSMISION PRINCIPAL LADO DERECHO	
Datos entrada	
Diámetro (D) – cm	38.735
Juego diametral (jd) –cm	0.0381
Longitud casquete (L) –cm	55.8
RPM	99
Densidad grasa gr/cm ³	0.95
Constante de RPM (Kg)	0.1
Cantidad (cm ³ /h)	25.9
Cantidad (gr/h)	24.6
Cantidad por turno teóricos(gr/turno)	196.6
Cantidad aplicada según cálculos	198
Cantidad por turno teóricos(bombazos)	99

Tabla 23.*Transmisión principal lado izquierdo.*

TRANSMISION PRINCIPAL LADO IZQUIERDO	
Datos entrada	
Diámetro (D) – cm	38.735
Juego diametral (jd) –cm	0.0381
Longitud casquete (L) –cm	55.8
RPM	99
Densidad grasa gr/cm ³	0.95
Constante de RPM (Kg)	0.1
Cantidad (cm ³ /h)	25.9
Cantidad (gr/h)	24.6
Cantidad por turno teóricos(gr/turno)	196.6
Cantidad aplicada según cálculos	198
Cantidad por turno teóricos(bombazos)	99

Tambor loco (2)

Tabla 24.*Chumacera derecha tambor loco.*

CHUMACERA DERECHA TAMBOR LOCO	
Datos entrada	
Diámetro (D) – cm	20.3073
Juego diametral (jd) –cm	0.02032
Longitud casquete (L) –cm	45.72
RPM	99
Densidad grasa gr/cm ³	0.95
Constante de RPM (Kg)	0.1
Cantidad (cm ³ /h)	5.9
Cantidad (gr/h)	5.6
Cantidad por turno teóricos(gr/turno)	45.0
Cantidad aplicada según cálculos	46
Cantidad por turno teóricos(bombazos)	23

Tabla 25.*Chumacera derecha tambor loco.*

CHUMACERA IZQUIERDA TAMBOR LOCO	
Datos entrada	
Diámetro (D) – cm	20.3073
Juego diametral (jd) –cm	0.02032
Longitud casquete (L) –cm	45.72
RPM	99
Densidad grasa gr/cm ³	0.95
Constante de RPM (Kg)	0.1
Cantidad (cm ³ /h)	5.9
Cantidad (gr/h)	5.6
Cantidad por turno teóricos(gr/turno)	45.0
Cantidad aplicada según cálculos	46
Cantidad por turno teóricos(bombazos)	23

Malacate de escala (5)

Tabla 26.

Chumacera tabor lado izquierdo.

TAMBOR LADO IZQUIERDO	
Datos entrada	
Diámetro (D) – cm	17.78
Juego diametral (jd) –cm	0.01778
Longitud casquete (L) –cm	35.56
RPM	99
Densidad grasa gr/cm ³	0.95
Constante de RPM (Kg)	0.1
Cantidad (cm ³ /h)	3.5
Cantidad (gr/h)	3.4
Cantidad por turno teóricos(gr/turno)	26.8
Cantidad aplicada según cálculos	28.0
Cantidad por turno teóricos(bombazos)	14

Tabla 27.

Chumacera tabor lado derecho.

TAMBOR LADO DERECHO	
Datos entrada	
Diámetro (D) – cm	22.702
Juego diametral (jd) –cm	0.02286
Longitud casquete (L) –cm	48.26
RPM	99
Densidad grasa gr/cm ³	0.95
Constante de RPM (Kg)	0.1
Cantidad (cm ³ /h)	7.9
Cantidad (gr/h)	7.5
Cantidad por turno teóricos(gr/turno)	59.8
Cantidad aplicada según cálculos	60.0
Cantidad por turno teóricos(bombazos)	30

Tabla 28.*Chumacera eje intermedio lado izquierdo.*

EJE INTERMEDIO LADO IZQUIERDO	
Datos entrada	
Diámetro (D) – cm	16.51
Juego diametral (jd) –cm	0.01524
Longitud casquete (L) –cm	25.4
RPM	99
Densidad grasa gr/cm ³	0.95
Constante de RPM (Kg)	0.1
Cantidad (cm ³ /h)	2.0
Cantidad (gr/h)	1.9
Cantidad por turno teóricos(gr/turno)	15.3
Cantidad aplicada según cálculos	16.0
Cantidad por turno teóricos(bombazos)	8

Tabla 29.*Chumacera eje intermedio lado derecho.*

EJE INTERMEDIO LADO DERECHO	
Datos entrada	
Diámetro (D) – cm	19.685
Juego diametral (jd) –cm	0.01778
Longitud casquete (L) –cm	30.48
RPM	99
Densidad grasa gr/cm ³	0.95
Constante de RPM (Kg)	0.1
Cantidad (cm ³ /h)	3.4
Cantidad (gr/h)	3.2
Cantidad por turno teóricos(gr/turno)	25.5
Cantidad aplicada según cálculos	26.0
Cantidad por turno teóricos(bombazos)	13

Tabla 30.*Chumacera caja de reducción.*

CHUMACERA CAJA DE REDUCCIÓN	
Datos entrada	
Diámetro (D) – cm	13.97
Juego diametral (jd) –cm	0.0127
Longitud casquete (L) –cm	38.1
RPM	99
Densidad grasa gr/cm ³	0.95
Constante de RPM (Kg)	0.1
Cantidad (cm ³ /h)	2.1
Cantidad (gr/h)	2.0
Cantidad por turno teóricos(gr/turno)	16.1
Cantidad aplicada según cálculos	18.0
Cantidad por turno teóricos(bombazos)	9

3.7.2 Recopilación de datos de operación

Para llevar a cabo esta actividad, se visita la draga No3, se realiza la ruta de lubricación tanto con el colero como con el aceitero de turno, se cuantifica el proceso por la cantidad de bombazos que aplican en cada cojinete liso, además hay sistemas que lubrican más de una vez por turno, por lo que se deben tener en cuenta estas cantidades. La lubricación es un tema muy empírico, a pesar de que existen cartas de lubricación que indican la cantidad de grasa que lleva cada mecanismo, los trabajadores encargados de la lubricación simplemente engrasan hasta el punto donde el cojinete empiece a botar la grasa, o según los valores que tienen en su experiencia. Este trabajo también permitirá definir cuanta diferencia se encuentra entre los valores teóricos calculados con los valores estándares definidos en las cartas de lubricación permitiendo abarcar posibles mejoras en el proceso. Se recopiló la siguiente información:

Tabla 31.*Cantidad grasa aplicada malacates de proa derecho-izquierda.*

Malacate de proa derecho		Malacate de proa izquierdo	
Cantidad grasa aplicada en operación (bombazos)		Cantidad grasa aplicada en operación (bombazos)	
Cojinete liso	Cantidad por turno	Cojinete liso	Cantidad por turno
Chumacera eje intermedio derecho	14	Chumacera eje intermedio derecho	14
Chumacera eje intermedio izquierdo	12	Chumacera eje intermedio izquierdo	12
Chumacera eje tambor lado derecho	12	Chumacera eje tambor lado derecho	12
Chumacera eje tambor lado izquierdo	12	Chumacera eje tambor lado izquierdo	12

Tabla 32.*Cantidad grasa aplicada transmisión principal – tambor loco.*

Transmisión principal		Tambor loco	
Cantidad grasa aplicada en operación (bombazos)		Cantidad grasa aplicada en operación (bombazos)	
Cojinete liso	Cantidad por turno	Cojinete liso	Cantidad por turno
Chumacera lado derecho	80	Chumacera lado derecho	40
Chumacera lado izquierdo	80	Chumacera lado izquierdo	40

Tabla 33.*Cantidad grasa aplicada malacate de escala.*

Malacate de escala	
Cantidad grasa aplicada en operación (bombazos)	
Cojintete liso	Cantidad por turno
Chumacera tambor lado derecho	6
Chumacera tambor lado izquierdo	6
Chumacera eje intermedio lado derecho	6
Chumacera eje intermedio lado izquierdo	6
Chumacera caja de reducción	6

Tabla 34.*Cantidad grasa aplicada criba giratoria.*

Criba giratoria	
Cantidad grasa aplicada en operación (bombazos)	
Cojintete liso	Cantidad por turno
CHUMACERA ROLO MOTRIZ NORTE	80
CHUMACERA ROLO MOTRIZ SUR	120
CHUMACERA ROLO GUIA SUPERIOR DERECHO NORTE	40
CHUMACERA ROLO GUIA SUPERIOR DERECHO SUR	40
CHUMACERA ROLO GUIA SUPERIOR IZQUIERDO NORTE	40
CHUMACERA ROLO GUIA SUPERIOR IZQUIERDO SUR	40
CHUMACERA ROLO GUIA INFERIOR DERECHO	16
CHUMACERA ROLO GUIA INFERIOR IZQUIERDO	4
CHUMACERA ROLO CONICO IZQUIERDO	16
CHUMACERA ROLO CONICO DERECHO	16

3.7.2 Desarrollo de pruebas

En esta fase se deben tener los cálculos teóricos, con el objetivo de realizar nuevas implementaciones de la cantidad de grasa utilizada, acomodar dichas cantidades a las condiciones y garantizar que los todos los cojinetes trabajen por debajo de la temperatura de operación la cual es de 60°, estableciendo valores definidos con operación y proceder a realizar comparativos con las cantidades iniciales operativas.

Propuesta de lubricación

Según los datos teóricos y los datos de la aplicación se establecen rutas de lubricación con los valores mínimos utilizados, es decir en el caso del malacate de escala los valores teóricos son mucho más elevados que los aplicados en la operación, por lo que se dejan establecidos los valores utilizados en operación, en el caso de la transmisión principal los valores teóricos también son

superiores a la operación por lo que se dejan establecidos los valores de operación, en el caso de la criba giratoria y los malacates de proa donde los valores operativos son superiores a los valores teóricos, se toman como puntos de referencia los valores teóricos.

A continuación, se realizan comparaciones entre los valores teóricos y los valores destinados en la operación (potenciales mejoras):

Tabla 35.

Comparación cantidad de grasa teórica vs operación malacate proa derecha.

Malacate de proa derecha (cantidades por turno)			
Cojinete	Valores teóricos [gramos]	Valores de operación [gramos]	Diferencia
Chumacera eje intermedio derecho	12	28	16
Chumacera eje intermedio izquierdo	12	24	12
Chumacera eje tambor derecho	16	24	8
Chumacera eje tambor izquierdo	16	24	8

Tabla 36.

Comparación cantidad de grasa teórica vs operación malacate proa izquierda.

Malacate de proa izquierda (cantidades por turno)			
Cojinete	Valores teóricos [gramos]	Valores de operación [gramos]	Diferencia
Chumacera eje intermedio derecho	12	28	16
Chumacera eje intermedio izquierdo	12	24	12
Chumacera eje tambor derecho	16	24	8
Chumacera eje tambor izquierdo	16	24	8

Tabla 37.

Comparación cantidad de grasa teórica vs operación transmisión principal.

Transmisión principal (cantidades por turno)			
Cojinete	Valores teóricos [gramos]	Valores de operación [gramos]	Diferencia
Chumacera lado derecho	198	160	-38
Chumacera lado izquierdo	198	160	-38

Tabla 38.*Comparación cantidad de grasa teórica vs operación tambor loco.*

Tambor loco (cantidades por turno)			
Cojinete	Valores teoricos [gramos]	Valores de operación [gramos]	Diferencia
Chumacera lado derecho	46	80	34
Chumacera lado izquierdo	46	80	34

Tabla 39.*Comparación cantidad de grasa teórica vs operación malacate de escala.*

Malacate de escala (cantidades por turno)			
Cojinete	Valores teoricos [gramos]	Valores de operación [gramos]	Diferencia
Chumacera tambor lado derecho	60	6	-54
Chumacera tambor lado izquierdo	28	6	-22
Chumacera eje intermedio lado derecho	26	6	-20
Chumacera eje intermedio lado izquierdo	16	6	-10
Chumacera caja de reducción	18	6	-12

Tabla 40.*Comparación cantidad de grasa teórica vs operación criba giratoria.*

Criba giratoria (cantidades por turno)			
Cojinete	Valores teoricos [gramos]	Valores de operación [gramos]	Diferencia
Chumacera rolo motriz norte	72	160	88
Chumacera rolo motriz sur	72	240	168
Chumacera rolo guía superior derecho norte	22	80	58
Chumacera rolo guía superior derecho sur	22	80	58
Chumacera rolo guía superior izquierdo norte	22	80	58
Chumacera rolo guía superior izquierdo sur	22	80	58
Chumacera rolo guía inferior derecho	12	32	20
Chumacera rolo guía inferior izquierdo	12	8	-4
Chumacera rolo conico izquierdo	12	32	20
Chumacera rolo conico derecho	12	32	20

De lo anterior, se evidencian potenciales mejoras en los siguientes mecanismos: malacates de proa, criba giratoria, tambor loco. En el malacate de escala y la transmisión principal los valores utilizados en la operación son menores a los cálculos teóricos, por los que se establecen como valores estándar, sin embargo, no se descarta la disminución de estas cantidades utilizadas por el personal.

Se destinan 6 días consecutivos con el fin de implementar las optimizaciones adecuadas, esto con la finalidad de chequear la temperatura de operación, si la temperatura se encuentra por debajo de la permitida no hay necesidad de lubricar nuevamente, cada día se tomó la temperatura de las chumaceras cada hora, es importante aclarar que todos los días no se realizarán la misma cantidad de mediciones, ya que según la operatividad de la draga hay días que se detiene la operación mucho más tiempo que otros y no es relevante tomar mediciones con los mecanismos estáticos.

Se llevó a cabo la optimización partiendo de los valores teóricos, sin embargo, en algunas chumaceras se logró optimizar estos valores por debajo de los valores calculados, especialmente en la criba giratoria y en el tambor loco, donde se notaron mejoras a gran escala.

Diferencia cartas de lubricación con respecto a las cantidades aplicadas.

En las siguientes tablas se puede identificar dos renglones los cuales están destinados como diferencia teórica vs real, quiere decir la diferencia en gramos que existe entre la cantidad teórica y la cantidad aplicada por el personal. Otro renglón describe la diferencia entre la cantidad descrita en la carta de lubricación y los valores utilizados en la optimización (los cuales pueden ser los teóricos o los valores optimizados) este renglón se encuentra en las tablas como diferencia carta por real. En los malacates de proa se establecieron los valores teóricos:

Malacate de proa derecho:

Tabla 41.

Mediciones chumacera eje intermedio derecho.

CHUMACERA EJE INTERMEDIO DERECHO				
DATOS ENTRADA		MEDICIONES		TEMPERATURA (°C)
Diametro (D) - (cm)	13.97	7/9/2023	10:00 a.m.	33.8
Juego diametral (jd) - (cm)	0.0127		11:00 a.m.	34
Longitud casquete (L) - (cm)	25.4		12:00 p.m.	34
RPM	99		3:00 p.m.	33.7
Densidad grasa gr/(cm)3	0.95	8/9/2023	10:00 a.m.	35.7
Constante de RPM (Kg)	0.1		11:00 a.m.	36.1
Cantidad ((cm)3/h)	1.4		12:00 p.m.	37.6
Cantidad (gr/h)	1.3		2:30 p.m.	38
Cantidad por turno teóricos (gr/turno)	10.8	9/9/2023	3:30 p.m.	37.2
Cantidad aplicada según cálculos	12.0		9:00 a.m.	35.2
Cantidad por turno teóricos (bombazos)	6		10:20 a.m.	36.7
Cantidad real por turno (bombazos)	14		11:40 a.m.	37.1
Cantidad real por turno (gr)	28	10/9/2023	8:30 a.m.	34.5
Diferencia teórica vs real	16.0		9:30 a.m.	36
Cantidad por carta (bombazos)	7.5		10:30 a.m.	37.8
Cantidad por carta (gr)	15	11/9/2023	10:00 a.m.	40.9
Diferencia carta por real	3.0		11:00 a.m.	36.7
Medición de temperaturas a partir de la aplicación de los valores teóricos			11:45 a.m.	37.4
			1:20 p.m.	36.5
			2:30 p.m.	36.7
		3:40 p.m.	35.9	
		12/9/2023	10:00 a.m.	34.2
11:00 a.m.	35.1			
2:00 p.m.	37.2			
		3:00 p.m.	37.8	

Tabla 42.

Mediciones chumacera eje intermedio izquierdo.

CHUMACERA EJE INTERMEDIO IZQUIERDO		MEDICIONES		TEMPERATURA (°C)
datos entrada				
Diametro (D) - (cm)	13.97	7/9/2023	10:00 a.m.	33.4
Juego diametral (jd) - (cm)	0.0127		11:00 a.m.	33.6
Longitud casquete (L) - (cm)	25.4		12:00 p.m.	33.6
RPM	99		3:00 p.m.	33.3
Densidad grasa gr/(cm)3	0.95	8/9/2023	10:00 a.m.	34.9
Constante de RPM (Kg)	0.1		11:00 a.m.	36.1
Cantidad ((cm)3/h)	1.4		12:00 p.m.	35.3
Cantidad (gr/h)	1.3		2:30 p.m.	36
Cantidad por turno teóricos (gr/turno)	10.8	9/9/2023	3:30 p.m.	36.9
Cantidad aplicada según cálculos	12.0		9:00 a.m.	36.5
Cantidad por turno teóricos (bombazos)	6		10:20 a.m.	39.1
Cantidad real por turno (bombazos)	12		11:40 a.m.	41
Cantidad real por turno (gr)	24	10/9/2023	8:30 a.m.	34.7
Diferencia teórica vs real	12.0		9:30 a.m.	35.3
Cantidad por carta (bombazos)	7.5		10:30 a.m.	36
Cantidad por carta (gr)	15	11/9/2023	10:00 a.m.	35.2
Diferencia carta por real	3.0		11:00 a.m.	41
Medición de temperaturas a partir de la aplicación de los valores teóricos			11:45 a.m.	47
			1:20 p.m.	46
			2:30 p.m.	39.7
		3:40 p.m.	38.5	
		12/9/2023	10:00 a.m.	34.8
11:00 a.m.	34.8			
2:00 p.m.	36.1			
		3:00 p.m.	36	

Tabla 43.
Mediciones tambor lado derecho.

CHUMACERA TAMBOR LADO DERECHO		MEDICIONES		TEMPERATURA (°C)
DATOS DE ENTRADA		7/9/2023	10:00 a.m.	33.4
Diametro (D) - (cm)	15.875		11:00 a.m.	31.8
Juego diametral (jd) - (cm)	0.01524		12:00 p.m.	31.6
Longitud casquete (L) - (cm)	25.4		3:00 p.m.	31.6
RPM	99	8/9/2023	10:00 a.m.	30.8
Densidad grasa gr/(cm) ³	0.95		11:00 a.m.	30.5
Constante de RPM (Kg)	0.1		12:00 p.m.	31.9
Cantidad ((cm) ³ /h)	1.9		2:30 p.m.	33.5
Cantidad (gr/h)	1.8	9/9/2023	3:30 p.m.	33.9
Cantidad por turno teóricos (gr/turno)	14.7		9:00 a.m.	30.9
Cantidad aplicada según cálculos	16.0		10:20 a.m.	31.9
Cantidad por turno teóricos (bombazos)	8		11:40 a.m.	32.9
Cantidad real por turno (bombazos)	12	10/9/2023	8:30 a.m.	28.5
Cantidad real por turno (gr)	24		9:30 a.m.	29.1
Diferencia teórica vs real	8.0		10:30 a.m.	29.9
Cantidad por carta (bombazos)	7.5		10:00 a.m.	30
Cantidad por carta (gr)	15	11/9/2023	11:00 a.m.	31.8
Diferencia carta por real	-1.0		11:45 a.m.	34.8
Medición de temperaturas a partir de la aplicación de los valores teóricos			1:20 p.m.	33.4
			2:30 p.m.	32.8
			3:40 p.m.	32.9
		12/9/2023	10:00 a.m.	29.2
			11:00 a.m.	30
2:00 p.m.	31.1			
3:00 p.m.	33.3			

Tabla 44.
Chumacera tambor lado izquierdo.

CHUMACERA TAMBOR LADO IZQUIERDO		MEDICIONES		TEMPERATURA(°C)
DATOS DE ENTRADA		7/9/2023	10:00 a.m.	32.6
Diametro (D) - (cm)	15.875		11:00 a.m.	30.8
Juego diametral (jd) - (cm)	0.01524		12:00 p.m.	30.7
Longitud casquete (L) - (cm)	25.4		3:00 p.m.	31
RPM	99	8/9/2023	10:00 a.m.	31
Densidad grasa gr/(cm) ³	0.95		11:00 a.m.	30.7
Constante de RPM (Kg)	0.1		12:00 p.m.	32.5
Cantidad ((cm) ³ /h)	1.9		2:30 p.m.	32.4
Cantidad (gr/h)	1.8	9/9/2023	3:30 p.m.	32.9
Cantidad por turno teóricos (gr/turno)	14.7		9:00 a.m.	30.3
Cantidad aplicada según cálculos	16.0		10:20 a.m.	31.6
Cantidad por turno teóricos (bombazos)	8		11:40 a.m.	32.5
Cantidad real por turno (bombazos)	12	10/9/2023	8:30 a.m.	29.2
Cantidad real por turno (gr)	24		9:30 a.m.	29.9
Diferencia teórica vs real	8.0		10:30 a.m.	30.3
Cantidad por carta (bombazos)	7.5		10:00 a.m.	30.2
Cantidad por carta (gr)	15	11/9/2023	11:00 a.m.	31.6
Diferencia carta por real	-1.0		11:45 a.m.	32.9
Medición de temperaturas a partir de la aplicación de los valores teóricos			1:20 p.m.	32.8
			2:30 p.m.	32.6
			3:40 p.m.	32.8
		12/9/2023	10:00 a.m.	29.6
			11:00 a.m.	30.2
2:00 p.m.	31.1			
3:00 p.m.	32.3			

Tabla 45.
Chumacera eje intermedio derecho.

CHUMACERA EJE INTERMEDIO DERECHO					
DATOS ENTRADA		MEDICIONES		TEMPERATURA (°C)	
Diametro (D) - (cm)	13.97	7/9/2023	10:00 a.m.	29.4	
Juego diametral (jd) -(cm)	0.0127		11:00 a.m.	34	
Longitud casquete (L)- (cm)	25.4		12:00 p.m.	34.3	
RPM	99		3:00 p.m.	35	
Densidad grasa gr/(cm) ³	0.95	8/9/2023	10:00 a.m.	38.7	
Constante de RPM (Kg)	0.1		11:00 a.m.	39.5	
Cantidad ((cm) ³ /h)	1.4		12:00 p.m.	37.5	
Cantidad (gr/h)	1.3		2:30 p.m.	37.4	
Cantidad por turno teóricos (gr/turno)	10.8	9/9/2023	3:30 p.m.	37.9	
Cantidad aplicada según cálculos	12.0		9:00 a.m.	40.1	
Cantidad por turno teóricos (bombazos)	6		10:20 a.m.	42.1	
Cantidad real por turno (bombazos)	14	10/9/2023	11:40 a.m.	40.9	
Cantidad real por turno (gr)	28		8:30 a.m.	41.3	
Diferencia teórica vs real	16.0	10/9/2023	9:30 a.m.	37.4	
Cantidad por carta (bombazos)	7.5		10:30 a.m.	42	
Cantidad por carta (gr)	15	11/9/2023	10:00 a.m.	41.1	
Diferencia carta por real	3.0		11:00 a.m.	42	
Medición de temperaturas a partir de la aplicación de los valores teóricos				11:45 a.m.	44.6
				1:20 p.m.	41.8
				2:30 p.m.	39.8
		3:40 p.m.		39	
		12/9/2023			
11:00 a.m.	35.9				
2:00 p.m.	36.6				
3:00 p.m.	37.8				

Tabla 46.
Chumacera eje intermedio izquierdo.

CHUMACERA EJE INTERMEDIO IZQUIERDO		MEDICIONES		TEMPERATURA (°C)	
datos entrada					
Diametro (D) - (cm)	13.97	7/9/2023	10:00 a.m.	30.1	
Juego diametral (jd) -(cm)	0.0127		11:00 a.m.	33.2	
Longitud casquete (L) -(cm)	25.4		12:00 p.m.	33.9	
RPM	99		3:00 p.m.	33.9	
Densidad grasa gr/(cm) ³	0.95	8/9/2023	10:00 a.m.	34.3	
Constante de RPM (Kg)	0.1		11:00 a.m.	36	
Cantidad ((cm) ³ /h)	1.4		12:00 p.m.	34.8	
Cantidad (gr/h)	1.3		2:30 p.m.	35.9	
Cantidad por turno teóricos (gr/turno)	10.8	9/9/2023	3:30 p.m.	36	
Cantidad aplicada según cálculos	12.0		9:00 a.m.	33.4	
Cantidad por turno teóricos (bombazos)	6		10:20 a.m.	35.3	
Cantidad real por turno (bombazos)	12	10/9/2023	11:40 a.m.	34.7	
Cantidad real por turno (gr)	24		8:30 a.m.	31.8	
Diferencia teórica vs real	12.0	10/9/2023	9:30 a.m.	31.8	
Cantidad por carta (bombazos)	7.5		10:30 a.m.	34	
Cantidad por carta (gr)	15	11/9/2023	10:00 a.m.	33.5	
Diferencia carta por real	3.0		11:00 a.m.	35.4	
Medición de temperaturas a partir de la aplicación de los valores teóricos				11:45 a.m.	39.2
				1:20 p.m.	37.3
				2:30 p.m.	36.6
		3:40 p.m.		36.4	
		12/9/2023			
11:00 a.m.	33.2				
2:00 p.m.	35.6				
3:00 p.m.	36.6				

Tabla 47.
Chumacera tambor lado derecho.

CHUMACERA TAMBOR LADO DERECHO		MEDICIONES		TEMPERATURA (°C)
DATOS DE ENTRADA		7/9/2023	10:00 a.m.	30.9
Diametro (D) - (cm)	15.875		11:00 a.m.	32
Juego diametral (jd) -(cm)	0.01524		12:00 p.m.	32.7
Longitud casquete (L) -(cm)	25.4		3:00 p.m.	33.6
RPM	99	8/9/2023	10:00 a.m.	30.4
Densidad grasa gr/(cm) ³	0.95		11:00 a.m.	30
Constante de RPM (Kg)	0.1		12:00 p.m.	32.8
Cantidad ((cm) ³ /h)	1.9		2:30 p.m.	35.6
Cantidad (gr/h)	1.8	9/9/2023	3:30 p.m.	35.8
Cantidad por turno teóricos (gr/turno)	14.7		9:00 a.m.	29.5
Cantidad aplicada según cálculos	16.0		10:20 a.m.	30.5
Cantidad por turno teóricos (bombazos)	8		11:40 a.m.	31.8
Cantidad real por turno (bombazos)	12	10/9/2023	8:30 a.m.	27.9
Cantidad real por turno (gr)	24		9:30 a.m.	28.2
Diferencia teórica vs real	8.0		10:30 a.m.	29.1
Cantidad por carta (bombazos)	7.5		11/9/2023	10:00 a.m.
Cantidad por carta (gr)	15	11:00 a.m.		31.4
Diferencia carta por real	-1.0	11:45 a.m.		34.4
Medición de temperaturas a partir de la aplicación de los valores teóricos		11/9/2023		1:20 p.m.
			2:30 p.m.	33.1
			3:40 p.m.	33.2
			12/9/2023	10:00 a.m.
		11:00 a.m.		30.2
		2:00 p.m.		31.1
		3:00 p.m.		33.6

Tabla 48.
Chumacera tambor lado izquierdo.

CHUMACERA TAMBOR LADO IZQUIERDO		MEDICIONES		TEMPERATURA(°C)
DATOS DE ENTRADA		7/9/2023	10:00 a.m.	30.5
Diametro (D) - (cm)	15.875		11:00 a.m.	31.5
Juego diametral (jd) -(cm)	0.01524		12:00 p.m.	32.2
Longitud casquete (L) -(cm)	25.4		3:00 p.m.	32.5
RPM	99	8/9/2023	10:00 a.m.	30.8
Densidad grasa gr/(cm) ³	0.95		11:00 a.m.	30
Constante de RPM (Kg)	0.1		12:00 p.m.	33.1
Cantidad ((cm) ³ /h)	1.9		2:30 p.m.	35
Cantidad (gr/h)	1.8	9/9/2023	3:30 p.m.	35.5
Cantidad por turno teóricos (gr/turno)	14.7		9:00 a.m.	29.5
Cantidad aplicada según cálculos	16.0		10:20 a.m.	30.2
Cantidad por turno teóricos (bombazos)	8		11:40 a.m.	31.7
Cantidad real por turno (bombazos)	12	10/9/2023	8:30 a.m.	28.4
Cantidad real por turno (gr)	24		9:30 a.m.	28.6
Diferencia teórica vs real	8.0		10:30 a.m.	29.2
Cantidad por carta (bombazos)	7.5		11/9/2023	10:00 a.m.
Cantidad por carta (gr)	15	11:00 a.m.		31.8
Diferencia carta por real	-1.0	11:45 a.m.		35
Medición de temperaturas a partir de la aplicación de los valores teóricos		11/9/2023		1:20 p.m.
			2:30 p.m.	33.2
			3:40 p.m.	33.5
			12/9/2023	10:00 a.m.
		11:00 a.m.		29.7
		2:00 p.m.		31
		3:00 p.m.		34.3

Criba giratoria:

En la criba giratoria, algunos componentes fueron optimizados, por lo que algunas tablas donde se subraya la cantidad utilizada en el procedimiento están por debajo de la cantidad teórica, con su respectiva explicación.

Tabla 49.*Chumacera rolo motriz sur.*

CHUMACERA ROLO MOTRIZ SUR				
DATOS ENTRADA		MEDICIONES		TEMPERATURA (°C)
Diametro (D) - cm	45.72	7/9/2023	10:00 a.m.	33.2
Juego diametral (jd) -cm	0.0254		11:00 a.m.	34.2
longitud casquete (L) -cm	25.4		12:00 p.m.	36
RPM	99		3:00 p.m.	36
Densidad grasa gr/cm3	0.95	8/9/2023	10:00 a.m.	33.8
Constante de RPM (Kg)	0.1		11:00 a.m.	34.2
Cantidad (cm3/h)	9.3		12:00 p.m.	35.1
Cantidad (gr/h)	8.8		2:30 p.m.	37
Cantidad por turno teóricos (gr/turno)	70.4	9/9/2023	3:30 p.m.	38.7
Cantidad aplicada según optimización	60.0		9:00 a.m.	32
Cantidad por turno optimización (bombazos)	30		10:20 a.m.	34.7
Cantidad real por turno (bombazos)	120		11:40 a.m.	35.1
Cantidad real por turno (gr)	240	10/9/2023	8:30 a.m.	33.2
Diferencia teórica vs real	180.0		9:30 a.m.	32
Cantidad por carta (bombazos)	50		10:30 a.m.	32.2
Cantidad por carta (gr)	100	11/9/2023	10:00 a.m.	33.7
Diferencia carta por real	40.0		11:00 a.m.	35
Temperaturas de trabajo medidas luego de la implementación de las cantidades optimizadas. teóricamente son 72 gramos, pero optimizando se aplicaron 60 gramos, anotando una reducción de 12 gramos con respecto a lo teórico, y una reducción de 180 gramos con respecto a la aplicación real.			11:45 a.m.	34.6
			1:20 p.m.	34.4
		2:30 p.m.	34.2	
		3:40 p.m.	33.2	
		12/9/2023	10:00 a.m.	36.2
			11:00 a.m.	37.8
			2:00 p.m.	38
			3:00 p.m.	34.5

Tabla 50.*Chumacera rolo motriz norte.*

CHUMACERA ROLO MOTRIZ NORTE				
DATOS ENTRADA		MEDICIONES		TEMPERATURA (°C)
Diametro (D) - cm	45.72	7/9/2023	10:00 a.m.	34.1
Juego diametral (jd) -cm	0.0254		11:00 a.m.	35.3
longitud casquete (L) -cm	25.4		12:00 p.m.	37.2
RPM	99		3:00 p.m.	37.5
Densidad grasa gr/cm3	0.95	8/9/2023	10:00 a.m.	35.5
Constante de RPM (Kg)	0.1		11:00 a.m.	35.8
Cantidad (cm3/h)	9.3		12:00 p.m.	34.7
Cantidad (gr/h)	8.8		2:30 p.m.	37.4
Cantidad por turno teóricos (gr/turno)	70.4	9/9/2023	3:30 p.m.	40.7
Cantidad aplicada según optimización	60.0		9:00 a.m.	32
Cantidad por turno optimización (bombazos)	30		10:00 a.m.	34.5
Cantidad real por turno (bombazos)	80		11:40 a.m.	34.5
Cantidad real por turno (gr)	160	10/9/2023	8:30 a.m.	35.6
Diferencia teórica vs real	100.0		9:30 a.m.	34.8
Cantidad por carta (bombazos)	50		10:30 a.m.	34.5
Cantidad por carta (gr)	100	11/9/2023	10:00 a.m.	36
Diferencia carta por real	40.0		11:00 a.m.	37.7
Temperaturas de trabajo medidas luego de la implementación de las cantidades optimizadas. Teóricamente son 72 gramos, pero optimizando se aplicaron 60 gramos, anotando una reducción de 12 gramos con respecto a lo teórico, y una reducción de 100 gramos con respecto a la aplicación real.			11:45 a.m.	35.5
			1:20 p.m.	36
		2:30 p.m.	35.1	
		3:40 p.m.	36.2	
		12/9/2023	10:00 a.m.	34.2
			11:00 a.m.	35
			2:00 p.m.	34.4
			3:00 p.m.	33.3

Tabla 51.
Medición chumacera rolo guía superior derecho norte.

CHUMACERA ROLO GUÍA SUPERIOR DERECHO NORTE				
DATOS ENTRADA		MEDICIONES		TEMPERATURA (°C)
Diametro (D) - cm	16.51	7/9/2023	10:00 a.m.	34.1
Juego diametral (jd) -cm	0.01524		11:00 a.m.	35
longitud casquete (L) -cm	35.56		12:00 p.m.	33.7
RPM	99		3:00 p.m.	34
Densidad grasa gr/cm3	0.95	8/9/2023	10:00 a.m.	36.3
Constante de RPM (Kg)	0.1		11:00 a.m.	35.7
Cantidad (cm3/h)	2.8		12:00 p.m.	36.4
Cantidad (gr/h)	2.7		2:30 p.m.	36.5
Cantidad por turno teóricos (gr/turno)	21.4	9/9/2023	3:30 p.m.	36.8
Cantidad aplicada según optimización	28.0		9:00 a.m.	37.6
Cantidad por turno optimización (bombazos)	14		10:20 a.m.	43
Cantidad real por turno (bombazos)	40		11:40 a.m.	36.1
Cantidad real por turno (gr)	80	10/9/2023	8:30 a.m.	33.8
Diferencia teórica vs real	52.0		9:30 a.m.	32.8
Cantidad por carta (bombazos)	25		10:30 a.m.	34
Cantidad por carta (gr)	50		10:00 a.m.	33.1
Diferencia carta por real	22.0	11/9/2023	11:00 a.m.	34.5
Temperaturas de trabajo medidas luego de la implementación de las cantidades optimizadas. teóricamente son 22 gramos, pero optimizando se aplicaron 28 gramos, anotando una aumento de 6 gramos con respecto a lo teórico, y una reducción de 52 gramos con respecto a la aplicación real.			11:45 a.m.	35.7
			1:20 p.m.	34.5
			2:30 p.m.	34.6
			3:40 p.m.	34.8
		10:00 a.m.	34.1	
		12/9/2023	11:00 a.m.	34.9
			2:00 p.m.	35.2
			3:00 p.m.	34.5

Tabla 52.
Medición chumacera rolo guía superior derecho sur.

CHUMACERA ROLO GUÍA SUPERIOR DERECHO SUR				
DATOS ENTRADA		MEDICIONES		TEMPERATURA (°C)
Diametro (D) - cm	16.51	7/9/2023	10:00 a.m.	41
Juego diametral (jd) -cm	0.01524		11:00 a.m.	41.8
longitud casquete (L) -cm	35.56		12:00 p.m.	43
RPM	99		3:00 p.m.	45
Densidad grasa gr/cm3	0.95	8/9/2023	10:00 a.m.	41.4
Constante de RPM (Kg)	0.1		11:00 a.m.	42.2
Cantidad (cm3/h)	2.8		12:00 p.m.	41.1
Cantidad (gr/h)	2.7		2:30 p.m.	42.1
Cantidad por turno teóricos (gr/turno)	21.4	9/9/2023	3:30 p.m.	42.3
Cantidad aplicada según optimización	32.0		9:00 a.m.	46.2
Cantidad por turno optimización (bombazos)	16		10:20 a.m.	42
Cantidad real por turno (bombazos)	40		11:40 a.m.	43.4
Cantidad real por turno (gr)	80	10/9/2023	8:30 a.m.	42.6
Diferencia teórica vs real	48.0		9:30 a.m.	40.6
Cantidad por carta (bombazos)	25		10:30 a.m.	42.4
Cantidad por carta (gr)	50		10:00 a.m.	45.8
Diferencia carta por real	18.0	11/9/2023	11:00 a.m.	47.7
Temperaturas de trabajo medidas luego de la implementación de las cantidades optimizadas. teóricamente son 22 gramos, pero optimizando se aplicaron 32 gramos, anotando una aumento de 10 gramos con respecto a lo teórico, y una reducción de 48 gramos con respecto a la aplicación real.			11:45 a.m.	46
			1:20 p.m.	46.4
			2:30 p.m.	46.4
			3:40 p.m.	46
		10:00 a.m.	44.7	
		12/9/2023	11:00 a.m.	45
			2:00 p.m.	46.8
			3:00 p.m.	41.4

Tabla 53.
Medición chumacera rolo guía superior izquierdo norte.

CHUMACERA ROLO GUIA SUPERIOR IZQUIERDO NORTE					
DATOS ENTRADA		MEDICIONES		TEMPERATURA (°C)	
Diametro (D) - cm	16.51	7/9/2023	10:00 a.m.	39.8	
Juego diametral (jd) -cm	0.01524		11:00 a.m.	41.5	
longitud casquete (L) -cm	35.56		12:00 p.m.	43	
RPM	99		3:00 p.m.	43.5	
Densidad grasa gr/cm3	0.95	8/9/2023	10:00 a.m.	42.7	
Constante de RPM (Kg)	0.1		11:00 a.m.	42.5	
Cantidad (cm3/h)	2.8		12:00 p.m.	41.1	
Cantidad (gr/h)	2.7		2:30 p.m.	42.3	
Cantidad por turno teóricos (gr/turno)	21.4	9/9/2023	3:30 p.m.	42.6	
Cantidad aplicada según optimización	28.0		9:00 a.m.	42.4	
Cantidad por turno optimización (bombazos)	14		10:20 a.m.	37	
Cantidad real por turno (bombazos)	40		11:40 a.m.	43.3	
Cantidad real por turno (gr)	80	10/9/2023	8:30 a.m.	41	
Diferencia teórica vs real	52.0		9:30 a.m.	37.9	
Cantidad por carta (bombazos)	25		10:30 a.m.	39.7	
Cantidad por carta (gr)	50		10:00 a.m.	38.6	
Diferencia carta por real	22.0	11/9/2023	11:00 a.m.	42	
Temperaturas de trabajo medidas luego de la implementación de las cantidades optimizadas. teóricamente son 22 gramos, pero optimizando se aplicaron 28 gramos, anotando una aumento de 6 gramos con respecto a lo teórico, y una reducción de 52 gramos con respecto a la aplicación real.			turno	11:45 a.m.	43.5
				1:20 p.m.	45.9
				2:30 p.m.	42.9
		3:40 p.m.		42.5	
		12/9/2023	turno	10:00 a.m.	37.6
				11:00 a.m.	38
				2:00 p.m.	38.8
				3:00 p.m.	37.8

Tabla 54.
Mediciones chumacera rolo guía superior izquierdo sur.

CHUMACERA ROLO GUIA SUPERIOR IZQUIERDO SUR					
DATOS ENTRADA		MEDICIONES		TEMPERATURA (°C)	
Diametro (D) - cm	16.51	7/9/2023	10:00 a.m.	38.8	
Juego diametral (jd) -cm	0.01524		11:00 a.m.	39.2	
longitud casquete (L) -cm	35.56		12:00 p.m.	40	
RPM	99		3:00 p.m.	40.4	
Densidad grasa gr/cm3	0.95	8/9/2023	10:00 a.m.	41.4	
Constante de RPM (Kg)	0.1		11:00 a.m.	40.5	
Cantidad (cm3/h)	2.8		12:00 p.m.	41.4	
Cantidad (gr/h)	2.7		2:30 p.m.	41.1	
Cantidad por turno teóricos (gr/turno)	21.4	9/9/2023	3:30 p.m.	42.4	
Cantidad aplicada según optimización	28.0		9:00 a.m.	41.6	
Cantidad por turno optimización (bombazos)	14		10:20 a.m.	45.8	
Cantidad real por turno (bombazos)	40		11:40 a.m.	41.3	
Cantidad real por turno (gr)	80	10/9/2023	8:30 a.m.	40.2	
Diferencia teórica vs real	52.0		9:30 a.m.	38.9	
Cantidad por carta (bombazos)	25		10:30 a.m.	39.3	
Cantidad por carta (gr)	50		10:00 a.m.	40	
Diferencia carta por real	22.0	11/9/2023	11:00 a.m.	41.1	
Temperaturas de trabajo medidas luego de la implementación de las cantidades optimizadas. teóricamente son 22 gramos, pero optimizando se aplicaron 28 gramos, anotando una aumento de 6 gramos con respecto a lo teórico, y una reducción de 52 gramos con respecto a la aplicación real.			turno	11:45 a.m.	43.2
				1:20 p.m.	44.1
				2:30 p.m.	42.6
		3:40 p.m.		42.4	
		12/9/2023	turno	10:00 a.m.	38.8
				11:00 a.m.	39.3
				2:00 p.m.	40
				3:00 p.m.	39

Tabla 55.
Mediciones chumacera rolo guía inferior derecho.

CHUMACERA ROLO GUIA INFERIOR DERECHO				
DATOS ENTRADA		MEDICIONES		TEMPERATURA (°C)
Diametro (D) - cm	12.7	7/9/2023	10:00 a.m.	29.8
Juego diametral (jd) -cm	0.0127		11:00 a.m.	31
longitud casquete (L) -cm	27.94		12:00 p.m.	31.3
RPM	99		3:00 p.m.	31.7
Densidad grasa gr/cm3	0.95	8/9/2023	10:00 a.m.	32.9
Constante de RPM (Kg)	0.1		11:00 a.m.	31.5
Cantidad (cm3/h)	1.4		12:00 p.m.	32.9
Cantidad (gr/h)	1.3		2:30 p.m.	33.4
Cantidad por turno teóricos (gr/turno)	10.8	9/9/2023	3:30 p.m.	34.7
Cantidad aplicada según optimización	18.0		9:00 a.m.	35
Cantidad por turno optimización (bombazos)	9		10:20 a.m.	33.4
Cantidad real por turno (bombazos)	16		11:40 a.m.	32
Cantidad real por turno (gr)	32	10/9/2023	8:30 a.m.	31
Diferencia teórica vs real	14.0		9:30 a.m.	31.5
Cantidad por carta (bombazos)	25		10:30 a.m.	34.6
Cantidad por carta (gr)	50		10:00 a.m.	45
Diferencia carta por real	32.0	11/9/2023	11:00 a.m.	48
Temperaturas de trabajo medidas luego de la implementación de las cantidades optimizadas. teóricamente son 12 gramos, pero optimizando se aplicaron 18 gramos, anotando una aumento de 6 gramos con respecto a lo teórico, y una reducción de 14 gramos con respecto a la aplicación real.			11:45 a.m.	53
			1:20 p.m.	51.4
			2:30 p.m.	47.7
			3:40 p.m.	69
		12/9/2023	10:00 a.m.	35.3
11:00 a.m.	35.6			
2:00 p.m.	36.2			
		3:00 p.m.	34.3	

Inicialmente se había planteado una cantidad mínima de 12 gramos, pero se aumentó esta cantidad debido a que en quinto día se reportaron temperaturas por encima del rango de operación por lo que se decide aumentar la cantidad de lubricante y seguir monitoreando, y funcionó de manera correcta.

Tabla 56.
Mediciones chumacera rolo guía inferior izquierdo.

CHUMACERA ROLO GUIA INFERIOR IZQUIERDO				
DATOS ENTRADA		MEDICIONES		TEMPERATURA (°C)
Diametro (D) - cm	12.7	7/9/2023	10:00 a.m.	29.2
Juego diametral (jd) -cm	0.0127		11:00 a.m.	30.7
longitud casquete (L) -cm	27.94		12:00 p.m.	31.4
RPM	99		3:00 p.m.	32.2
Densidad grasa gr/cm3	0.95	8/9/2023	10:00 a.m.	30.4
Constante de RPM (Kg)	0.1		11:00 a.m.	30.7
Cantidad (cm3/h)	1.4		12:00 p.m.	31.9
Cantidad (gr/h)	1.3		2:30 p.m.	32.5
Cantidad por turno teóricos (gr/turno)	10.8	9/9/2023	3:30 p.m.	33.2
Cantidad aplicada según optimización	8.0		9:00 a.m.	30.1
Cantidad por turno optimización (bombazos)	4		10:20 a.m.	30.8
Cantidad real por turno (bombazos)	4		11:40 a.m.	31.3
Cantidad real por turno (gr)	8	10/9/2023	8:30 a.m.	27
Diferencia teórica vs real	0.0		9:30 a.m.	26.3
Cantidad por carta (bombazos)	25		10:30 a.m.	26.8
Cantidad por carta (gr)	50	11/9/2023	10:00 a.m.	30.1
Diferencia carta por real	42.0		11:00 a.m.	32.3
Este rolo no se encuentra trabajando, ya que la criba se encuentra con carga hacia la derecha, por lo que el rolo izquierdo entra muy poco en contacto con el anillo de la criba sin embargo hay movimiento, por lo que se lubrica con esta cantidad para mantener lubricado el cojinete.			11:45 a.m.	33.3
			1:20 p.m.	33.4
			2:30 p.m.	32.2
12/9/2023		3:40 p.m.	32.3	
		10:00 a.m.	30	
		11:00 a.m.	31	
		2:00 p.m.	31.5	
		3:00 p.m.	34.8	

Tabla 57.
Mediciones chumacera rolo cónico izquierdo.

CHUMACERA ROLO CONICO IZQUIERDO				
DATOS ENTRADA		MEDICIONES		TEMPERATURA (°C)
Diametro (D) - cm	15.24	7/9/2023	10:00 a.m.	32.4
Juego diametral (jd) -cm	0.01524		11:00 a.m.	33.5
longitud casquete (L) -cm	18.161		12:00 p.m.	34.1
RPM	99		3:00 p.m.	35.2
Densidad grasa gr/cm3	0.95	8/9/2023	10:00 a.m.	34.5
Constante de RPM (Kg)	0.1		11:00 a.m.	34.7
Cantidad (cm3/h)	1.3		12:00 p.m.	34.4
Cantidad (gr/h)	1.3		2:30 p.m.	35.9
Cantidad por turno teóricos (gr/turno)	10.1	9/9/2023	3:30 p.m.	36.3
Cantidad aplicada según cálculos	12.0		9:00 a.m.	39.4
Cantidad por turno teóricos (bombazos)	6		10:20 a.m.	37.5
Cantidad real por turno (bombazos)	16		11:40 a.m.	35.8
Cantidad real por turno (gr)	32	10/9/2023	8:30 a.m.	33.8
Diferencia teórica vs real	20.0		9:30 a.m.	35.6
Cantidad por carta (bombazos)	25		10:30 a.m.	37.3
Cantidad por carta (gr)	50	11/9/2023	10:00 a.m.	38.1
Diferencia carta por real	38.0		11:00 a.m.	39.3
Medición de temperaturas a partir de la aplicación de los valores teóricos, con reducción de 20 gramos por turno			11:45 a.m.	41.5
			1:20 p.m.	42.6
			2:30 p.m.	43.2
		3:40 p.m.	40.5	
12/9/2023		10:00 a.m.	34	
		11:00 a.m.	34.3	
		2:00 p.m.	34	
		3:00 p.m.	34.4	

Tabla 58.
Mediciones chumacera rolo cónico derecho.

CHUMACERA ROLO CONICO DERECHO				
DATOS ENTRADA		MEDICIONES		TEMPERATURA (°C)
Diametro (D) - cm	15.24	7/9/2023	10:00 a.m.	31.3
Juego diametral (jd) -cm	0.01524		11:00 a.m.	32.5
longitud casquete (L) -cm	18.161		12:00 p.m.	33.1
RPM	99		3:00 p.m.	34.1
Densidad grasa gr/cm3	0.95	8/9/2023	10:00 a.m.	41.5
Constante de RPM (Kg)	0.1		11:00 a.m.	40.8
Cantidad (cm3/h)	1.3		12:00 p.m.	39.1
Cantidad (gr/h)	1.3		2:30 p.m.	37.6
Cantidad por turno teóricos (gr/turno)	10.1	9/9/2023	3:30 p.m.	37.3
Cantidad aplicada según cálculos	12.0		9:00 a.m.	38.3
Cantidad por turno teóricos (bombazos)	6		10:20 a.m.	37.6
Cantidad real por turno (bombazos)	16		11:40 a.m.	35.6
Cantidad real por turno (gr)	32	10/9/2023	8:30 a.m.	31.5
Diferencia teórica vs real	20.0		9:30 a.m.	32
Cantidad por carta (bombazos)	25		10:30 a.m.	35.8
Cantidad por carta (gr)	50	11/9/2023	10:00 a.m.	36.7
Diferencia carta por real	38.0		11:00 a.m.	38
Medición de temperaturas a partir de la aplicación de los valores teóricos, con reducción de 20 gramos por turno			11:45 a.m.	38.3
			1:20 p.m.	38.6
			2:30 p.m.	38.7
		3:40 p.m.	43	
12/9/2023		10:00 a.m.	33	
		11:00 a.m.	33.3	
		2:00 p.m.	34.8	
		3:00 p.m.	34.6	

Transmisión principal

Tabla 59.

Mediciones transmisión principal lado derecho.

TRANSMISION PRINCIPAL LADO DERECHO					
DATOS ENTRADA		MEDICIONES			TEMPERATURA (°C)
Diametro (D) - cm	38.735	7/9/2023	10:00 a.m.	turno	40
Juego diametral (jd) -cm	0.0381		11:00 a.m.		41.4
Longitud casquete (L) -cm	55.8		12:00 p.m.		42.2
RPM	99		3:00 p.m.		43
Densidad grasa gr/cm3	0.95	8/9/2023	10:00 a.m.	turno	53.7
Constante de RPM (Kg)	0.1		11:00 a.m.		54
Cantidad (cm3/h)	25.9		12:00 p.m.		56
Cantidad (gr/h)	24.6		2:30 p.m.		39.5
Cantidad por turno teoricos (gr/turno)	196.6	9/9/2023	3:30 p.m.	turno	40.8
Cantidad aplicada según calculos	160.0		9:00 a.m.		34.2
Cantidad por turno teoricos (bombazos)	80		10:00 a.m.		35.3
Cantidad real por turno (bombazos)	80		11:40 a.m.		35.9
Cantidad real por turno (gr)	160	10/9/2023	8:30 a.m.	turno	30.9
Diferencia teorica vs real	0.0		9:30 a.m.		31.9
Cantidad por carta (bombazos)	25		10:30 a.m.		32.4
Cantidad por carta (gr)	50		10:00 a.m.		35.4
Diferencia carta por real	-110.0	11/9/2023	11:00 a.m.	turno	36.3
La alta temperatura registrada el día 8/9/2023 se ocasionó debido a mala información con el aceitero, el cual no había entendido bien las cantidades a aplicar en el equipo, sin embargo se explica nuevamente las cantidades y se reestablece la temperatura de la chumacera. Se dejan establecidos los valores aplicados por el personal, los cuales son menores que los valores teóricos.			11:45 a.m.		35.8
			1:20 p.m.		35.2
			2:30 p.m.		34.4
		3:40 p.m.	35		
		12/9/2023	10:00 a.m.	turno	35.7
			11:00 a.m.		35.2
			1:00 p.m.		35.1
			2:00 p.m.		35
		3:00 p.m.	33.9		

Tabla 60.

Mediciones transmisión principal lado izquierdo.

TRANSMISION PRINCIPAL LADO IZQUIERDO					
DATOS ENTRADA		MEDICIONES			TEMPERATURA (°C)
Diametro (D) - cm	38.735	7/9/2023	10:00 a.m.	turno	32
Juego diametral (jd) -cm	0.0381		11:00 a.m.		32.4
Longitud casquete (L) -cm	55.8		12:00 p.m.		32.5
RPM	99		3:00 p.m.		33.8
Densidad grasa gr/cm3	0.95	8/9/2023	10:00 a.m.	turno	34.7
Constante de RPM (Kg)	0.1		11:00 a.m.		35
Cantidad (cm3/h)	25.9		12:00 p.m.		33.8
Cantidad (gr/h)	24.6		2:30 p.m.		35.5
Cantidad por turno teoricos (gr/turno)	196.6	9/9/2023	3:30 p.m.	turno	36.4
Cantidad aplicada según calculos	160.0		9:00 a.m.		36.4
Cantidad por turno teoricos (bombazos)	80		10:00 a.m.		36.5
Cantidad real por turno (bombazos)	80		11:40 a.m.		36.1
Cantidad real por turno (gr)	160	10/9/2023	8:30 a.m.	turno	33.6
Diferencia teorica vs real	0.0		9:30 a.m.		33
Cantidad por carta (bombazos)	25		10:30 a.m.		33.5
Cantidad por carta (gr)	50		10:00 a.m.		34.5
Diferencia carta por real	-110.0	11/9/2023	11:00 a.m.	turno	36.2
se dejan establecidos los valores aplicados por el personal, los cuales son menores que los valores teóricos.			11:45 a.m.		36.7
			1:20 p.m.		36.3
			2:30 p.m.		36.2
		3:40 p.m.	35.9		
		12/9/2023	10:00 a.m.	turno	34
			11:00 a.m.		33.6
			1:00 p.m.		35
			2:00 p.m.		35.8
		3:00 p.m.	35.2		

Tambor loco

Tabla 61.

Mediciones tambor loco chumacera derecha.

CHUMACERA DERECHA TAMBOR LOCO					
DATOS ENTRADA		MEDICIONES		TEMPERATURA (°C)	
Diametro (D) - cm	20.3073	7/9/2023	10:00 a.m.	turno	32.5
Juego diametral (jd) -cm	0.02032		11:00 a.m.		32
Longitud casquete (L) -cm	45.72		12:00 p.m.		32.7
RPM	99		3:00 p.m.		33.3
Densidad grasa gr/cm3	0.95	8/9/2023	10:00 a.m.	turno	34.6
Constante de RPM (Kg)	0.1		11:00 a.m.		36.6
Cantidad (cm3/h)	5.9		12:00 p.m.		38.9
Cantidad (gr/h)	5.6		2:30 p.m.		37.6
Cantidad por turno teóricos (gr/turno)	45.0	9/9/2023	3:30 p.m.	turno	38.4
Cantidad aplicada según optimización	32.0		9:00 a.m.		38.7
Cantidad por turno optimización (bombazos)	16		10:00 a.m.		36.3
Cantidad real por turno (bombazos)	40		11:40 a.m.		33.8
Cantidad real por turno (gr)	80	10/9/2023	8:30 a.m.	turno	35.2
Diferencia teórica vs real	48.0		9:30 a.m.		33.6
Cantidad por carta (bombazos)	5		10:30 a.m.		32.2
Cantidad por carta (gr)	10				
Diferencia carta por real	-22.0	11/9/2023	10:00 a.m.	turno	36.7
El equipo no trabaja de manera constante en el turno, se nota una diferencia significativa con respecto a la lubricación real, con una reducción de 48 gramos.			11:00 a.m.		40.3
			11:45 a.m.		35.5
			1:20 p.m.		31.8
		2:30 p.m.	34.2		
		3:40 p.m.	36.5		
		12/9/2023	10:00 a.m.	37.4	
			11:00 a.m.	35.8	
			1:00 p.m.	34.4	
	2:00 p.m.		34.5		
		3:00 p.m.	36.2		

Tabla 62.

Mediciones tambor loco chumacera izquierda.

CHUMACERA IZQUIERDA TAMBOR LOCO					
DATOS ENTRADA		MEDICIONES		TEMPERATURA (°C)	
Diametro (D) - cm	20.3073	7/9/2023	10:00 a.m.	turno	29.8
Juego diametral (jd) -cm	0.02032		11:00 a.m.		30.1
Longitud casquete (L) -cm	45.72		12:00 p.m.		30.2
RPM	99		3:00 p.m.		30.6
Densidad grasa gr/cm3	0.95	8/9/2023	10:00 a.m.	turno	34
Constante de RPM (Kg)	0.1		11:00 a.m.		31.2
Cantidad (cm3/h)	5.9		12:00 p.m.		31.8
Cantidad (gr/h)	5.6		2:30 p.m.		32.1
Cantidad por turno teóricos (gr/turno)	45.0	9/9/2023	3:30 p.m.	turno	32.8
Cantidad aplicada según calculos	32.0		9:00 a.m.		29.1
Cantidad por turno teóricos (bombazos)	16		10:00 a.m.		29.6
Cantidad real por turno (bombazos)	40		11:40 a.m.		30.1
Cantidad real por turno (gr)	80	10/9/2023	8:30 a.m.	turno	27.5
Diferencia teórica vs real	48.0		9:30 a.m.		27.3
Cantidad por carta (bombazos)	5		10:30 a.m.		27.8
Cantidad por carta (gr)	10				
Diferencia carta por real	-22.0	11/9/2023	10:00 a.m.	turno	29.1
El equipo no trabaja de manera constante en el turno, se nota una diferencia significativa con respecto a la lubricación real, con una reducción de 48 gramos.			11:00 a.m.		30.4
			11:45 a.m.		31.6
			1:20 p.m.		29.7
		2:30 p.m.	30.6		
		3:40 p.m.	30.7		
		12/9/2023	10:00 a.m.	28.9	
			11:00 a.m.	29.5	
			1:00 p.m.	30.3	
	2:00 p.m.		30.5		
		3:00 p.m.	30.7		

Malacate de escala: es un mecanismo el cual su movimiento es por muy poco tiempo, por lo que las cantidades halladas son muy diferentes a las de operación por lo que los valores aplicados por el personal están muy por debajo a los encontrados, por lo que no se realizaron medidas de temperatura a este mecanismo, ya que el movimiento del mecanismo es por espacios de tiempo muy cortos, sin embargo, se dan a conocer los valores implementados.

Tabla 63.
Mediciones chumaceras malacate escala tambor.

TAMBOR LADO IZQUIERDO		TAMBOR LADO DERECHO	
DATOS ENTRADA		DATOS ENTRADA	
Diametro (D) - cm	17.78	Diametro (D) - cm	22.702
Juego diametral (jd) -cm	0.01778	Juego diametral (jd) -cm	0.02286
Longitud casquete (L) -cm	35.56	Longitud casquete (L) -cm	48.26
RPM	99	RPM	99
Densidad grasa gr/cm ³	0.95	Densidad grasa gr/cm ³	0.95
Constante de RPM (Kg)	0.1	Constante de RPM (Kg)	0.1
Cantidad (cm ³ /h)	3.5	Cantidad (cm ³ /h)	7.9
Cantidad (gr/h)	3.4	Cantidad (gr/h)	7.5
Cantidad por turno teóricos (gr/turno)	26.8	Cantidad por turno teóricos (gr/turno)	59.8
Cantidad aplicada según cálculos	28.0	Cantidad aplicada según cálculos	60.0
Cantidad por turno teóricos (bombazos)	14	Cantidad por turno teóricos (bombazos)	30
Cantidad real por turno (bombazos)	6	Cantidad real por turno (bombazos)	6
Cantidad real por turno (gr)	12	Cantidad real por turno (gr)	12
Diferencia teórica vs real	-16.0	Diferencia teórica vs real	-48.0
Cantidad por carta (bombazos)	2.5	Cantidad por carta (bombazos)	2.5
Cantidad por carta (gr)	5	Cantidad por carta (gr)	5
Diferencia carta por real	-1.0	Diferencia carta por real	-1.0
<p>Se esta aplicando menos cantidad de la calculada teóricamente , debido a que el equipo no trabaja de manera constante, Aproximadamente trabaja 1-2 horas al dia, por lo que la cantidad dispuesta por el personal en este equipo es adecuado.</p>		<p>Se esta aplicando menos cantidad de la calculada teóricamente , debido a que el equipo no trabaja de manera constante, Aproximadamente trabaja 1-2 horas al dia, por lo que la cantidad dispuesta por el personal en este equipo es adecuado.</p>	

Tabla 64.*Mediciones chumaceras eje intermedio izquierdo – derecho.*

EJE INTERMEDIO LADO IZQUIERDO		EJE INTERMEDIO LADO DERECHO	
DATOS ENTRADA		DATOS ENTRADA	
Diametro (D) - cm	16.51	Diametro (D) - cm	19.685
Juego diametral (jd) -cm	0.01524	Juego diametral (jd) -cm	0.01778
Longitud casquete (L) -cm	25.4	Longitud casquete (L) -cm	30.48
RPM	99	RPM	99
Densidad grasa gr/cm3	0.95	Densidad grasa gr/cm3	0.95
Constante de RPM (Kg)	0.1	Constante de RPM (Kg)	0.1
Cantidad (cm3/h)	2.0	Cantidad (cm3/h)	3.4
Cantidad (gr/h)	1.9	Cantidad (gr/h)	3.2
Cantidad por turno teóricos (gr/turno)	15.3	Cantidad por turno teóricos (gr/turno)	25.5
Cantidad aplicada según cálculos	16.0	Cantidad aplicada según cálculos	26.0
Cantidad por turno teóricos (bombazos)	8	Cantidad por turno teóricos (bombazos)	13
Cantidad real por turno (bombazos)	6	Cantidad real por turno (bombazos)	6
Cantidad real por turno (gr)	12	Cantidad real por turno (gr)	12
Diferencia teórica vs real	-4.0	Diferencia teórica vs real	-14.0
Cantidad por carta (bombazos)	2.5	Cantidad por carta (bombazos)	2.5
Cantidad por carta (gr)	5	Cantidad por carta (gr)	5
Diferencia carta por real	-1.0	Diferencia carta por real	-1.0
<p>Se esta aplicando menos cantidad de la calculada teóricamente , debido a que el equipo no trabaja de manera constante, Aproximadamente trabaja 1-2 horas al día, por lo que la cantidad dispuesta por el personal en este equipo es adecuado.</p>		<p>Se esta aplicando menos cantidad de la calculada teóricamente , debido a que el equipo no trabaja de manera constante, Aproximadamente trabaja 1-2 horas al día, por lo que la cantidad dispuesta por el personal en este equipo es adecuado.</p>	

Tabla 65.*Chumacera caja de reducción.*

CHUMACERA CAJA DE REDUCCIÓN	
DATOS ENTRADA	
Diametro (D) - cm	13.97
Juego diametral (jd) -cm	0.0127
Longitud casquete (L) -cm	38.1
RPM	99
Densidad grasa gr/cm3	0.95
Constante de RPM (Kg)	0.1
Cantidad (cm3/h)	2.1
Cantidad (gr/h)	2.0
Cantidad por turno teóricos (gr/turno)	16.1
Cantidad aplicada según cálculos	18.0
Cantidad por turno teóricos (bombazos)	9
Cantidad real por turno (bombazos)	6
Cantidad real por turno (gr)	12
Diferencia teórica vs real	-6.0
Cantidad por carta (bombazos)	2
Cantidad por carta (gr)	4
Diferencia carta por real	-2.0
<p>Se esta aplicando menos cantidad de la calculada teóricamente , debido a que el equipo no trabaja de manera constante, Aproximadamente trabaja 1-2 horas al día, por lo que la cantidad dispuesta por el personal en este equipo es adecuado.</p>	

Valores a considerar

Como resultado de lo obtenido en el anterior estudio, se pueden evidenciar posibles mejoras con la información de algunos cojinetes lisos en los mecanismos, en los malacates de proa la diferencia entre lo aplicado y lo descrito en las cartas es muy similar por lo que cambiar estos valores no es una potencial mejora.

Tabla 66.

Diferencia entre valores teóricos y cartas de lubricación malacate proa derecha.

Malacate de proa derecha (cantidades por turno)				
Cojinete	Valores teóricos [gramos]	Valores por carta de lubricación [gramos]	Diferencia [gramos]	Desfase
Chumacera eje intermedio derecho	12	15	3	20%
Chumacera eje intermedio izquierdo	12	15	3	20%
Chumacera eje tambor derecho	16	15	-1	-7%
Chumacera eje tambor izquierdo	16	15	-1	-7%

Tabla 67.

Diferencia entre valores teóricos y cartas de lubricación malacate proa izquierda.

Malacate de proa izquierda (cantidades por turno)				
Cojinete	Valores teóricos [gramos]	Valores por carta de lubricación [gramos]	Diferencia [gramos]	Desfase
Chumacera eje intermedio derecho	12	15	3	20%
Chumacera eje intermedio izquierdo	12	15	3	20%
Chumacera eje tambor derecho	16	15	-1	-7%
Chumacera eje tambor izquierdo	16	15	-1	-7%

El desfase entre los valores aplicados y los valores de la carta se encuentran con el valor máximo de 20% al ser una cantidad pequeña, la diferencia es muy poca entre ambos valores por lo que no es recomendable realizar ajuste en la carta de lubricación de estos valores.

En la criba giratoria se observan diferencias notables entre estos dos valores:

Tabla 68.*Diferencia entre valores teóricos y cartas de lubricación criba giratoria.*

Criba giratoria (cantidades por turno)				
Cojinete	Valores optimizados [gramos]	Valores por carta de lubricación [gramos]	Diferencia [gramos]	Desfase
Chumacera rolo motriz norte	60	100	40	40%
Chumacera rolo motriz sur	60	100	40	40%
Chumacera rolo guía superior derecho norte	28	50	22	44%
Chumacera rolo guía superior derecho sur	32	50	18	36%
Chumacera rolo guía superior izquierdo norte	28	50	22	44%
Chumacera rolo guía superior izquierdo sur	28	50	22	44%
Chumacera rolo guía inferior derecho	18	50	32	64%
Chumacera rolo guía inferior izquierdo	8	50	42	84%
Chumacera rolo conico izquierdo	12	50	38	76%
Chumacera rolo conico derecho	12	50	38	76%

Se puede observar que la diferencia entre los valores establecidos en las cartas y los valores optimizados están por encima del 40% por lo que se recomienda revisar y corregir las cantidades en la carta de lubricación.

Tabla 69.*Diferencia entre valores teóricos y cartas de lubricación transmisión principal.*

Transmisión principal (cantidades por turno)				
Cojinete	Valores aplicados [gramos]	Valores por carta de lubricación [gramos]	Diferencia	Desfase
Chumacera lado derecho	160	50	-110	-220%
Chumacera lado izquierdo	160	50	-110	-220%

En la transmisión principal el desfase dio negativo, debido que la cantidad descrita en la carta de lubricación está por debajo de los valores aplicados en la optimización por lo que se recomienda actualizar los valores de la carta de lubricación.

Tabla 70.*Diferencia entre valores teóricos y cartas de lubricación tambor loco.*

Tambor loco (cantidades por turno)				
Cojinete	Valores aplicados [gramos]	Valores por carta de lubricación [gramos]	Diferencia	Desfase
Chumacera lado derecho	32	10	-22	-220%
Chumacera lado izquierdo	32	10	-22	-220%

En el tambor loco los valores aplicados corresponden a optimización, no se partió de los valores de la carta de lubricación ya que este mecanismo presenta movimiento en mediana escala y bajar hasta los valores definidos por la carta es demasiado riesgoso, sin embargo queda como consideración la optimización al bajar estas cantidades al valor de las carta y comprobar sus valores.

Tabla 71.

Diferencia entre valores teóricos y cartas de lubricación malacate escala.

Cojinete	Malacate de escala (cantidades por turno)		Diferencia	Desfase
	Valores aplicados [gramos]	Valores por carta de lubricación [gramos]		
Chumacera tambor lado derecho	6	5	-1	-20%
Chumacera tambor lado izquierdo	6	5	-1	-20%
Chumacera eje intermedio lado derecho	6	5	-1	-20%
Chumacera eje intermedio lado izquierdo	6	5	-1	-20%
Chumacera caja de reducción	6	4	-2	-50%

Aunque los desfases parecen altos, se puede observar que la diferencia de cantidad es muy pequeña entre los valores, ya que las cantidades son bajas, por lo que se recomienda dejar los valores establecidos para este mecanismo.

Ahorro proyectado (anual)

Para llevar a cabo este valor se debe obtener la diferencia entre los valores establecidos optimizados y los valores de operación, estos valores están cuantificados por turnos (8 horas) por lo que aplicamos lo siguiente:

$$\text{ahorro (gramos)} = (\text{gr aplicado} - \text{gr operación}) \left[\frac{\text{gr}}{\text{turno}} \right] * \left[\frac{3 \text{ turno}}{1 \text{ día}} \right] * 365 \text{ días}$$

En la transmisión principal, malacate de escala no se observan ahorros debido a que se estandarizan los valores aplicados por el personal, los cuales son menores a los calculados. Para los malacates de proa, la criba giratoria y el tambor loco se obtienen:

Tabla 72.*Ahorro anual proyectado malacate proa derecho.*

Ahorro proyectado Malacate de proa derecha				
Cojinete	Valores teoricos [gramos]	Valores aplicados en operación [gramos]	Diferencia [gramos]	Ahorro anual (gramos)
Chumacera eje intermedio derecho	12	28	16	17,520
Chumacera eje intermedio izquierdo	12	24	12	13,140
Chumacera eje tambor derecho	16	24	8	8,760
Chumacera eje tambor izquierdo	16	24	8	8,760
Total	56	100	44	48,180

Tabla 73.*Ahorro anual proyectado malacate proa izquierdo.*

Ahorro proyectado Malacate de proa izquierda				
Cojinete	Valores teoricos [gramos]	Valores aplicados en operación [gramos]	Diferencia [gramos]	Ahorro anual (gramos)
Chumacera eje intermedio derecho	12	28	16	17,520
Chumacera eje intermedio izquierdo	12	24	12	13,140
Chumacera eje tambor derecho	16	24	8	8,760
Chumacera eje tambor izquierdo	16	24	8	8,760
Total	56	100	44	48,180

Tabla 74.*Cantidad en gramos ahorro anual proyectado criba giratoria.*

Criba giratoria (cantidades por turno)				
Cojinete	Valores optimizados [gramos]	Valores aplicados en operación [gramos]	Diferencia [gramos]	Ahorro anual (gramos)
Chumacera rolo motriz norte	60	160	100	109,500
Chumacera rolo motriz sur	60	240	180	197,100
Chumacera rolo guía superior derecho norte	28	80	52	56,940
Chumacera rolo guía superior derecho sur	32	80	48	52,560
Chumacera rolo guía superior izquierdo norte	28	80	52	56,940
Chumacera rolo guía superior izquierdo sur	28	80	52	56,940
Chumacera rolo guía inferior derecho	18	32	14	15,330
Chumacera rolo guía inferior izquierdo	8	8	0	-
Chumacera rolo conico izquierdo	12	32	20	21,900
Chumacera rolo conico derecho	12	32	20	21,900
Total	286	824	538	589,110

Tabla 75.*Cantidad en gramos ahorro anual proyectado criba giratoria.*

Tambor loco (cantidades por turno)				
Cojinete	Valores aplicados [gramos]	Valores por carta de lubricación [gramos]	Diferencia	Ahorro anual (gramos)
Chumacera lado derecho	32	80	48	52,560
Chumacera lado izquierdo	32	80	48	52,560
Total	64	160	96	105,120

En la empresa la grasa es suministrada por medio de canecas de 18 kilogramos por lo que es importante llevar estas cantidades de gramos a kilogramos y así poder cuantificar la cantidad. Se obtiene los siguientes valores:

Ilustración 15.*Valor estándar de la caneca de grasa, en la empresa (Mineros Aluvial SAS, 2023).*

The screenshot displays a software window for material management. At the top, the material is identified as 'GRASA LITH PLUS EP 2 BID X18 KG (300162)' with a center code of '1310'. Below this, there are tabs for different periods: 'Período 010.2023', 'Período 009.2023', and 'Período 012.2022'. The main area is divided into 'Datos de valoración generales' and 'Precios y valores'. In the 'Precios y valores' section, the 'Moneda' is set to 'COP' (Moneda de la sociedad). The 'Prec. inter.per.' field is highlighted with a red box and contains the value '298,493'. Other fields include 'Moneda del grupo' (USD) and 'Moneda del grupo, val.' (USD), with values like '0,00' and '71,36' respectively. The 'Valor stock' is 5.969.862 COP, and 'Valor/Precio PIP' is 0. The 'Últ.modif.prec.' is dated '10.04.2021'.

Tabla 76.*Ahorro total proyectado.*

Ahorro total proyectado chumaceras draga 03			
Mecanismo	Ahorro total	Cantidad de canecas	Ahorro por año
Malacate de proa derecho	48,180	2.68	\$ 798,966
Malacate de proa izquierdo	48,180	2.68	\$ 798,966
Criba giratoria	589,110	32.73	\$ 9,769,178
Tambor loco	105,120	5.84	\$ 1,743,199
Total	790,590	43.92	\$ 13,110,310

Se presenta un ahorro proyectado de 44 canecas al año, con un valor de ahorro aproximado de 13.110.310 \$ que si se proyecta a 5 dragas de cucharas (las cuales tienen diferentes mecanismos) se puede obtener un ahorro programado de 65.551.550 \$ aproximadamente, dando como relevancia que se puede ampliar mucho más este ahorro. En cantidad de canecas se tendría un ahorro de 220 canecas aproximadamente lo que equivale a 3953 kilogramos de grasa ahorrada, lo que generaría un gran impacto en el sector ambiental. Es relevante anotar que se obtendría más cantidad de dinero ahorrado ya que esta grasa se debe transportar desde zona industrial (el bagre- Antioquia) hasta la zona de operación, por lo que se evidenciaría más reducción de costos.

4 Conclusiones

A pesar de que las cantidades de grasa aplicadas en la transmisión principal y el malacate de escala eran inferiores a los valores teóricos recomendados, existe un potencial para reducir aún más estas cantidades. Una consideración clave para esto es que la velocidad de giro y el tiempo de trabajo no son constantes. Esto sugiere que se pueden determinar cantidades más precisas y eficientes. Como evidenció el estudio, incluso con las dosis actuales, las temperaturas de operación se mantuvieron por debajo de los 60°C, lo que indica margen de optimización.

En equipos como los malacates de proa, el tambor loco y la criba giratoria, se observaron mejoras significativas en la reducción de la cantidad de grasa aplicada. Esto se debe a que los valores calculados resultaron ser inferiores a los empleados habitualmente en operación. Para los malacates de proa, se adoptaron los valores teóricos; en tanto que en la criba giratoria y el tambor loco se lograron optimizaciones que incluso se situaron por debajo de dichos valores teóricos. Es esencial mencionar que existe la posibilidad de reducir estas cantidades aún más. Sin embargo, es crucial reducir progresivamente las cantidades y monitorear de forma constante para asegurar que la temperatura de operación no exceda los 60°C.

Los responsables de la lubricación de los equipos bajo estudio, conocidos como "aceiteros", utilizan un método táctil (tocando la chumacera con la mano) para estimar la temperatura. Si perciben que está "caliente", proceden a lubricar la chumacera de inmediato. Sin embargo, para una gestión efectiva y precisa de la lubricación, es fundamental que estos colaboradores se encuentren equipados con medidores láser de temperatura. Este instrumento permitirá determinar

con exactitud la temperatura operativa de los equipos. En ocasiones, lo que perciben como "caliente" en realidad puede estar por debajo de la temperatura de operación, eliminando la necesidad de una lubricación adicional y, por ende, evitando el desperdicio innecesario de grasa. Para lograr una optimización efectiva, es esencial la colaboración coordinada entre el equipo de ingeniería y el personal encargado de la lubricación. El éxito del proceso se basa en seguir las indicaciones al pie de la letra, lo que permite establecer valores de prueba adecuados. A lo largo del trabajo descrito, se destacó la excelente cooperación con la mayoría del personal involucrado. Sin embargo, se identificó un desafío con un empleado que no seguía las cantidades prescritas. Una mejora evidente sería reemplazar las graseras manuales por eléctricas, ya que estas últimas ofrecen una visualización más precisa de la cantidad de grasa requerida en cada punto específico.

Las cartas de lubricación para la criba giratoria, la transmisión principal y el tambor loco muestran un desfase significativo. Es esencial revisar y corregir los valores presentados en estas cartas. Por otro lado, el malacate de escala presenta valores que se alinean estrechamente con los descritos en su respectiva carta, por lo que no se aconseja hacer modificaciones en este caso. Es crucial actualizar las cartas de lubricación de los malacates de proa, dado que hubo un cambio en la transmisión del sistema. Este cambio trajo consigo modificaciones en los componentes del sistema y, consecuentemente, en los puntos de lubricación.

Si bien se presentan ahorros significativos solo con llevar a cabo el hallazgo de cálculos teóricos y una buena implementación de estos valores en la ruta de lubricación, Este estudio abre las puertas a notables mejoras en general en el proceso de lubricación de los sistemas, se enfocaron las mejoras en los cojinetes lisos, pero se puede ampliar a elementos como transmisiones abiertas, poleas, cables, bombas, tambores de colas, criba vibratoria, motores eléctricos, equipos de producción, etc.

La optimización en el uso de grasa en procesos industriales y operativos no solo representa una ventaja económica, sino que también tiene profundas implicancias en nuestro entorno ambiental. Reducir el consumo de grasa significa menos demanda de materias primas, conllevando a una disminución en la explotación de recursos y, por ende, en la huella de carbono asociada a su producción y transporte. Asimismo, la disminución en la producción de grasa se traduce en menos residuos generados durante su fabricación, menos envases desechados y, crucialmente, menos contaminación debido al desbordamiento o descarte inadecuado.

El exceso de lubricación, a menudo, conduce a derrames que pueden infiltrarse en el suelo y llegar a fuentes de agua, lo que representa una amenaza para ecosistemas acuáticos y terrestres. Los contaminantes en estos derrames pueden dañar la flora y fauna, desequilibrar ecosistemas y finalmente afectar la calidad del agua que consumimos. Además, el enfoque en el ahorro y uso eficiente de grasa impulsa la innovación tecnológica. Puede incentivar el desarrollo de grasas más ecológicas, de mayor durabilidad y eficiencia, o de sistemas de aplicación más precisos que minimicen el desperdicio. En conclusión, un manejo responsable y eficiente de la grasa no solo tiene ventajas económicas, sino que es una medida proactiva hacia un futuro más sostenible. Las industrias, al adoptar estos enfoques, no solo responden a las demandas actuales de sostenibilidad, sino que también aseguran un mundo más saludable y equilibrado para las generaciones futuras.

El acompañamiento constante del equipo de ingeniería durante el desarrollo de la prueba fue esencial para la confianza del personal involucrado. Dado el carácter empírico de la tarea, donde cada individuo podría tener su propia interpretación de cómo hacer las cosas, era fundamental supervisar de cerca y asegurarse de que las directrices se implementaran adecuadamente en cada etapa del proceso.

Se proyecta un ahorro anual de 44 canecas, lo que se traduce en un ahorro monetario aproximado de \$13.110.310. Al ampliar esta proyección a 5 dragas de cucharas, que cuentan con distintos mecanismos, se estima un ahorro acumulado cercano a los \$65.551.550. Esto significa que, en términos de canecas, se estarían ahorrando alrededor de 220 unidades al año, equivalentes a 3.953 kilogramos de grasa. Esta reducción no solo ofrece beneficios financieros, sino que también representa un impacto positivo en el medio ambiente. Además, hay que considerar los costos asociados al transporte de esta grasa desde la zona industrial en El Bagre-Antioquia hasta el lugar de operación; al reducir la cantidad de grasa necesaria, se incurre en menos gastos de logística y transporte, potenciando aún más el ahorro.

5 Referencias Bibliográficas

- AKRON. (2023). *AKRON FAKTOR III Grasa automotriz e industrial*.
https://akronlubricantes.com/assets/product_files/958_Akron_FaKtor_III.pdf
- Albarracin Aguillón, P. R. (2019). *Tribología y lubricación industrial y automotriz*.
- Dredging Today. (2017). *Types of dredgers working in the dredging industry*.
<https://www.dredgingtoday.com/>
- Mineros Aluvial SAS. (2023). *Reportes Mineros*. Reportes Mineros. <https://mineros.com.co/es/>
- Petrobras. (2023). *Petrobras LITH EP*.
https://www.grupoancla.com.co/gestorweb/ficha_tecnica/Petrobras_Lith_EP-.pdf
- Tribuno. (2023). *Grasa de litio - Tribuno*. <https://www.tribunohome.com/hs/HS-GRASA-DE-LITIO-REV02.pdf>