

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Mecánica

Tesis

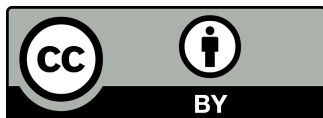
**Implementación de un sistema de lubricación de pines y
bocinas de padlocks para el incremento de vida útil en
palas eléctricas 7495 HR**

Nilo Gil Ramos Quispe

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Mecánico

Arequipa, 2025

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

A : Decano de la Facultad de Ingeniería
DE : Ph.D. Ing. Ramirez Mittani Andres
Asesor de trabajo de investigación
ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación
FECHA : 2 de Agosto de 2025

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para informar que, en mi condición de asesor del trabajo de investigación:

Título:

IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE LUBRICACIÓN DE PINES Y BOCINAS DE PADLOCKS PARA EL INCREMENTO DE VIDA ÚTIL EN PALAS ELÉCTRICAS 7495 HR

Autores:

1. Nilo Gil Ramos Quispe – EAP, Ingeniería Mecánica

Se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 17% de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- | | | |
|---|--|--|
| • Filtro de exclusión de bibliografía | SI ☒ | NO ☐ |
| • Filtro de exclusión de grupos de palabras menores
Nº de palabras excluidas (en caso de elegir "SI"): | SI ☐ | NO ☒ |
| • Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante | SI ☐ | NO ☒ |

En consecuencia, se determina que el trabajo de investigación constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad Continental.

Recae toda responsabilidad del contenido del trabajo de investigación sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos conducentes a Grados y Títulos – RENATI y en la normativa de la Universidad Continental.

Atentamente,

La firma del asesor obra en el archivo original
(No se muestra en este documento por estar expuesto a publicación)

AGRADECIMIENTO

Un agradecimiento especial a todas las personas que brindaron su apoyo constante durante la realización del presente trabajo. En particular, expreso mi gratitud al Ing. Jhonny Del Castillo, por sus valiosos aportes desde el inicio hasta la culminación de esta investigación, así como por compartir sus conocimientos y experiencias adquiridas a lo largo de su trayectoria profesional.

Del mismo modo, agradezco a la Gerencia de Mantenimiento, por contribuir al desarrollo de mis competencias y por ser parte fundamental de mi formación y crecimiento profesional.

Finalmente, mi más profundo agradecimiento a mi familia, quienes han sido siempre mi mayor fuente de motivación, alentándome en cada proyecto y acompañándome en todas las etapas de mi vida. Los llevo en mi corazón con profundo respeto y cariño.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación a mis padres, a mi querida esposa y a mis hijos, quienes han sido el motor más importante para seguir adelante en el cumplimiento de mis objetivos profesionales y alcanzar uno de los grandes sueños de mi vida: convertirme en un profesional.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

AGRADECIMIENTO	ii
DEDICATORIA	iii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
INTRODUCCIÓN	xi
CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	12
1.1 Planteamiento y formulación del problema.	12
1.1.1 Planteamiento del problema.	12
1.1.2 Formulación del problema.....	14
1.2 Objetivos	14
1.2.2 Objetivo general	14
1.2.3 Objetivos específicos.....	14
1.3 Justificación e importancia.....	15
1.3.1. Justificación Teórica.....	15
1.3.2. Justificación Práctica.....	15
1.4 Hipótesis y descripción de variables	16
1.4.1 Hipótesis	16
1.4.2. Variable dependiente	16
1.4.3 Variable independiente	16
1.4.4 Descripción de variables.....	17
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	18
2.1 Antecedentes del problema.....	18
2.1.1. Antecedentes nacionales.....	18
2.1.2. Antecedentes internacionales	18
2.2 Bases Teóricas	20

2.2.1. Pala Eléctrica CAT 7495 HF	20
2.2.2. Fundamentos de lubricación.....	21
2.2.3. Sistemas de aplicación de lubricantes	22
2.2.4. Aplicación de grasas.....	26
2.2.5. Proceso de automatización de engrase	27
2.2.7 Funcionamiento de la PALA CAT 7495 HR bajo Condiciones de Desgaste	37
2.2.8 Indicadores de mantenimiento.....	41
2.2.9 Prueba estadística	42
CAPITULO III: METODOLOGÍA	44
3.1 . Tipo de investigación.....	44
3.2 Método.....	44
3.3 Diseño de la investigación	45
3.4 Población y muestra.....	46
3.5 Técnica e instrumentos de recolección de datos	47
3.5.1 Identificación de requerimientos	47
3.5.2 Sistema de lubricación externa.....	52
CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSION	54
4.1 Tratamiento de la información y análisis de costos de mantenimiento.....	54
4.2 Indicadores técnicos de mantenimiento.....	68
4.3 Selección del sistema de engrase.....	75
4.4 Prueba de hipótesis	77
-Prueba estadística	77
CONCLUSIONES	83
RECOMENDACIONES	84
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87
ANEXOS	88
ANEXO A	88
ANEXO B.....	90
ANEXO C.....	92
ANEXO D	96
ANEXO E.....	99
ANEXO F.....	104

ANEXO G	113
ANEXO H	117

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. 1 Costo total por el cambio de pines y bocinas en un periodo de 2984 horas	13
Tabla 1. 2 Operacionalización de variable dependiente	16
Tabla 1. 3 Operacionalización de variable Independiente	16
Tabla 2. 1 características de la Pala CAT 7495 HR	21
Tabla 2. 2 Programación de lubricante en el ELECTRO-LUBER	31
Tabla 2. 3.Regla de oro para seleccionar los ajustes del interruptor	32
Tabla 2. 4.Ajustes por variación de temperatura del ELECTRO-LUBER	32
Tabla 2. 5 Selección para configuración del interruptor ELECTRO-LUBER	33
Tabla 2. 6. Características del lubricante EP2.....	35
Tabla 3. 1 Palas CAT 7495 HR	47
Tabla 3. 2 Lista de fallas por pala.....	49
Tabla 3. 3 Top ten de fallas Pareto.....	50
Tabla 3. 4 Frecuencia y costos de mantenimiento.....	52
Tabla 4. 1.Registro de actividades de mantenimientos (pala CAT 7495 HR 21-61)	55
Tabla 4. 2.Costo de componentes (bocinas y pines), materiales y equipos auxiliares (pala CAT 7495 HR 21-61)	56
Tabla 4. 3.Costo de mano de obra (pala CAT 7495 HR 21-61).....	57
Tabla 4. 4. Costos totales (pala CAT 7495 HR 21-61)	57
Tabla 4. 5.Registro de actividades de mantenimientos (pala CAT 7495 HR 21-62)	57
Tabla 4. 6.Registro de <i>actividades</i> de lubricación (pala CAT 7495 HR 21-62)	58
Tabla 4. 7.Costos de materiales y equipos (pala CAT 7495 HR 21-62).....	59
Tabla 4. 8.Costo de compontes (bocinas y pines) y equipos auxiliares utilizados (pala CAT 7495 HR 21-62)	59
Tabla 4. 9.Costo de mano de obra adicional (pala CAT 7495 HR 21-62).....	59
Tabla 4. 10.Costo de mano de obra en actividades de mantenimiento -cambio de pines y bocinas (pala CAT 7495 HR 21-62)	60
Tabla 4. 11.Costos totales (pala CAT 7495 HR 21-62)	60
Tabla 4. 12.Registro de actividades de mantenimiento (pala CAT 7495 HR 21-63).....	61
Tabla 4. 13.Costo de componente (bocinas y pines) y equipos auxiliares. (pala CAT 7495 HR 21-63)	62
Tabla 4. 14. Costo kit bomba lubricación (pala CAT 7495 HR 21-63)	62
Tabla 4. 15.Costo de Mano de Obra (pala CAT 7495 HR 21-63).....	63
Tabla 4. 16.Costos totales (pala CAT 7495 HR 21-63)	63
Tabla 4. 17.Registro de actividades de mantenimiento (pala CAT 7495 HR 21-60).....	63

Tabla 4. 18.Costo de componentes (bocinas y pines) y equipos auxiliares. (pala CAT 7495 HR 21-60)	64
Tabla 4. 19.Costo kit bomba lubricación (pala CAT 7495 HR 21-60)	65
Tabla 4. 20.Costo mano de obra (pala CAT 7495 HR 21-60).....	65
Tabla 4. 21.Costos totales	65
Tabla 4. 22 Costos totales por Palas CAT 7495 HR	66
Tabla 4. 23 Registros de mantenimientos y horas - hombre.....	67
Tabla 4. 24 Registro de indicadores de palas CAT 7495 HR.....	68
Tabla 4. 25 Registros mensuales de mantenimientos de palas CAT 7495 HR.....	69
Tabla 4. 26. Indicadores técnicos de mantenimiento	73
Tabla 4. 27.Indicadores técnicos de mantenimiento antes de la implementación	74
Tabla 4. 28. Indicadores técnicos de mantenimiento después de la implementación (Palas CAT 7495HR)	74
Tabla 4. 29 Comparación de modelos ELECTRO LUBER	77
Tabla 4. 30. MTBF antes y después de la implementación.....	78
Tabla 4. 31. MTBF Antes y después de la implementación.	79
Tabla 4. 32. Distribución t de student.....	80

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Vista general y componentes de la maquina	20
Figura 2 Características de la Pala CAT 7495 HR.....	22
Figura 3 Lubricación por dispensador de goteo.	23
Figura 4.Lubricación por anillos.	23
Figura 5. Lubricación por baño.....	24
Figura 6.Lubricación por salpicadura.	24
Figura 7.Lubricación por gravedad.....	25
Figura 8.Lubricación Mecánica	26
Figura 9.Graseras de copas.	26
Figura 10. Grasea a presión.....	27
Figura 11. Sistema automático de lubricación.....	28
Figura 12.Componentes del ELECTRO-LUBER.....	29
Figura 13. Electro Luber	34
Figura 14. Ranuras de engrase.	35
Figura 15.Tipo de ranuras de engrase.....	36
Figura 16.Ranuras de las bocinas	37
Figura 17.Movimientos de la pala al atacar su frente	37
Figura 18.Imagen de cucharon con cables de levante.....	38
Figura 19.Componentes principales del cucharon.....	40
Figura 20.Desgaste al límite de bocinas y pines.	40
Figura 21.Bocina maquinada para el punto de lubricación.....	41
Figura 22.Secuencia metodológica.	46
Figura 23 Bocina y pin son los componentes de una pala CAT 7495HR.	48
Figura 24 Desgaste de los pines de los Padlocks.	48
Figura 25 Pareto de fallas para las palas CAT 7495 HR.	50
Figura 26.Cucharon CAT 7495 HR.	53
Figura 27. Tiempo promedio entre fallas para los equipos tipo pala	70
Figura 28. Tiempo medio de reparación para los equipos tipo pala	71
Figura 29.Tiempo medio de reparación para los equipos tipo pala	72
Figura 30. Resultados del análisis estadístico con el paquete informático SPSS	81
Figura 31: Caja de lubricación de los Padlocks.....	118
Figura 32: Líneas de manguera de los Padlocks	118
Figura 33: Ubicación de los componentes del sistema de lubricación	119

RESUMEN

La presente investigación se centra en la implementación de un plan de mantenimiento orientado a incrementar la vida útil del sistema de levante de las palas CAT 7495 HR utilizadas en la Minera Antapaccay. El estudio surge ante la necesidad de reducir el desgaste prematuro de componentes críticos, como los pines y bocinas de los padlocks, los cuales generan elevados costos de mantenimiento y afectan la eficiencia operativa.

En la primera parte se formula el problema y se definen los objetivos específicos, entre los que se incluyen diagnosticar los componentes que tienen mayor impacto en la vida útil del sistema y analizar estrategias de mantenimiento que permitan prolongar su funcionamiento. Seguidamente, se desarrolla un marco teórico que contextualiza el uso de sistemas de lubricación en maquinaria pesada y sus efectos en la durabilidad de los componentes.

La metodología empleada se basa en un enfoque de investigación tecnológica, que incluye la identificación de requerimientos, el análisis de costos y la implementación de un sistema de lubricación semiautomático. Este sistema se plantea como una solución viable para reducir el desgaste y disminuir los costos operativos.

Los resultados de la investigación confirman que la implementación del sistema de lubricación semiautomático en las palas CAT 7495 HR reduce significativamente la cantidad de fallas y prolonga la vida útil de los componentes críticos. Estos hallazgos se validan mediante la prueba estadística t de Student, la cual evidencia una relación significativa entre la lubricación y la durabilidad del sistema de levante.

Finalmente, se concluye que el sistema de lubricación semiautomático no solo contribuye a incrementar la vida útil de las palas, sino que también permite una reducción considerable de los costos de mantenimiento, constituyéndose en una solución efectiva para optimizar el rendimiento de las palas CAT 7495 HR.

PALABRAS CLAVES: Plan de Mantenimiento, Incrementar vida Útil, Sistema de Lubricación, Disponibilidad y confiabilidad, Estrategias de Mantenimiento.

ABSTRACT

translator This research focuses on the implementation of a maintenance plan aimed at increasing the useful life of the CAT 7495 HR shovel lifting system used at the Antapaccay Mine. The study arose from the need to reduce premature wear and tear on critical components, such as padlock pins and horns, which generate high maintenance costs and affect operational efficiency.

The first part formulates the problem and defines the specific objectives, which include diagnosing the components that have the greatest impact on the system's useful life and analyzing maintenance strategies that will prolong its operation.

Next, a theoretical framework is developed that contextualizes the use of lubrication systems in heavy machinery and their effects on component durability.

The methodology employed is based on a technological research approach, which includes the identification of requirements, cost analysis, and the implementation of a semi-automatic lubrication system. This system is proposed as a viable solution to reduce wear and tear and lower operating costs.

The results of the research confirm that the implementation of the semi-automatic lubrication system in CAT 7495 HR shovels significantly reduces the number of failures and extends the service life of critical components. These findings are validated by Student's t-test, which shows a significant relationship between lubrication and the durability of the lifting system.

Finally, it is concluded that the semi-automatic lubrication system not only contributes to increasing the service life of the blades, but also allows for a considerable reduction in maintenance costs, making it an effective solution for optimizing the performance of CAT 7495 HR blades.

KEY WORDS: Maintenance Plan, Increase Service Life, Lubrication System, Availability and Reliability, Maintenance Strategies.

INTRODUCCIÓN

La actividad minera, que actualmente se desarrolla a nivel mundial en la explotación de diversos metales, cuenta en todos los casos con dos áreas fundamentales: el área de mina y el área de mantenimiento. En este contexto, el principal cliente del área de mantenimiento es el área de mina, la cual requiere que los equipos de operación, como camiones mineros, perforadoras y equipos de carguío, se encuentren en óptimas condiciones, con altos niveles de rendimiento y disponibilidad, a fin de garantizar una producción eficiente y rentable.

La implementación de un plan de mantenimiento de tipo conservativo, basado en la incorporación de un sistema de lubricación semiautomático para los pines y bocinas de los padlocks, permite alcanzar resultados alineados con el objetivo principal: extender la vida útil de los componentes críticos. Asimismo, se busca obtener indicadores de mantenimiento favorables, particularmente en lo que respecta a la reducción de fallas y costos asociados a las palas eléctricas, en especial la pala CAT 7495 HR.

Este equipo de carguío, considerado uno de los principales en la operación minera, originalmente no cuenta con un sistema adicional de lubricación para los pines y bocinas de padlocks. Esta carencia genera un desgaste constante de dichos componentes, lo que a su vez implica reemplazos frecuentes, aumentando los costos operativos asociados al uso de recursos como nitrógeno líquido, personal especializado, equipos móviles (grúas), entre otros.

El propósito de este proyecto es implementar un plan de mantenimiento orientado a incrementar la vida útil del sistema de levante de la pala CAT 7495 HR, mediante la introducción de un sistema de lubricación semiautomático para los pines y bocinas de padlocks. De igual manera, se busca asegurar la continuidad operativa de los trabajos ejecutados por este equipo, logrando resultados positivos en cuanto a la reducción del desgaste prematuro de los componentes. Con la implementación de este sistema, se logra un incremento en la vida útil de los principales elementos del sistema de levante, así como una mayor eficiencia, disponibilidad y confiabilidad de las palas CAT 7495 HR.

CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1 Planteamiento y formulación del problema.

1.1.1 Planteamiento del problema.

Las Palas CAT 7495 HR cumplen la función de remover el recubrimiento de las superficies y cargar los minerales a los camiones de carguío. Son máquinas que podemos encontrar en diferentes minas de tajo abierto; la función y el trabajo que realizan en las unidades mineras de diferentes partes de país y del mundo es muy importante para la producción, debido a que se tiene una buena capacidad de carga y optimiza los procesos.

En el centro minero este tipo de palas trabajan bajo las siguientes condiciones de operación: Altitud superior a los 4,200 m s.n.m, con materiales abrasivos (rocas, sulfuros, cobre, etc.), con tiempos efectivos de operación entre 80-85% del turno (24/7), con ciclos de carguío por hora entre 20-30 ciclos/hora, Gradientes de terreno (pendientes) hasta del 10% y con capacidades de carga de 100 toneladas/cucharón [1].

El principal problema que se ha identificado en estas máquinas representa el deterioro acelerado de los elementos críticos del sistema de levante (pines y bocinas que une al balde con los padlocks). El motor de levante acciona a los padlocks por intermedio de un cable de izar de 2 3/4" de diámetro, los padlocks se unen con el balde con una capacidad de carga de 60 toneladas por intermedio de un mecanismo de pines y bocinas, en el cual existe contacto entre dos superficies; como resultado del contacto se tiene una gran fricción, que se genera debido a la carga que realiza el balde y el constante movimiento que genera la máquina. El proceso en mención trae como consecuencia el desgaste de los pines y bocinas, el desgaste que se genera requiere ser atendido frecuentemente, a través del cambio de pines y bocinas, que, a su vez, genera paradas de la máquina [1].

En este sentido, las paradas de máquina, sobre todo de tipo correctivo tienen perjuicio de índole económico de gran importancia para la empresa. Por ejemplo, sobre la Pala CAT 7495 HR 2162, para la cual se tomó como

referencia un intervalo de 2984 horas de trabajo efectivo se practicaron cambios hasta en 5 oportunidades de los elementos críticos del sistema de levante (2 pines y 2 bocinas de padlocks) desde el inicio de control de desgaste correspondiente a las 34766 horas. Tal como muestra la tabla 1.1. El costo total de las actividades de mantenimiento asciende a US\$ 89 400.00 [1].

Tabla 1. 1 Costo total por el cambio de pines y bocinas en un periodo de 2984 horas

Pto. Tbo responsable	Orden	Horometro	Ubicación tecnica	Campo de clasificacion	Texto breve	Inicio programado	Prioridad	Costo total, \$	Comentario
MPAL 02	10118818	34766	8240-MAN-CAR-749	2162	CC PINES BOCINAS PADLOCKS RH Y LH 7495 HR	22/11/2022	3	17880	Se inicia el control de dsgaste de bocina y pines con 34766 hrs
MPAL 02	20121517	36002	8240-MAN-CAR-749	2162	CC PINES BOCINAS PADLOCKS RH 7495 HR	26/01/2022	3	8940	Se cambia pines y bocinas con 1236 hrs - posicion derecha
MPAL 02	20121518	36002	8240-MAN-CAR-749	2162	CC PINES BOCINAS PADLOCKS LH 7495 HR	26/01/2022	3	8940	Se cambia pines y bocinas con 1236 hrs - posicion izquierda
MPAL 02	20152938	36448	8240-MAN-CAR-749	2162	CC PINES BOCINAS PADLOCKS RH Y LH 7495 HR	18/02/2022	3	17880	Se cambia pines y bocinas con 446 hrs - posiciones derecha izquierda
MPAL 02	10153195	37507	8240-MAN-CAR-749	2162	CC PINES BOCINAS PADLOCKS RH Y LH 7495 HR	13/04/2022	3	17880	Se cambia pines y bocinas con 1059 hrs - posiciones derecha izquierda
MPAL 02	20174107	37750	8240-MAN-CAR-749	2162	CC PINES BOCINAS PADLOCKS RH Y LH 7495 HR	26/04/2022	3	17880	Se cambia pines y bocinas con 243 hrs - posiciones derecha izquierda
								89400	A las 2984 horas

Fuente: propia

Asimismo, es necesario señalar, que las palas sin sistemas de lubricación requieren aproximadamente al año un total de 120 horas con un costo de \$ 75000.0, lo que reduce significativamente la disponibilidad de los equipos, alcanzando, en algunos casos, valores inferiores al 90%.

Entonces, se ha planteado implementar un sistema de mantenimiento de tipo conservativo para el sistema de levante (pines y bocinas de los padlocks) en Palas CAT 7495 HR; de manera que, se logre disminuir el intervalo de cambios de estos componentes y correspondientemente el costo de las actividades de mantenimiento.

1.1.2 Formulación del problema

Problema General

- ¿Cómo prolongar la vida útil del sistema de levante en Palas Cat 7495HR?

Problemas específicos

- ¿Cómo impactan los diferentes mecanismos de lubricación en los costos de mantenimiento asociados a los pines y bocinas del sistema de levante de las Palas Cat 7495 HR?
- ¿Qué indicadores de mantenimiento permiten evaluar el rendimiento de un sistema de lubricación bajo condiciones con y sin lubricación de pines y bocinas del sistema de Levante de las Palas Cat 7495 HR?
- ¿Qué criterios deben considerarse para seleccionar un sistema de engrase Electro Luber que alargue la vida útil de los componentes críticos pines y bocinas en el sistema de levante de las Palas Cat 7495 HR?
- ¿Cómo demostrar el incremento de la vida útil de los componentes críticos pines y bocinas del sistema de levante de las Palas Cat 7495 HR, posterior a la implementación de un sistema de lubricación adecuado?

1.2 Objetivos

1.2.2 Objetivo general

- Implementar un plan de mantenimiento para incrementar la vida útil del sistema de levante en Palas CAT 74 95 HR

1.2.3 Objetivos específicos

- Determinar el impacto de los diferentes mecanismos de lubricación en los costos de mantenimiento con relación a pines y bocinas del sistema de levante de las Palas Cat 7495 HR.
- Evaluar los principales indicadores de mantenimiento bajo condiciones de ausencia y presencia de lubricación de pines y bocinas del sistema de levante de las Palas Cat 7495 HR

- Seleccionar el sistema de engrase Electro Luber para un correcto funcionamiento de los pines y bocinas del sistema de levante de las Palas Cat 7495 HR.
- Verificar hipótesis sobre el incremento de la vida útil del sistema de levante de las Palas Cat 7495 HR a través de una prueba estadística.

1.3 Justificación e importancia

1.3.1. Justificación Teórica

El presente trabajo de investigación busca demostrar la importancia de la implementación de los planes de mantenimiento, en especial, los sistemas de lubricación externa como un nuevo modelo para aplicación de aceites y grasas de superficies en contacto en equipos pesados y maquinas industriales.

El sistema de lubricación externa, como estrategia de mantenimiento conservativo, que se propone, se justifica en la medida en que ofrece comparativamente mejores perspectivas de funcionamiento y rentabilidad frente al sistema de lubricación interna; la implementación del sistema propuesto de lubricación permite mejoras económicas e incremento en la disponibilidad y operatividad del sistema. En este sentido es necesario señalar, que el sistema actual permite frecuencia de cambio mensual; mientras sistema propuesto, aproximadamente cada cuatro meses.

1.3.2. Justificación Práctica

Las estrategias planteadas se basan en la necesidad de reducir costos, aumentar la productividad y mejorar la disponibilidad de la pala CAT 7495 HR. El sistema semiautomático de lubricación de los padlocks en palas CAT 7495 HR, permite el aumento de vida útil de pines y bocinas, reducción de costos, aumento de productividad y mejora de disponibilidad de la máquina.[2]

Por ello afirmamos que el trabajo propuesto contribuye con información técnica-practica para las empresas que desean garantizar los resultados económicos y evitar pérdidas relacionadas al costo total de cambios de bocinas y pines de los padlocks en Palas CAT HR, al reducir el desgaste de los pines y bocinas por

fricción. Es una mejora del equipo que servirá para implementar en otros equipos que tienen similares mecanismos.

1.4 Hipótesis y descripción de variables

1.4.1 Hipótesis

Implementar un plan de mantenimiento adecuada para prolongar la vida útil del sistema de levante.

1.4.2. Variable dependiente

- Incremento de vida útil

Tabla 1. 2 Operacionalización de variable dependiente

VARIABLE	DIMENSION	INDICADOR	DESCRIPCION
Incremento de vida util	Gestion operativa	Reducción de fallas	Se medirá la reducción en el número de horas fallas o averías después de implementar el plan de mantenimiento.
	Periodo de tiempo de operación	Aumento del tiempo de operación	Se evaluará el tiempo adicional de operación (vida útil) que las Palas CAT 7495 HR alcanzan tras la implementación del plan de mantenimiento.

Fuente: Propia

Esta variable se define con base en las observaciones realizadas por el experimentador para determinar el impacto de los cambios sistemáticos en la variable anterior. La particularidad de esta variable es que puede ser investigada y medida.

1.4.3 Variable independiente

- Plan de mantenimiento

Esta variable se caracteriza ya que su valor cambia sistemáticamente para ver el efecto que esta tiene.

Tabla 1. 3 Operacionalización de variable Independiente

VARIABLE	DIMENSION	INDICADOR	DESCRIPCION
Plan de mantenimiento	Gestión operativa	Frecuencia de mantenimientos	Se medirá la cantidad de mantenimientos realizados a cada equipo por cada unidad de tiempo (horas, semanas, mensual, trimestral).
	Gestión de actividades de conservación	Costos de mantenimiento	Se evaluarán los costos asociados a los mantenimientos realizados, comparando los costos antes y después de implementar el plan de mantenimiento.

Fuente: Propia

1.4.4 Descripción de variables

- Ciclo de vida útil de las Palas

Para lograr evaluar la variación que existe en el tiempo de vida útil en las palas, se debe realizar un monitoreo constante en los sistemas de lubricación en los componentes críticos. Estableciendo la frecuencia de mantenimiento en las Palas.

- Plan de Mantenimiento

Desarrollar un programa de mantenimiento para su pala eléctrica CAT 7495 HR le ayudará a aumentar su productividad. Para ello, deberá identificar las fallas comunes de la pala y determinar el costo de cada mantenimiento.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del problema

2.1.1. Antecedentes nacionales

La tesis titulada “Diseño de un sistema de lubricación para un molino SAG 32” x 32” de 621 DMTPH de capacidad” tuvo como objetivo principal el diseño de sistemas de lubricación para molinos SAG, integrando el desarrollo de cálculos de ingeniería para los sistemas de tuberías, el dimensionamiento y selección de bombas, motores, filtros, intercambiadores de calor y otros equipos auxiliares. Para ello, se aplicaron normas internacionales como ASME, ASTM, API, MSS-SP58, MSS-SP59, NEC, entre otras, asegurando la selección y el diseño adecuado de elementos estructurales como los soportes, con el fin de garantizar el correcto funcionamiento del sistema conforme a los parámetros operativos definidos en la filosofía de control del equipo [3].

Por otro lado, la tesis titulada “Diseño de sistema de lubricación de pines y bocinas de padlock de cucharón de palas eléctricas CAT modelo 7495 HF” desarrolló un sistema de lubricación para bujes y pasadores de los padlocks del cucharón, utilizando la línea de lubricación de los cilindros HydraCrowd como fuente de suministro de lubricante hacia los bujes. Este sistema contribuye a la reducción del desgaste de bujes y pasadores, así como al desgaste mecánico general de las piezas, lo que se traduce en mayores intervalos de reemplazo, mayor precisión de los indicadores de carga de los cangilones y una significativa reducción de los costos de mantenimiento. El diseño propuesto resuelve problemas relacionados con la vida útil de los componentes, los costos operativos, los indicadores de cangilones y la programación de mantenimiento, mejorando el rendimiento global del equipo al disminuir la cantidad de personal requerido y optimizar los procesos de intervención [4].

2.1.2. Antecedentes internacionales

El trabajo de investigación titulado “Plan de lubricación para el mantenimiento mecánico de la maquinaria pesada utilizada en movimiento de tierra en la

industria de la construcción, por Topsa Construcciones S.A.” tuvo como finalidad el desarrollo de programas de mantenimiento dirigidos a los equipos clave utilizados en las actividades de movimiento de suelos. Para ello, se elaboraron procedimientos para la evaluación de riesgos asociados a los productos, así como lineamientos para el mantenimiento preventivo, todo ello en cumplimiento de los procedimientos específicos para cada tipo de equipo, conforme al manual y a las especificaciones técnicas proporcionadas por el fabricante [3].

Asimismo, el trabajo de investigación titulado “Sistemas de lubricación automática para equipos móviles, mineros e industriales: diseño conceptual, selección de componentes, operación y mantención” se orientó al estudio de alternativas que permitan, por un lado, optimizar las pautas de lubricación de rodamientos en distintos equipos y, por otro lado, minimizar los errores derivados de la dosificación y reposición manual de lubricantes. Para alcanzar este objetivo, además de abordar los conceptos fundamentales de lubricación, se aplicó el programa Motion Guard Select Manager, desarrollado por un reconocido fabricante de rodamientos y disponible de forma gratuita.

La implementación de este software ha demostrado ser eficaz al reducir el tiempo requerido para la dosificación de grasa, facilitar la programación de los cambios de lubricante en función del consumo del tanque y prevenir fallas en los rodamientos ocasionadas por una lubricación incorrecta durante los procesos manuales. El estudio expone de manera detallada la metodología de uso del software y describe cómo el personal de mantenimiento puede aplicarlo de forma práctica y secuencial. En conclusión, el uso, gestión y los cálculos generados por este programa brindan a los departamentos de mantenimiento una herramienta efectiva para evitar tiempos prolongados de inactividad a causa de fallas en los equipos derivadas de una lubricación deficiente, lo que se traduce en una mayor eficiencia operativa y disponibilidad de los equipos [5].

2.2 Bases Teóricas

2.2.1. Pala Eléctrica CAT 7495 HF

Las palas eléctricas de cable llevan más de un siglo extrayendo tierra vegetal y minerales de minas de todo el mundo. Estas máquinas son eficientes, seguras y fiables. La Figura 1 muestra los componentes principales de una pala eléctrica de cable.

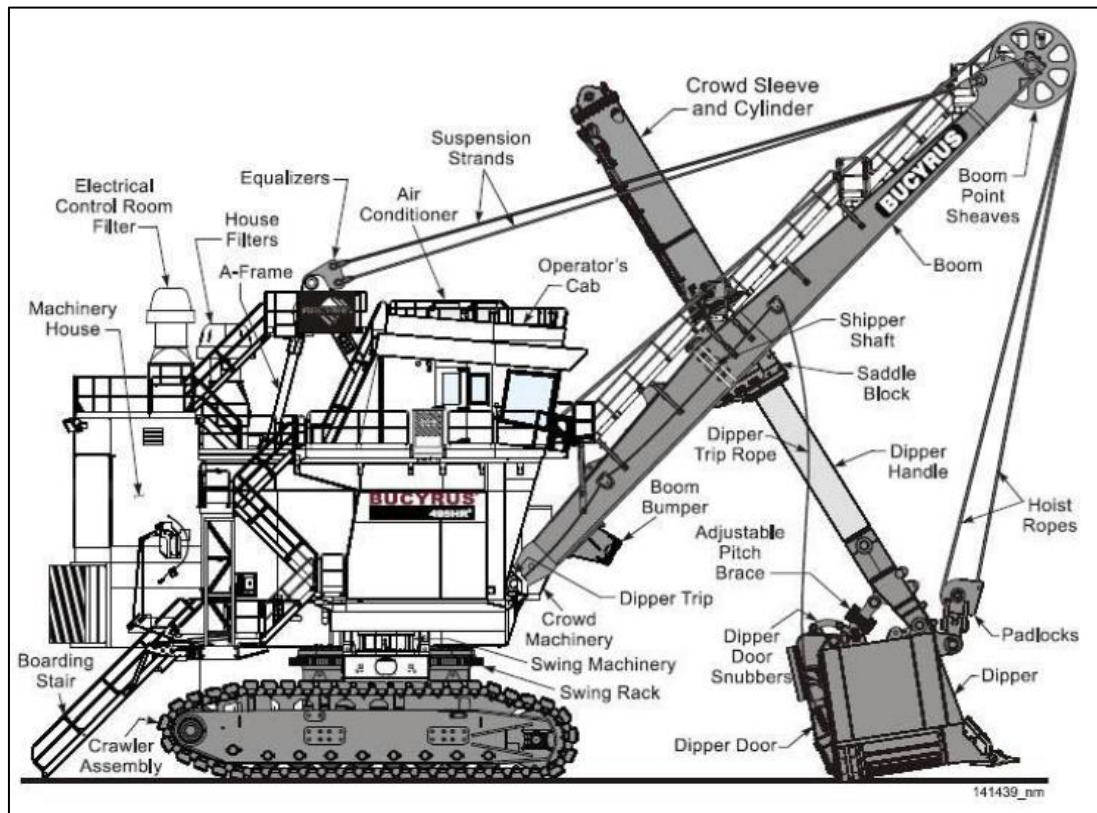


Figura 1 Vista general y componentes de la maquina

Fuente:[9]

Las capacidades de la Pala Eléctrica CAT 7495 HR se muestran en la Tabla 2.1, la capacidad del balde supera las 100 toneladas métricas y un volumen de hasta 80 yardas cuadradas.

Tabla 2. 1 características de la Pala CAT 7495 HR

Dimensiones: con HydraCrowd		
Carga útil de la draga (cargas útiles disponibles de hasta 109 tons métricas [120 tons EE.UU.] cuando se especifica)	100 tons métricas	110 tons EE.UU.
Capacidad de la draga	30,6 a 61,2 m ³	40 a 80 yd ³
Largo de la pluma	20,4 m	67'
Longitud real de la manija de la draga	10,9 m	35' 10"
Longitud total de la manija de la draga	14,3 m	47'
Pesos: con HydraCrowd		
Peso de trabajo, con draga y varillaje estándar	1.442.274 kg	3.179.670 lb
Peso neto, interno, sin lastre ni draga	1.059.056 kg	2.334.820 lb
Draga de uso general: 56 m ³ (73 yd ³)	80.603 Kg	177.700 lb
Lastre (proporcionado por el cliente)	302.614 kg	667.150 lb

Fuente: [9]

2.2.2. Fundamentos de lubricación

La lubricación puede definirse como el proceso destinado a reducir la fricción entre dos superficies en movimiento relativo, mediante la aplicación de una sustancia lubricante entre ellas. Existen diversos métodos de lubricación, cuya selección debe basarse en factores como el tipo de máquina, las condiciones de operación, la velocidad de trabajo y las características de las superficies involucradas [9].

Esta tarea no siempre es sencilla. En la mayoría de los casos, se recomienda utilizar el lubricante sugerido por el fabricante de la máquina. Sin embargo, en determinadas circunstancias, los resultados pueden no ser los esperados. Ante esta situación, es aconsejable recurrir a un especialista en lubricación, quien cuenta con tablas de equivalencias para distintas aplicaciones, así como la capacidad de brindar asesoramiento técnico para ajustar el lubricante en función de los requerimientos específicos de la operación, las condiciones ambientales, la humedad y los cambios climáticos.

Cuando se consideran adecuadamente estas variables, las máquinas y equipos operan en condiciones óptimas, se minimizan los desgastes prematuros y se incrementa su vida útil.

La empresa MULTILAC, especialista en sistemas de lubricación, destaca que la aplicación de lubricantes es fundamental en componentes que requieren lubricación constante con mínima intervención, como los bujes de articulaciones, chumaceras de molinos, bocinas, pines, rodamientos, yugos, entre otros [9].

Los lubricantes empleados en estos sistemas se componen de aceites minerales o sintéticos, combinados con espesantes orgánicos, organometálicos o inorgánicos. Las partículas más finas de estos espesantes forman una estructura tridimensional coherente, que proporciona estabilidad a la grasa y la diferencia de las pastas lubricantes que utilizan sólidos en polvo, como el grafito o el disulfuro de molibdeno.

2.2.3. Sistemas de aplicación de lubricantes

Lubricación por goteo

Se utiliza en cojinetes de fricción y consta de un recipiente en forma de copa que contiene el aceite y una varilla central que entrega el aceite a la superficie a lubricar, como se detalla en la figura 2.

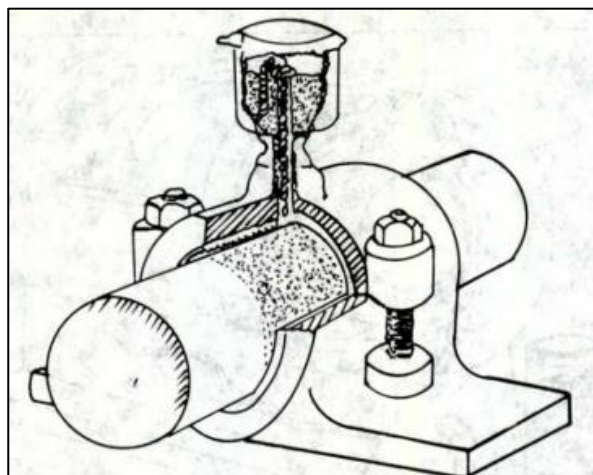


Figura 2 Características de la Pala CAT 7495 HR

Fuente: [2]

Lubricación por dispensador de goteo

Este se gradúa por medio de una válvula de agua, la cual permite regular la cantidad de gotas de aceite que deben llegar hasta las superficies que deben ser lubricadas, como se aprecia en la figura 3.

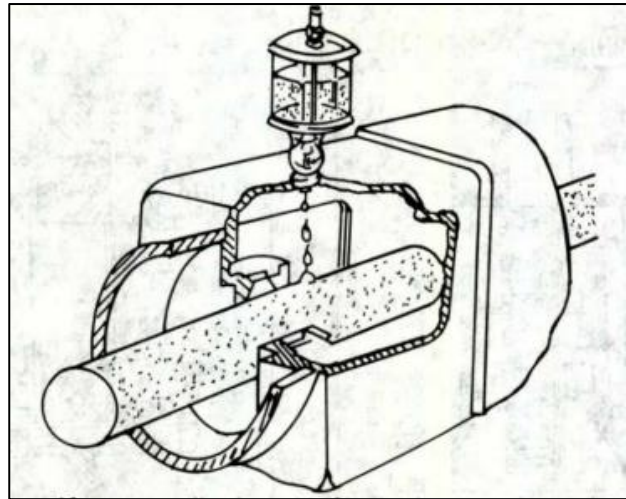


Figura 3 Lubricación por dispensador de goteo.

Fuente:[2]

Lubricación por anillos

El sistema consta de uno o más anillos de aceite sumergidos en un tanque de aceite y montados en el eje a lubricar. Al girar el eje, los anillos de aceite giran conjuntamente, como se detalla en la figura 4.

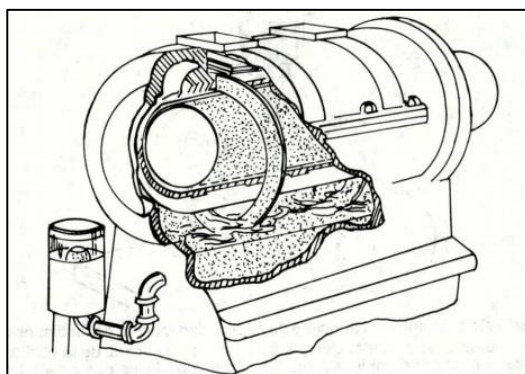


Figura 4.Lubricación por anillos.

Fuente:[2]

Lubricación por baño

Este sistema es ampliamente utilizado debido a su alta eficiencia. El eje o las bolas del rodamiento están siempre en contacto con el aceite. Por lo tanto, es necesario mantener el nivel de aceite correcto y limpiarlo regularmente.

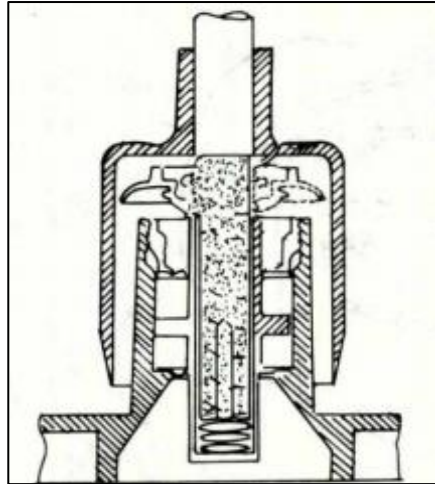


Figura 5. Lubricación por baño.

Fuente:[2]

Lubricación por salpicadura

Este sistema consiste en un depósito de aceite (o cárter). El aceite está a un determinado nivel; de allí es llevado a los órganos movidos por la parte inferior de las levas al girar el cigüeñal, como se aprecia en la figura 6.

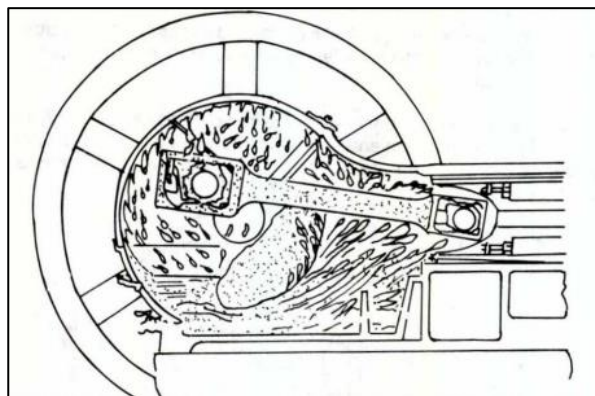


Figura 6. Lubricación por salpicadura.

Fuente:[2]

Lubricación por gravedad

En este sistema, el aceite lubricante llega a las piezas que lo necesitan por gravedad. Tras la lubricación, el exceso de aceite cae en el tanque de aceite, donde es bombeado por la bomba de engranajes.

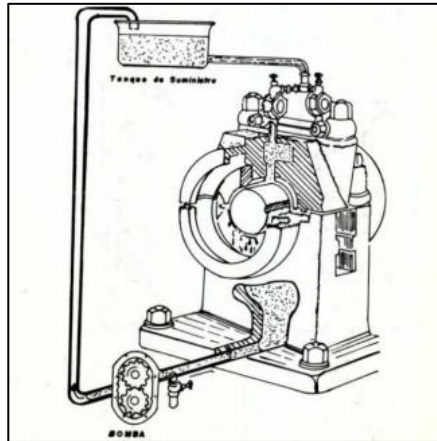


Figura 7. Lubricación por gravedad.

Fuente:[2]

Lubricación Mecánica

La lubricación de máquinas es quizás el sistema automatizado más utilizado. La mayoría de los compresores grandes son completamente automáticos. El componente principal de un sistema de lubricación de máquinas es un contenedor ubicado convenientemente junto a la máquina que necesita lubricación. Dentro del recipiente hay una serie de bombas de émbolo, una de las cuales se muestra en la Figura 8.

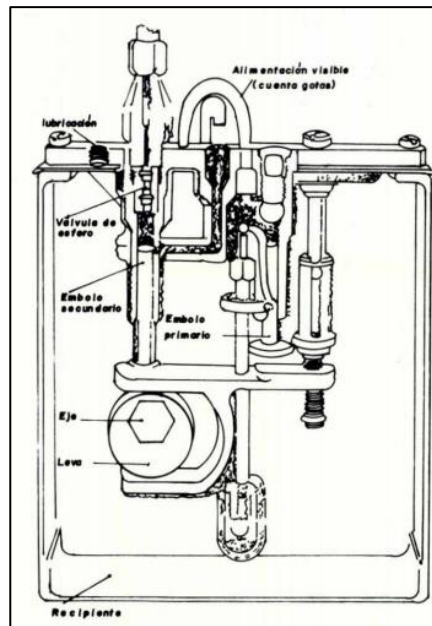


Figura 8.Lubricación Mecánica

Fuente:[2]

2.2.4. Aplicación de grasas

Los sistemas vistos anteriormente son únicamente para aplicación de aceites. Las grasas se hacen llegar a las partes que deben ser ubicadas mediante sistemas manuales y automáticos. Dentro de los sistemas manuales existen las graseras de copa y las de presión o tipo a limite.

Graseras de copa

La copa graseras se llena de grasa hasta que ésta es obligada a salir por la presión que ejerce la tapa al ser enroscada.

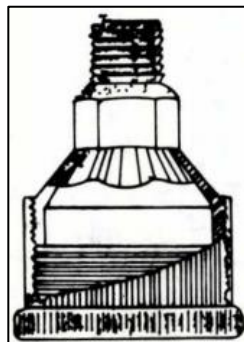


Figura 9.Graseras de copas.

Fuente:[2]

Graseras a presión o limite

La grasa se inyecta a presión mediante una pistola. La presión de la grasa vence la acción del resorte y la grasa penetra al interior.

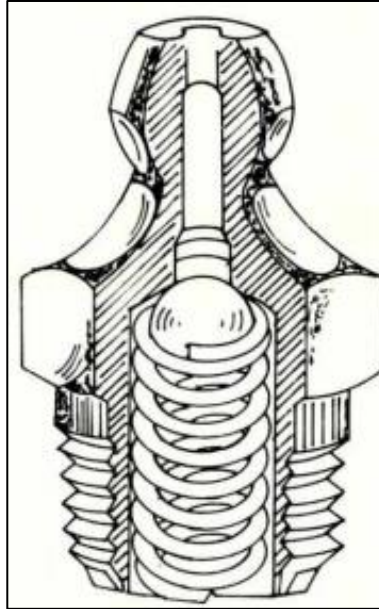


Figura 10. Graser a presión.

Fuente:[2]

2.2.5. Proceso de automatización de engrase

La automatización de procesos se define como la sustitución de tareas manuales tradicionales por actividades realizadas de manera automática mediante máquinas, robots u otros equipos automatizados. Este proceso permite liberar a las personas de tareas repetitivas o tediosas, gracias al uso integrado de sensores, controladores, actuadores, así como de algoritmos y sistemas de control avanzados [10].

A lo largo de la historia, las personas han buscado continuamente diseñar herramientas y máquinas que faciliten el trabajo, especialmente en aquellas tareas que requieren esfuerzo repetitivo o que implican altos márgenes de error humano. En las últimas décadas, el desarrollo de maquinaria sofisticada ha impulsado significativamente la automatización de procesos, convirtiéndose en una tecnología ampliamente utilizada en diversas industrias y fábricas a nivel mundial.

- Procesos de producción o automatización industrial;
- Diseño de unidades de ingeniería, circuitos y sistemas electrónicos, arquitecturas complejas, etc.;
- Organización y planificación de actividades de producción y económicas;
- Actividades y operaciones militares;
- Investigación y experimentos;
- Medicina y técnicas de diagnóstico;
- Redacción y procesamiento de datos estadísticos;
- Programación;
- Cálculos de ingeniería, etc.

Este sistema consta de una motobomba, tuberías de suministro, control de presión y válvulas que controlan la cantidad de grasa que ingresa a las partes que deben ser lubricadas.

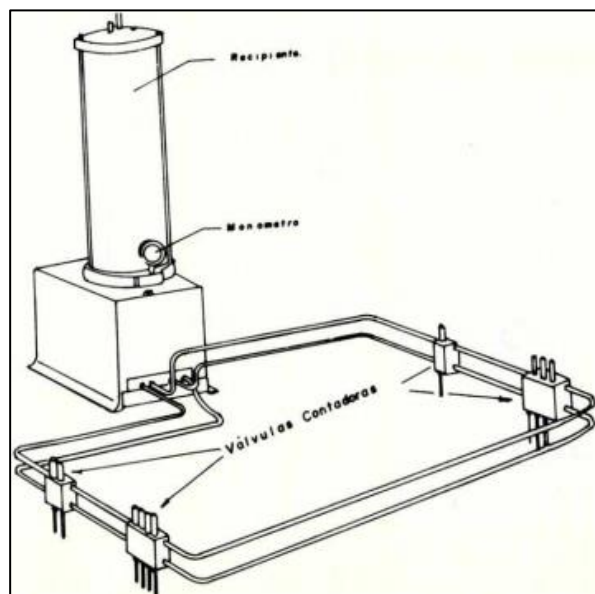


Figura 11. Sistema automático de lubricación.

Fuente:[2]

Dentro de los sistemas de lubricación automatizada se encuentran diferentes tipos de los cuales se explicarán los siguientes.

a) Sistema de lubricación ELECTRO-LUBER

ELECTRO-LUBER es un lubricador eléctrico cuya función principal es suministrar lubricante a superficies en contacto, tales como rodamientos, pines, bocinas, entre otros. El funcionamiento de este sistema se basa en un mecanismo electroquímico controlado.

Al activarse uno o varios de los interruptores selectores, se pone en marcha una celda de reactor electroquímico, la cual inicia una reacción mediante la que la energía eléctrica se convierte en gas nitrógeno. Este gas queda contenido dentro de una cámara herméticamente sellada. A medida que se genera el gas, se acumula presión interna que actúa sobre un pistón. Este pistón, a su vez, fuerza al lubricante a salir del cilindro y dirigirse hacia el punto de lubricación requerido.

La cantidad de gas producido, y por ende la presión ejercida sobre el pistón, depende directamente de la intensidad de la corriente eléctrica aplicada. De este modo, se controla tanto la tasa de flujo del lubricante como el tiempo de operación del ELECTRO-LUBER, garantizando una lubricación constante, precisa y automatizada en los componentes críticos [10].

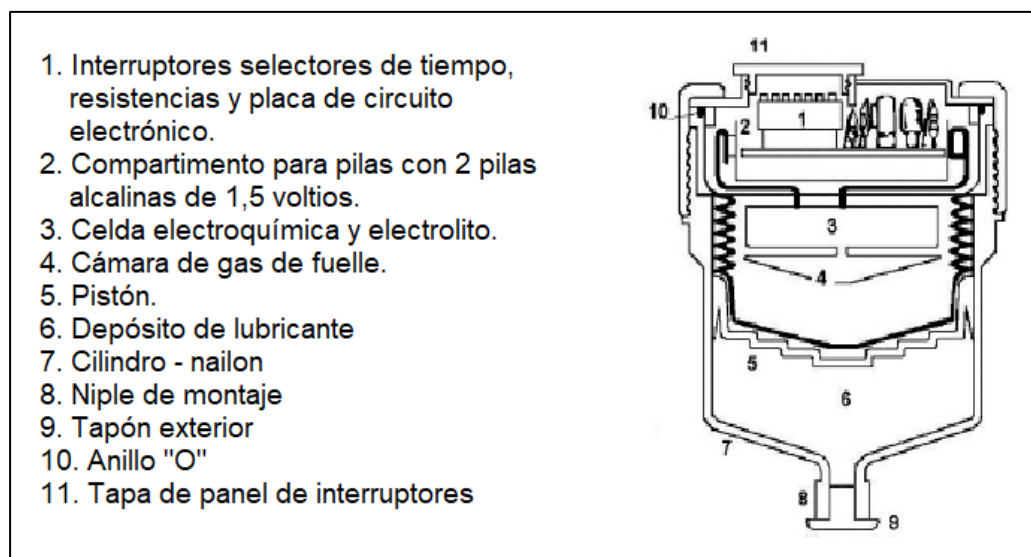


Figura 12. Componentes del ELECTRO-LUBER.

Fuente:[3]

Para garantizar el correcto funcionamiento y la eficacia del ELECTRO-LUBER, es fundamental no utilizarlo en condiciones de temperatura inferiores a -40°C o superiores a 55°C, ni en aplicaciones que requieran presiones superiores a 50 psi. Es importante destacar que el ELECTRO-LUBER es un lubricador de un solo punto y no está diseñado para suministrar lubricante a más de un rodamiento.

Los modelos MICRO-LUBER y MINI-LUBER cuentan con roscas NPT de 1/4", mientras que los modelos BUDGET-LUBER y JUMBO-LUBER disponen de roscas NPT de 1/2". En caso de que sea necesario instalar el ELECTRO-LUBER en rodamientos con diferentes tamaños de rosca, se deben emplear adaptadores de plomería estándar o los adaptadores específicos que proporciona ATS ELECTRO-LUBER [10].

Para instalaciones remotas del ELECTRO-LUBER™ lleno de grasa, se recomienda utilizar hasta 3 pies (0.91 metros) de tubería, con un diámetro interno mínimo de 1/4", siendo preferible el uso de tubería de 3/8". Si se utiliza aceite como lubricante, la longitud de la línea puede extenderse hasta 15 pies (4.57 metros). En estos casos, los lubricadores llenos de aceite deben instalarse con la salida orientada hacia arriba para evitar el vaciado accidental del lubricante. Si la instalación con la salida hacia abajo es inevitable, se debe incorporar una válvula de retención de baja presión para evitar el drenaje involuntario.

Cabe resaltar que los lubricantes de alta temperatura con clasificación NLGI 2 tienden a endurecerse bajo condiciones de bajas temperaturas, lo que puede impedir la correcta expulsión del lubricante. Por lo tanto, para aplicaciones en ambientes de baja temperatura, se recomienda el uso de lubricantes de baja temperatura con clasificación NLGI 0 o 1.

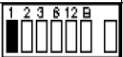
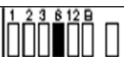
Como buena práctica de mantenimiento, se debe purgar el rodamiento cada vez que se realice un cambio de lubricador. Además, si se utilizan racores o conductos de grasa, estos deben llenarse previamente con el mismo tipo de

lubricante. Es indispensable realizar inspecciones periódicas para asegurar el flujo libre y continuo del lubricante durante toda la vida útil del producto.

Los ELECTRO-LUBER llenos de lubricante tienen una vida útil de 1 año, con una vida útil total de hasta 2 años, aunque esta duración puede variar dependiendo del tipo de grasa utilizada, ya que diferentes formulaciones de grasa pueden presentar separaciones o alteraciones de manera distinta.

La Tabla 2.2 compara la tasa de salida del lubricante proporcionada por el ELECTRO-LUBER con diferentes programas comunes de lubricación manual. El ajuste del interruptor indicado en el equipo permite obtener un suministro de lubricante equivalente al de las prácticas manuales recomendadas. No obstante, se debe evitar la sobre lubricación de los cojinetes, ya que el exceso de lubricante puede causar daños al sistema.

Tabla 2. 2 Programación de lubricante en el ELECTRO-LUBER

Manual Lubrication Schedule	MICRO-LUBER Setting		MINI-LUBER Setting		BUDGET-LUBER Setting		JUMBO-LUBER Setting	
	Unit Life	Switch Setting	Unit Life	Switch Setting	Unit Life	Switch Setting	Unit Life	Switch Setting
Daily lubrication 3 – 4 strokes	.5 month		1 month		2 months		4 months	
2 – 3 day lubrication 3 – 4 strokes	1 month		2 months		4 months		8 months	
Weekly lubrication 8 – 10 strokes	1.5 months		3 months		6 months		12 months	
Bi-week lubrication 8-10 strokes	3 months		6 months		12 months			
Monthly lubrication 8-10 strokes	6 months		12 months					

Fuente:[5]

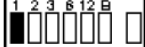
La Tabla 2.3 ofrece una "regla general" para seleccionar los ajustes de interruptor y las tasas de salida de lubricante adecuados para algunas aplicaciones básicas. Se deben considerar muchas variables al determinar la mejor configuración para su entorno operativo. Las áreas de alta contaminación y lavado con agua pesada generalmente requieren un ligero aumento en la tasa de flujo de lubricante. Los ajustes que se muestran a continuación se basan en una temperatura ambiente de funcionamiento promedio de 20 °C. Consulte la

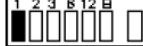
tabla de temperaturas en la página siguiente para utilizar su ELECTRO-LUBERTM en otros rangos de temperatura. Debido a la gran cantidad de variables que se encuentran en los entornos operativos reales, esta tabla solo debe considerarse como una guía para hacer una selección de los ajustes adecuados del interruptor.

Tabla 2. 3.Regla de oro para seleccionar los ajustes del interruptor

Bearing Shaft Size	MICRO-LUBER	
	Switch Setting	Days to Empty
4" to 4 3/4"		15
3 1/4" to 4"		30
2 3/4" to 3 1/4"		45
2 1/4" to 2 3/4"		90
1 3/4" to 2 1/4"		120

Bearing Shaft Size	MINI-LUBER	
	Switch Setting	Days to Empty
4 3/4" to 6 1/2"		15
4" to 4 3/4"		30
3 1/4" to 4"		60
2 3/4" to 3 1/4"		90
2 1/4" to 2 3/4"		180
1 3/4" to 2 1/4"		360

Bearing Shaft Size	BUDGET-LUBER	
	Switch Setting	Days to Empty
4 3/4" to 6 1/2"		30
4" to 4 3/4"		60
3 1/4" to 4"		120
2 3/4" to 3 1/4"		180
2 1/4" to 2 3/4"		360

Bearing Shaft Size	JUMBO-LUBER	
	Switch Setting	Days to Empty
12 to 14 3/4"		20
10 3/4" to 12"		30
8 1/2" to 10 3/4"		60
6 1/2" to 8 1/2"		90
4" to 6 1/2"		120
2 3/4" to 4"		360

Fuente:[5]

La tasa de dispensación se calcula en 20° C al nivel del mar y 14,7 PSI / G. Sin embargo, a medida que sube la temperatura aumenta la velocidad de dispensación, a medida que la temperatura baja, la velocidad de dispensación disminuye. Para calcular la velocidad de dispensación del ELECTRO-LUBER a temperaturas más altas o bajas, consulte la Tabla 4 y aplique el factor en la Tabla 5.

Tabla 2. 4.Ajustes por variación de temperatura del ELECTRO-LUBER

		° F	° C	FACTOR	
Anillo rojo MÁS EFECTIVO TEMPERATURAS DE FUNCIONAMIENTO	Anillo azul MÁS EFECTIVO TEMPERATURAS DE FUNCIONAMIENTO	+131o	+55o	+35%	Dispensador estándar - vida útil máxima 90 días a 55o C (131o F)
		+113o	+45o	+30%	
		+104o	+40o	+20%	
		+95o	+35o	+15%	EJEMPLO 1 Una unidad de "30 días" instalada a 40o C se vaciará un 20% más rápido (descarga de 24 días).
		+86o	+30o	+10%	
		+77o	+25o	+5%	
		+68o	+20o	Estable	
		+59o	+15o	-5%	EJEMPLO 2 Una unidad de "30 días" instalada a -30o C tiene una pérdida de velocidad de dispensación del 50% (descarga de 45 días).
		+50o	+10o	-10%	
		+41o	+5o	-15%	
		+32o	0o	-20%	
		+23o	-5o	-25%	La dispensación estándar funcionará normalmente a una temperatura de -40o C (-40o F).
		+14o	-10o	-30%	
		+3,2o	-20o	-35%	
		-4,0o	-26o	-40%	
		-14,8o	-26o	-45%	
		-22o	-30o	-50%	
		-32,8o	-36o	-55%	
		-40o	-40o	-60%	

Fuente:[8]

Un golpe de una pistola de engrase típica equivale aproximadamente a un centímetro cúbico (cc). Para seleccionar el ajuste del interruptor apropiado para su aplicación, primero busque en la fila de temperatura la temperatura ambiente aproximada para la aplicación. Para aplicaciones de temperatura fluctuante, tome el promedio entre la temperatura alta y la baja. A continuación, busque en la columna la salida deseada de lubricante, recordando que 1 cc equivale aproximadamente a una carrera de una pistola engrasadora. La configuración del interruptor se muestra en la columna más a la izquierda.

Tabla 2. 5 Selección para configuración del interruptor ELECTRO-LUBER

ULTIMATE LUBER™ (500cc)																		
	+14°F		+32°F		+50°F		+68°F		+77°F		+86°F		+95°F		+113°F		+131°F	
Switch settings	Daily output cc's	Days until empty	Daily output cc's	Days until empty	Daily output cc's	Days until empty	Daily output cc's	Days until empty	Daily output cc's	Days until empty	Daily output cc's	Days until empty	Daily output cc's	Days until empty	Daily output cc's	Days until empty	Daily output cc's	Days until empty
All	22.3	20	25.5	18	28.7	16	31.8	14.2	33.5	13	35.1	13	36.7	12	39.8	11	43.5	10
1	10.5	43	12.0	37	13.5	33	15.0	30	15.8	28	16.5	27	17.3	26	18.8	24	20.5	22
2	5.3	85	6.0	74	6.8	66	7.5	60	7.9	57	8.3	54	8.6	52	9.4	48	10.2	44
3	3.5	128	4.0	112	4.5	99	5.0	90	5.3	85	5.5	81	5.8	78	6.3	71	6.8	65
6+12	2.6	171	3.0	150	3.4	133	3.7	120	3.9	114	4.1	109	4.3	104	4.7	96	5.1	88
6+B	2.4	190	2.7	166	3.0	148	3.4	133	3.5	127	3.7	121	3.9	116	4.2	106	4.6	97
6	1.8	255	2.0	223	2.3	198	2.5	180	2.6	170	2.8	162	2.9	155	3.1	143	3.4	131
12+B	1.3	337	1.5	295	1.7	262	1.9	240	2.0	225	2.1	214	2.2	205	2.4	189	2.6	173
12	0.9	510	1.0	447	1.1	397	1.25	360	1.3	340	1.4	325	1.4	311	1.6	286	1.7	262

Fuente:[6]

En el modelo del kit de bomba que se usará en esta implantación de lubricación semiautomático de pines y bocinas de padlocks, es el Electro-Lube 500 el cual

según la programación mínima de lubricación es de 4 golpes el cual durara, un depósito de 500 CC de grasa, en un periodo de 4 meses, como se aprecia en la figura 13.



Figura 13. Electro Luber

Fuente: propia.

b) Lubricante y grasas para pines y bocinas

EP 2 es una grasa multifuncional especialmente formulada para la lubricación de rodamientos de agujas, de rodillos, de cojinetes lisos, de rodamientos de ruedas, de juntas estándar, de chasis y de equipamientos, sometidos a choques y vibraciones. Aplicaciones posibles en los transportes, agricultura, obras públicas, vehículos todo terreno, con o sin presencia de agua y polvo. MULTIS EP 2 es igualmente apropiado para toda aplicación industrial donde se requiere una grasa de extrema presión de grado NLGI2.[8]

Especificaciones:

ISO 6743-9: L-XBCEB 2

DIN 51 502: KP2K -25

Propiedades del lubricante EP2:

El carácter multifuncional de EP 2 cubre una amplia gama de aplicaciones y permite racionalizar los stocks y simplificar las operaciones de mantenimiento, reemplazando numerosas grasas. Excelente película lubricante, lo que reduce los costos de mantenimiento. Miscible con la mayoría de las grasas jabonosas convencionales. Excelente estabilidad mecánica, lo que evita que las piezas se

desprendan o desprendan durante el uso. Excelente resistencia y resistencia al metal. Buena estabilidad térmica, útil para soportar fluctuaciones de temperatura. EP 2 no contiene plomo ni otros metales pesados perjudiciales para la salud humana ni para el medio ambiente.

Tabla 2. 6. Características del lubricante EP2

EP 2	METODO	UNIDADES	EP2
Espesante	-	-	Litio
Grado NLGI	ASTM D 217 / DIN 51 818	-	2
Color	Visual	-	Marrón
Apariencia	Visual	-	Lisa
Rango de temperaturas de uso		°C	-30 a 150
Penetración a 25°C	ASTM D 217 / DIN 51 818	0.1 mm	265 a 295

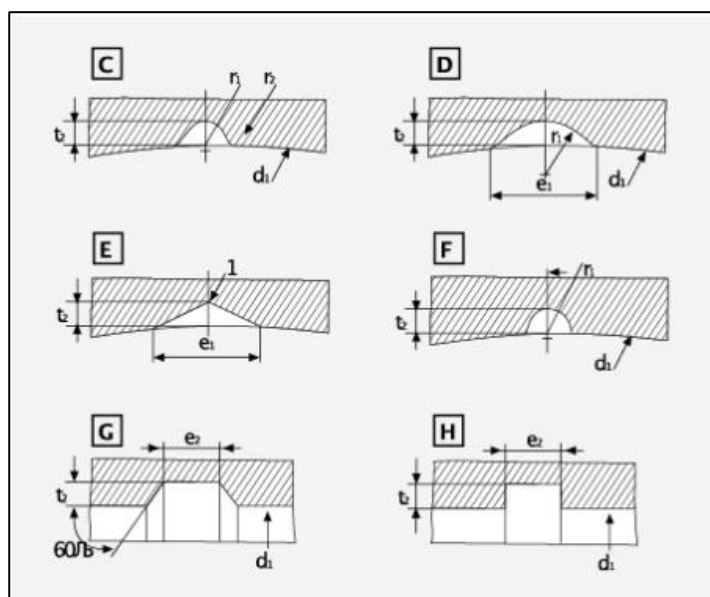


Figura 14. Ranuras de engrase.

Fuente:[6]

Tipos de ranuras de engrase:

Para garantizar una lubricación eficiente, es necesario realizar ranuras específicas en las superficies de la bocina, las cuales deben cumplir con ciertas dimensiones (figura 14), estas dimensiones varían según el formato y la geometría de las ranuras. Las

ranuras pueden ser ciegas o abiertas a uno o ambos lados, y su diseño adecuado es crucial para optimizar el proceso de lubricación

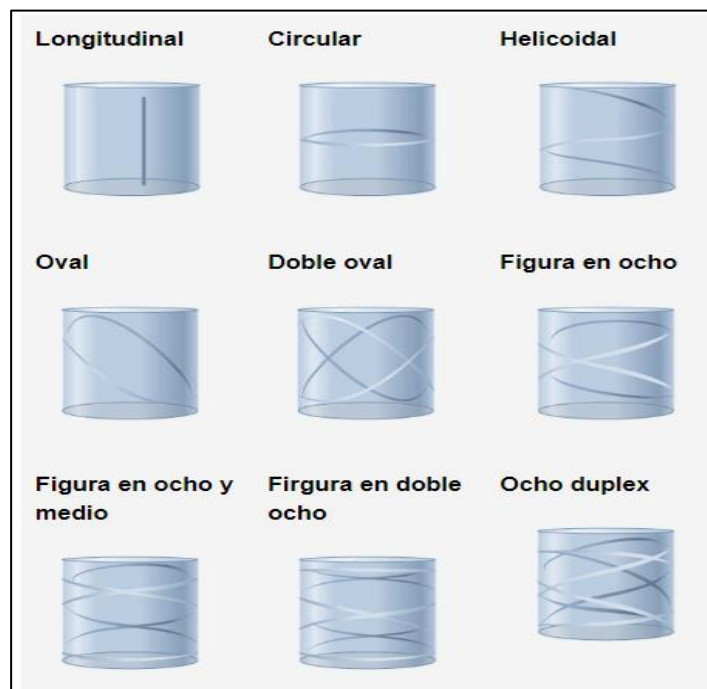


Figura 15. Tipo de ranuras de engrase.

Fuente:[5]

Para realizar las ranuras en las bocinas se debe tener en cuenta los siguiente:

Ancho de la ranura (W):

d = Diámetro del buje

$$W = 0.06 \times d$$

$$W = 0.06 \times 8,58$$

$$W = 0,51 \text{ plg} = 1,29 \text{ cm}$$

Profundidad de la ranura (D):

$$W = 0.5 \times D$$

$$W = 0.5 \times 0.51$$

$$W=0,255 \text{ plg}=0,64 \text{ cm}$$



Figura 16.Ranuras de las bocinas

Fuente: [5]

2.2.7 Funcionamiento de la PALA CAT 7495 HR bajo Condiciones de Desgaste

Los movimientos que realiza el equipo son como se detalla en la figura 17.

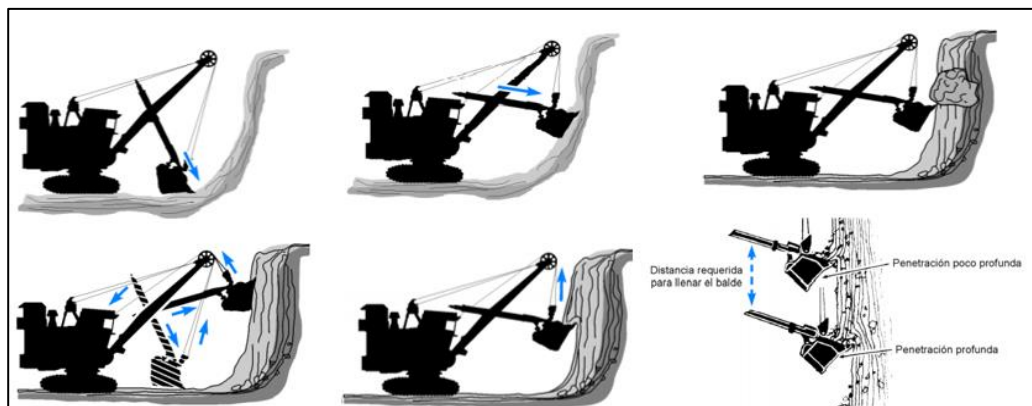


Figura 17.Movimientos de la pala al atacar su frente

Fuente:[7]

Al comienzo del ciclo de perforación, el movimiento rápido empuja la punta del cucharón hacia abajo, dentro de la tolva. Esta fuerza de apertura del orificio de la mina y del frente de la mina permite el movimiento a través de una columna de material con una sección transversal lo suficientemente grande como para llenar eficazmente el cucharón.

La alta presión de la bola de caída puede hacer que la pluma se levante. Este movimiento puede causar daños. Una torsión excesiva puede reducir la vibración de la bola y el rendimiento de la máquina. [11]

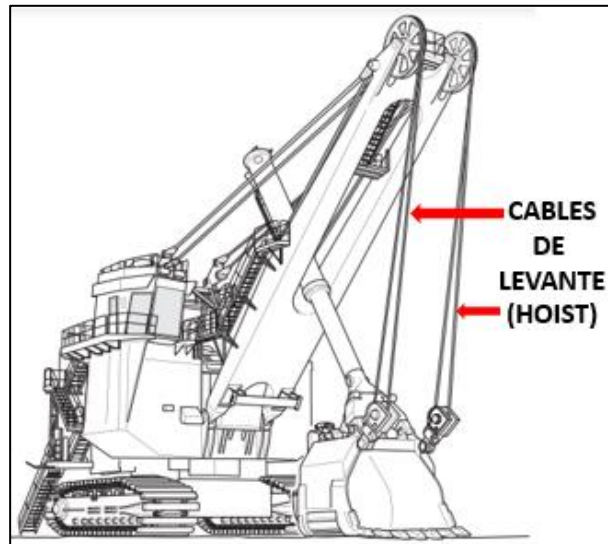


Figura 18. Imagen de cucharón con cables de levante.

Fuente:[7]

La profundidad de la fuerza de penetración en un pilote está directamente relacionada con la profundidad a la que se eleva el cucharón. Suponiendo que la elevación sea suficiente para cortar el pilote, cuanto más profunda sea la penetración, más rápido se llenará el cucharón. No intente levantar todo el pilote cada vez. Cuando el cucharón esté lleno, retírelo del pilote y gírelo para cargar el camión. La fuerza de penetración debe aumentar rápidamente en el punto de entrada y a medida que el cucharón penetra en el pilote. Esto permite excavar al máximo el área cercana al fondo del pilote. Esto es especialmente beneficioso al excavar material suelto o volado. Cuanto mayor sea la elevación y el impulso de empuje, más rápido se llenará el cucharón durante el ciclo de excavación. Al levantar el cajón, se deben usar suficientes correas para asegurarlo a la mesa. Otra ventaja para pesar y levantar con eficiencia es que la resistencia vertical creada por el material de la mesa tiende a resistir la apertura frontal del cajón, reduciendo el espacio y manteniendo la carga.

La profundidad de penetración de un pilote está directamente relacionada con la altura a la que se eleva el cucharón. Suponiendo que la elevación sea la adecuada para cortar el pilote, cuanto mayor sea la profundidad de penetración, más rápido se llenará el cucharón. No se debe intentar levantar todo el pilote en una sola acción. Una vez que el cucharón esté lleno, debe retirarse del pilote y girarse para realizar la descarga en el camión.

La fuerza de penetración debe aplicarse de forma rápida y efectiva en el punto de entrada y debe mantenerse a medida que el cucharón penetra en el pilote. Esta técnica permite maximizar la excavación en la zona próxima al fondo del pilote, lo que resulta especialmente beneficioso al excavar materiales sueltos o previamente volados.

A mayor altura de elevación y mayor impulso de empuje, más eficiente será el llenado del cucharón durante el ciclo de excavación. Al momento de levantar el cajón, es indispensable utilizar las correas adecuadas para asegurarlo de manera firme a la mesa.

Otro aspecto importante para optimizar la eficiencia en las operaciones de carga y elevación es que la resistencia vertical generada por el material de la mesa contribuye a evitar la apertura frontal del cajón, lo que reduce el espacio libre y mantiene estable la carga durante el proceso.

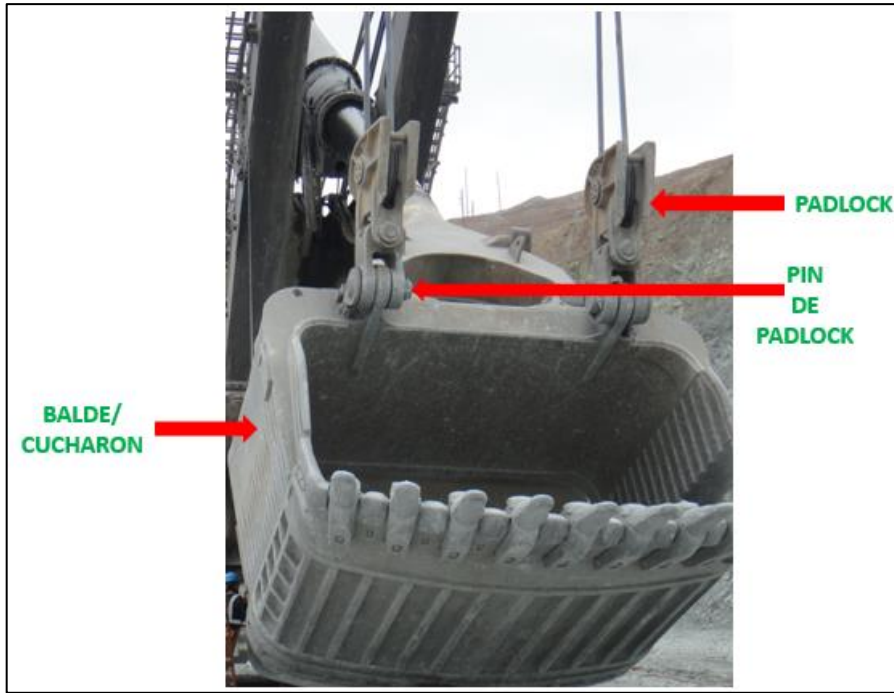


Figura 19.Componentes principales del cucharon

Fuente: propia

En la imagen se visualiza el desgaste por fricción entre dos metales bocinas y pines y si lubricación llega el desgaste hasta alcanzar parte de la oreja del cucharon:



Figura 20.Desgaste al límite de bocinas y pines.

Fuente: propia

Se observa las imágenes de bocinas y pines se encuentran con desgaste en el cual no cuentan con un sistema de lubricación para reducir el desgaste y

aumentar la vida útil de los componentes, el cual reciben la mayor fuerza entre el pin y la bocina.

A raíz de la falta de lubricación se evalúa implementar las bocinas con un sistema de maquinado interno llamado canales de lubricación.



Figura 21. Bocina maquinada para el punto de lubricación

Fuente:[5]

2.2.8 Indicadores de mantenimiento

Disponibilidad La disponibilidad es un indicador clave en la gestión del mantenimiento y se define como la relación entre el MTBF (*Tiempo Medio Entre Fallas*) y la suma del MTBF y el MTTR (*Tiempo Medio Para Reparar*), expresada como un porcentaje:

$$Disponibilidad = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

La disponibilidad evalúa qué tan operativos son los equipos y cómo las intervenciones de mantenimiento impactan en su tiempo productivo. Al disminuir el MTTR o aumentar el MTBF, se mejora significativamente este indicador. [12]

“El factor de disponibilidad de un equipo o sistema es una medida que nos indica cuánto tiempo está ese equipo o sistema operativo respecto de la duración total durante la que se hubiese deseado que funcionase. Típicamente se expresa en porcentaje. No debe ser confundido con la rapidez de respuesta” [12].

El MTBF (Tiempo Medio Entre Fallas): Es un indicador clave del desempeño en la gestión del mantenimiento de los equipos, ya que refleja la calidad y

eficacia de las reparaciones realizadas. Para que el MTBF sea una herramienta efectiva en la administración de equipos, se debe asumir que la organización adopta una estrategia de mantenimiento preventivo, priorizando la reparación antes de la ocurrencia de fallas. Este enfoque es fundamental para maximizar el rendimiento de la flota y optimizar costos operativos. En términos generales, una falla no solo implica tiempos de inactividad prolongados, sino también un uso ineficiente de los recursos y un incremento en los costos de reparación. [12]

$$MTFB(hrs) = \frac{\text{Horas trabajadas}}{\text{numero de reparaciones}}$$

El MTTR (Tiempo Medio Para Reparar): Es un indicador de desempeño que mide el tiempo requerido para restaurar un equipo a su estado operativo tras una falla. Esta métrica refleja la rapidez o demora con la que se reanuda el servicio después de una interrupción, considerando tanto la mantenibilidad del sistema como la eficacia de la gestión del mantenimiento. Además, integra la capacidad de la organización para ejecutar acciones correctivas de manera eficiente y oportuna. [12]

$$MTTR = \frac{\text{tiempo total de mantenimiento}}{\text{numero de reparaciones}}$$

2.2.9 Prueba estadística

T de Student: La prueba t de Student es una prueba estadística utilizada para comparar las medias de dos muestras y determinar si existe una diferencia significativa entre ellas. Fue desarrollada por William Sealy Gosset en 1908 bajo el seudónimo de "Student" y es ampliamente empleada en estudios donde el tamaño muestral es pequeño y se desconoce la varianza poblacional, existen diferentes tipos de prueba t dependiendo de la naturaleza de los datos. [13]

- **Prueba t para muestras independientes:** Se usa cuando se comparan dos grupos diferentes y se desea evaluar si sus medias son significativamente distintas.
- **Prueba t para muestras relacionadas:** Se emplea cuando se comparan mediciones realizadas sobre el mismo grupo en dos condiciones diferentes.

- **Prueba t para una muestra:** Se utiliza para comparar la media de una sola muestra con un valor teórico o esperado.

La prueba se basa en la distribución t de Student, la cual es similar a la distribución normal, pero con colas más largas, lo que permite modelar mejor la incertidumbre cuando el tamaño de la muestra es pequeño. [13]

CAPITULO III: METODOLOGÍA

3.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación que se utilizará en el presente trabajo es la investigación tecnológica, también denominada de *Desarrollo*, tiene por finalidad la invención de artefactos o de procesos con el objeto de ofrecerlos al mercado y obtener un beneficio económico [13]. Según SINACYT [14], define el desarrollo tecnológico como la aplicación de los resultados de la investigación o de cualquier otro tipo de conocimiento científico, a un plan o diseño en particular, para la elaboración de materiales, productos, métodos, procesos o sistemas nuevos, o sustancialmente mejorados, antes del comienzo de su producción o utilización comercial.

Tipo de Investigación

- **Experimental – Analítico:** La investigación se basa en la manipulación planificada de las variables de estudio, lo que requiere realizar mediciones antes y después de la intervención. Debido a que se analizan dos variables de interés, el análisis estadístico es bivariado. Este tipo de estudio pone a prueba la hipótesis y establece la relación entre los factores.
- **Prospectivo:** Los datos necesarios para la investigación se recopilan específicamente con el propósito del estudio. El investigador es quien realiza las mediciones y, por lo tanto, tiene control sobre posibles sesgos en la medición.
- **Longitudinal:** La variable de estudio se mide en dos o más ocasiones. Al comparar estas mediciones, se tratan como muestras relacionadas, realizadas tanto antes como después de la intervención.

3.2 Método

Este método se emplea porque, al recopilar la información sobre las palas CAT 7495HR, se analizarán las relaciones cuantitativas entre diferentes propiedades basadas en los datos obtenidos, calculando la probabilidad de ocurrencia. Las técnicas utilizadas en esta investigación incluyen la prueba estadística t de student y el análisis de Pareto.

3.3 Diseño de la investigación

El diseño de investigación utilizada es de tipo no experimental, con un enfoque transeccional, ya que no se manipulan de forma directa las variables del estudio y la información se recopila en un momento específico. Este estudio tiene como objetivo analizar la viabilidad y el impacto de la implementación de un sistema de lubricación semiautomática en el sistema de levante de las palas CAT 7495 HR, enfocándose en el incremento del MTBF para prolongar la vida operativa útil del sistema.

Esta metodología está diseñada para abordar de manera sistemática el problema identificado, en primer lugar, se recopilarán registros detallados de operación y mantenimiento, que incluirán datos como tiempos de operación, fallas frecuentes y registro de intervenciones. A continuación, en la fase de concepción de la solución, se analizan los diferentes tipos de lubricación, que son fundamentales para mitigar los problemas identificados. El siguiente paso es la elaboración, donde se elabora un análisis más detallado mediante un diagrama de Pareto y además se realiza un análisis detallado de la situación actual, que incluye una evaluación comparativa de los costos asociados al sistema sin lubricación, lubricación manual y semiautomático, con el objetivo de priorizar las soluciones más efectivas.

Finalmente, se ejecuta la implementación, prueba y validación de la hipótesis (la implementación de un sistema de lubricación semiautomática en el sistema de levante de las palas CAT incrementa el MTBF), contribuyendo a una mayor vida útil del sistema. La comprobación de la misma requiere la utilización de la prueba estadística t de Student.

La gráfica 22 presentada muestra la secuencia metodológica utilizada en la investigación, estructurada en varios pasos clave

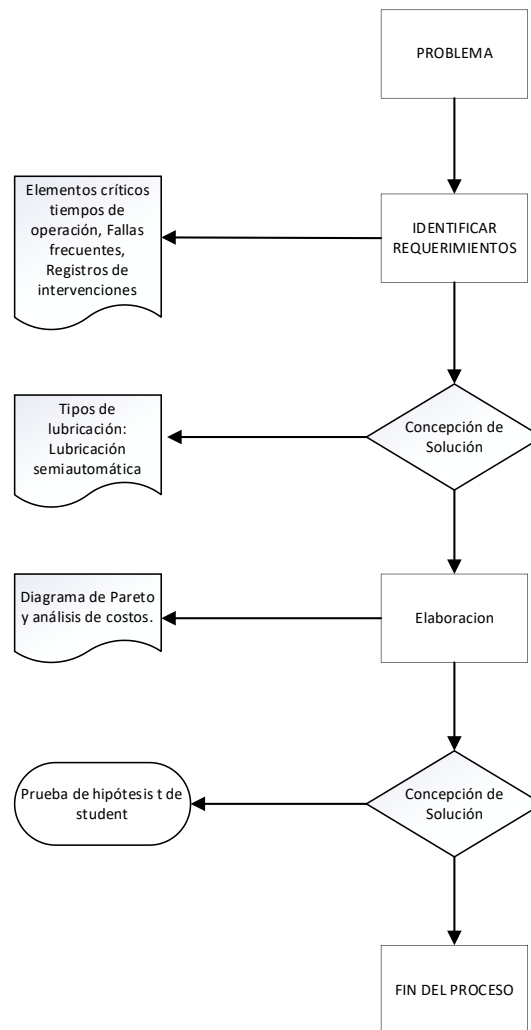


Figura 22.Secuencia metodológica.

Fuente: propia

3.4 Población y muestra

Población: La población se refiere al conjunto total de individuos, objetos, eventos o elementos que comparten una o más características comunes y que son objeto de estudio en una investigación. Es el universo completo al que se desea aplicar o generalizar los resultados obtenidos [13].

La tabla 3.1 detalla la población considerada para el siguiente estudio, compuesta por cuatro palas eléctricas modelo CAT 7495 HR, las cuales representan diferentes sistemas de lubricación

Tabla 3. 1 Palas CAT 7495 HR

<i>Pala</i>	<i>Tipo de lubricación</i>
Pala CAT 7495 HR-21-61	Sin lubricación
Pala CAT 7495 HR-21-62	Lubricación manual
Pala CAT 7495 HR-21-63	Lubricación semiautomática
Pala CAT 7495 HR-21-60	Lubricación semiautomática

Fuente: propia

Muestra: La muestra es un subconjunto representativo de la población, seleccionado para ser estudiado con el propósito de obtener información y generar conclusiones que puedan ser aplicadas al resto de la población. Una muestra debe ser seleccionada con métodos adecuados para asegurar que sea representativa y válida [13].

Para la muestra se consideran las(aumentar) palas CAT 7495 HR-21-62 y CAT 7495 HR-21-63, ambas equipadas con lubricación semiautomática, tal como se detalla en la tabla 3.1.

3.5 Técnica e instrumentos de recolección de datos

3.5.1 Identificación de requerimientos

Teniendo en cuenta que la Pala CAT 7495 HF es un equipo de gran minería, esta máquina tiene un sistema de levante, en el cual están involucrados componentes que realizan gran esfuerzo, como son los pines y bocinas de los Padlocks.

Dado que el sector minero utiliza maquinaria que está en constante remoción de tierras, requiere que estas cuenten con una disponibilidad mayor para que trabajen sin inconvenientes. Se ha identificado un problema en los pines y bocinas de los Padlocks del sistema de levante de la Pala CAT 7495 HR (Figura 18); un desgaste excesivo de los pines, que se cambian en corto plazo (Figura 19).



Figura 23 Bocina y pin son los componentes de una pala CAT 7495HR.

Fuente: propia



Figura 24 Desgaste de los pines de los Padlocks.

Fuente: propia

De esta manera, se ha identificado un problema muy grave y que afecta directamente en la producción.

Lo mencionado anteriormente se corrobora con los informes y datos proporcionados por el área de mantenimiento, como se aprecia en la Tabla 3.2. En esta, se observan

las fallas registradas en las PALAS CAT 7495 HR, esta información se clasifico por tipo de falla, número de ocurrencias y horas de parada asociadas.[2]

Tabla 3. 2 Lista de fallas por pala.

DENOMINACION	PALA CAT 7495 HR 21-60		PALA CAT 7495 HR21-61		PALA CAT 7495 HR 21-62		PALA CAT 7495 HR 21-63		TOTAL GENERAL
	N° FALLAS	HORAS/FALLAS	N° FALLAS	HORAS FALLAS	N° FALLAS	HORAS FALLAS	N° FALLAS	HORAS FALLAS	
Cambio de Pines y Bocinas de Padlocks	15	180	16	192	14	168	12	144	684
Rotura de Cable de Izar	2	36	1	18	1	18	1	18	90
Lubricacion	36	72	12	24	15	30	10	20	146
Cambio cable Auxiliar	8	24	7	21	10	30	9	27	102
Reposicion de Puntas	3	6	2	4	1	2	1	2	14
caida de seguro de frenos de cucharon	4	8	1	2	1	2	2	4	16
Rptura de seguro de dipper handle	1	1			1	1			2
Cambio de barreton y espada	10	30	8	24	8	24	9	27	105
Cambio de Balde	1	18	1	18	1	18	1	18	72
Fisura en brazo de freno balde	2	6	1	3	1	3	2	6	18
Corte de cable de alimentacion	1	1	1	1	1	1	1	1	4
Cambio de adaptadores de Gets	2	8	1	4			2	4	16
Rotura de seguro Dipper Trip	1	3	1	3	2	6	1	3	15
Bajo nivel de aceite Hydrocrown	1	1	2	2	2	2	1	1	6
Fuga de aceite de cilindro Hydrocrown	1	1	1	1	1	1	1	1	4
Desgaste de Disco de freno de sistema de levante	3	12	2	8	2	8	3	12	40
Josting de Sistema de levante no funciona	1	2			1	2			4
Roptura de parabrisa frontal de cabina	1	10					1	10	20
Falla sistema de comunicaci3n	2	6	4	12	3	9	2	6	33
Fuga de aire sistema neumatico	16	16	12	24	10	30	15	30	100
Se apaga motor del sistema de hoist	2	6	1	3			2	6	15
Sonido en caja de giro RH	1	1					1	1	2
Pin de zapata Rota	6	24	3	12	2	8	2	8	52
TOTAL	120	472	77	376	77	363	79	349	1560

Fuente: propia

Para identificar el 20% de las causas que generan el 80% de las fallas en las PALAS CAT 7495 HR, se elabor3 un diagrama de Pareto, como se muestra en la figura 20. Este diagrama clasifica las fallas en funci3n de su impacto en las horas de inactividad, permitiendo identificar las fallas m3s cr3ticas. Los resultados indican que el "Cambio de Pines y Bocinas de Padlocks" es la causa m3s significativa, representando el 48.3% del total de horas de inactividad, seguido por problemas de "Lubricaci3n" con un 14.6% y el "Cambio de barreton y espada" con un 10.5%. Estas tres categor3as concentran la mayor parte de las fallas. .[3]

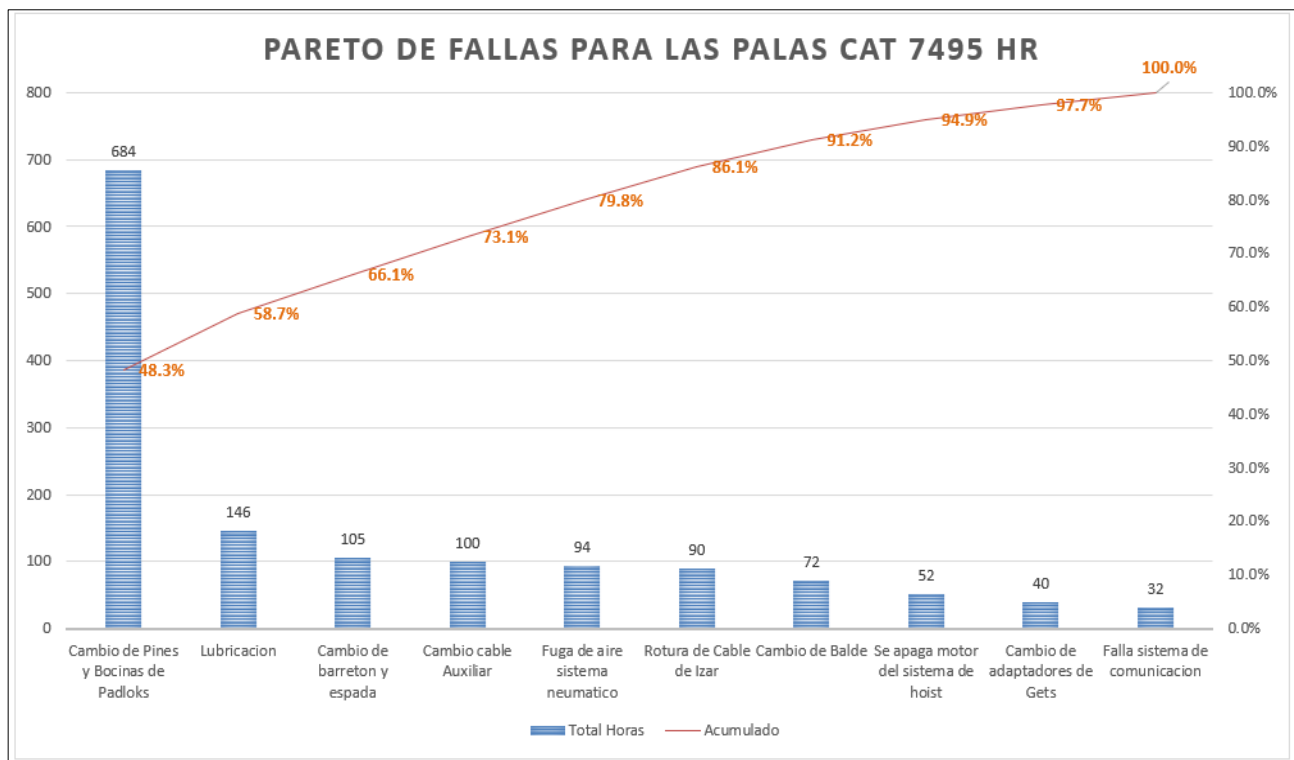


Figura 25 Pareto de fallas para las palas CAT 7495 HR.

Fuente propia

La Tabla 3.3 muestra el 20% de las causas que provocan el 80% de las fallas críticas que afectan a las PALAS CAT 7495 HR, clasificadas por el número de horas de inactividad que provocan.

Tabla 3. 3 Top ten de fallas Pareto

Descripción de la Falla (Top Ten)	Horas	Porcentaje	Acumulado
Cambio de Pines y Bocinas de Padlocks	684	48.3%	48.3%
Lubricacion	146	10.3%	58.7%
Cambio de barretón y espada	105	7.4%	66.1%
Cambio cable Auxiliar	100	7.1%	73.1%
Fuga de aire sistema neumatico	94	6.6%	79.8%
Rotura de Cable de Izar	90	6.4%	86.1%
Cambio de Balde	72	5.1%	91.2%
Se apaga motor del sistema de hoist	52	3.7%	94.9%
Cambio de adaptadores de Gets	40	2.8%	97.7%
Falla sistema de comunicacion	32	2.3%	100.0%

Fuente: propia

El análisis de Pareto es una herramienta eficaz para visualizar y priorizar las fallas más críticas en las palas eléctricas CAT 7495 HR. Este diagrama de barras,

organizado de mayor a menor según la magnitud del impacto, permite identificar rápidamente las fallas que ocurren con mayor frecuencia o que generan mayores tiempos de inactividad, facilitando así la toma de decisiones en cuanto a estrategias de mantenimiento y la asignación eficiente de recursos.

En el eje X del gráfico se representan las diferentes fallas identificadas, mientras que el eje Y muestra el total de horas acumuladas antes de que cada componente requiera un mantenimiento correctivo. De esta forma, es posible observar claramente cuáles de estas fallas contribuyen de manera significativa al tiempo de inactividad de los equipos.

El propósito principal de este análisis es identificar las fallas críticas que, en conjunto, representan aproximadamente el 80% del tiempo total de inactividad, diferenciándolas de las fallas de menor impacto, las cuales pueden ser más fáciles de gestionar o tener menor prioridad de intervención. Al enfocarse en las fallas principales, se pueden desarrollar planes de mantenimiento preventivo más efectivos, orientados a prolongar la vida útil de los componentes, optimizar la disponibilidad de los equipos y reducir los costos operativos a largo plazo.

Los resultados del análisis muestran que las fallas principales representan una parte considerable del tiempo total de inactividad. Dichas fallas son:

- a) Cambio de Pines y Bocinas de Padlocks (684 horas, 48.3%)
- b) Lubricación (146 horas, 10.3%)
- c) Cambio de barreton y espada (105 horas, 7.4%)
- d) Cambio cable Auxiliar (100 horas, 7.1%)

Dentro de las fallas más críticas identificadas, destaca de manera significativa el cambio de pines y bocinas de padlocks, el cual representa un total de 684 horas de inactividad, lo que equivale al 48.3% del tiempo total de inactividad registrado en las operaciones de las PALAS CAT 7495 HR. Este porcentaje refleja que casi la mitad del tiempo perdido en estas máquinas se debe exclusivamente a dicha falla, lo que evidencia su impacto directo en la productividad de los equipos [3].

En respaldo a lo mencionado, la Tabla 3.4 presenta información detallada sobre la frecuencia y distribución de los mantenimientos correctivos y programados realizados en el sistema de levante de la pala CAT 7495 HR, equipo que actualmente no cuenta con un sistema de lubricación automatizado. Los registros muestran que la pala ha requerido un total de 2 mantenimientos correctivos y 8 mantenimientos programados, acumulando 120 horas-hombre (HH).

La ausencia de un sistema de lubricación eficiente ha generado un costo total de \$739,284.80, lo que subraya la necesidad de implementar un sistema de lubricación automatizado que permita optimizar la vida útil de los componentes, reducir la frecuencia de mantenimientos correctivos y, en consecuencia, disminuir los costos operativos asociados al sistema de levante de las palas CAT 7495 HR.

Tabla 3. 4 Frecuencia y costos de mantenimiento.

Equipo	Pala CAT 7495 HR 21-61
Sistema de lubricacion	Sin lubricacion
Mantenimientos Correctivos	2
Mantenimientos Programados	8
Total, Horas hombre	120
COSTO TOTAL, \$	739284.8

Fuente: propia

Ante este problema, se plantea la implementación de un plan de mantenimiento para incrementar la vida útil del sistema de levante de la Pala CAT 7495 HR mediante la introducción de un sistema de lubricación semiautomática que minimice el desgaste, aumentando la duración de las bocinas y pines de los Padlocks de la máquina.

3.5.2 Sistema de lubricación externa

En la actualidad, el fabricante Caterpillar no incorpora un sistema de lubricación en los componentes críticos, como las bocinas y pines de los padlocks, en los equipos Pala CAT 7495 HR, a pesar de que estas piezas están sometidas a elevadas cargas de trabajo y desempeñan un esfuerzo considerable. Durante los ciclos de operación, en las zonas de contacto se produce una fricción constante que genera un desgaste excesivo en dichos componentes.

El cucharón de la pala, junto con todos sus accesorios, tiene un peso aproximado de 80 toneladas, al cual se suma el peso de la carga de material, que asciende a 97.5 toneladas. Para completar la carga útil de un camión CAT 794 o un Komatsu 980, se requieren cuatro ciclos de carguío, logrando un total de 390 toneladas por ciclo completo.

En este contexto, el pin, como parte integral del padlock, funciona como un eje pivote, mientras que las bocinas actúan como cojinetes de fricción, soportando cargas extremas, especialmente en la zona de contacto superior, donde se concentra la mayor fuerza durante la operación.

Actualmente, la pala opera en turnos de trabajo efectivo de 22 horas diarias, sin considerar las paradas programadas de corta duración para mantenimientos preventivos. El desgaste excesivo que se genera entre las bocinas y los pines, producto de la fricción continua y la ausencia de lubricación adecuada, compromete significativamente la vida útil de estos componentes.

La implementación de un sistema de lubricación, específicamente diseñado para las bocinas y pines de los padlocks, permitiría reducir de manera significativa el desgaste, optimizando así el rendimiento de los componentes y mejorando la eficiencia operativa del equipo [11].



Figura 26.Cucharon CAT 7495 HR.

Fuente propia

En el sistema de lubricación semiautomática propuesto se utiliza un nuevo sistema de lubricación, una bomba eléctrica accionada con un motor de un pistón y por medio de una línea de lubricación llegara a la bocinas y pines de Padlocks los cuales son sometidos a cargas extremas. En la actualidad, dichos componentes sin lubricación se cambian aproximadamente al mes de trabajos reales de operación, tomando en cuenta que el costo total por cada cambio es de aproximadamente de \$60 000 dólares. En este sentido, la aplicación del sistema de lubricación semiautomática debe mostrar resultados de ahorro e incremento de la vida útil de los componentes.

A ello, es necesario, sumar la demora por cada cambio, que correspondería a 10 HH y que se consideran como trabajos correctivos no programados, los cuales afectan la disponibilidad y confiabilidad por cada equipo con características de una pala 7495 HR; con el sistema propuesto de lubricación, se plantea no afectar los indicadores mencionados.

CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 Tratamiento de la información y análisis de costos de mantenimiento

El presente capítulo tiene como objetivo analizar el impacto de diferentes sistemas de lubricación en los costos de mantenimiento de las cuatro palas industriales. Se evaluarán tres tipos de casos:

- Sin lubricación - Pala CAT 7495 HR 21-61
- Lubricación manual - Pala CAT 7495 HR 21-62
- Lubricación semiautomática Pala CAT 7495 HR 21-63 y 21-60.

Este estudio busca identificar las relaciones entre el tipo de lubricación utilizado y las variables clave de mantenimiento y costos, con el fin de optimizar la gestión de recursos y mejorar la eficiencia operativa.

Se llevará a cabo un análisis exhaustivo de los costos asociados al mantenimiento y operación de palas industriales que están equipadas con distintos sistemas de lubricación. Mediante un estudio detallado de las variaciones en costos de los equipos

bajo diferentes regímenes de lubricación, se pretende desarrollar estrategias de mantenimiento optimizadas. Estas estrategias no solo buscarán la reducción efectiva de los costos, sino que también estarán orientadas a mejorar la eficiencia operativa general de las palas, contribuyendo así a una gestión más sostenible y rentable de los recursos industriales. Además, este estudio pretende proporcionar un marco de referencia que pueda ser aplicado en otros contextos industriales para maximizar la productividad y minimizar las interrupciones operativas.

a) Pala CAT 7495 HR 21-61

La tabla 4.1 detalla los registros de mantenimiento y fechas de cambio realizados en la PALA CAT 7495 HR 21-61. Se puede observar que en la tabla 4.1 el registro de los mantenimientos realizados a la Pala 21-61 que se llevaron a cabo durante los años 2022 y 2023 con un total de diez mantenimientos realizados al año, se debe de tener en cuenta que para este equipo no se realizó la lubricación de sus componentes. En 2022, se realizaron dos mantenimientos correctivos y tres programados, con un total 60 horas hombre. En 2023, hasta mayo, se realizaron cinco mantenimientos programados, también sumando 60 horas hombre. El horómetro en 2022 inició en 54015 y terminó en 56602, incrementando 2587 horas. En 2023, comenzó en 57068 y alcanzó 59378, mostrando un aumento de 2310 horas hasta mayo. La variación en función a los años muestra que en 2022 se realizaron cinco mantenimientos con un total de 60 horas hombre, mientras que en 2023 se han realizado cinco mantenimientos con las mismas horas hombre, pero el incremento en el horómetro refleja un uso más constante y ligeramente mayor del equipo en 2023. [2]

Tabla 4. 1.Registro de actividades de mantenimientos (pala CAT 7495 HR 21-61)

Fecha de Cambio	EQUIPO	Año	Mantenimiento	Marca	Horas Hombre, H	Orden Trabajo	HOROMETRO, H
17/08/2022	PALA CAT 7495 HR 21-61	2023	Correctivo	CAT	12	10118818	54015
18/09/2022	PALA CAT 7495 HR 21-61	2023	PROGRAMADO	CAT	12	20152938	54687
26/10/2022	PALA CAT 7495 HR 21-61	2023	Correctivo	CAT	12	10169821	55420
29/11/2022	PALA CAT 7495 HR 21-61	2023	PRORAMADO	CAT	12	20174107	56113
25/12/2022	PALA CAT 7495 HR 21-61	2023	PRORAMADO	CAT	12	20267561	56602
22/01/2023	PALA CAT 7495 HR 21-61	2023	PRORAMADO	CAT	12	20184068	57068
20/02/2023	PALA CAT 7495 HR 21-61	2023	PRORAMADO	CAT	12	20184067	57572
23/03/2023	PALA CAT 7495 HR 21-61	2023	PRORAMADO	CAT	12	20169070	58194
27/04/2023	PALA CAT 7495 HR 21-61	2023	PRORAMADO	CAT	12	20169080	58895
25/05/2023	PALA CAT 7495 HR 21-61	2023	PRORAMADO	CAT	12	20169099	59378

Fuente: propia

La tabla 4.2 está relacionada con el costo de componentes, materiales y equipos auxiliares utilizados en los mantenimientos de la PALA CAT 7495 HR 21-61. En la tabla 4.2. se detallan los costos asociados a varios elementos utilizados en el mantenimiento de la PALA CAT 7495 HR 21-61, por un lado, se detallan los componentes de cambio, específicamente bocinas y pines de la marca CAT, con un costo unitario de \$6000 y \$25000 respectivamente. Por otro lado, se incluye el nitrógeno utilizado como material, con un costo de \$80 por kilogramo y una cantidad de 120 kilogramos, Además, se consideran los equipos auxiliares, como el camión grúa de la marca VOLVO con un costo de \$30 por hora y la grúa de 70 toneladas de la marca TEREX con un costo de \$100 por hora, ambos utilizados durante 12 horas. El costo total asciende a \$73160 por cada mantenimiento.

Tabla 4. 2.Costo de componentes (bocinas y pines), materiales y equipos auxiliares (pala CAT 7495 HR 21-61)

Marca	Tipo	Costo, \$	Cantidad	Costo parcial, \$
CAT	BOCINA	6000.00	2 UND	12000.00
CAT	PINES	25000.00	2 UND	50000.00
NITROGENO	NITROGENO	80.00	120 KG	9600.00
VOLVO	CAMION GRUA	30	12 H/M	360.00
TEREX	GRUA 70TN	100	12 H/M	1200.00
				73160.00

Fuente: propia

La tabla 4.3 detalla el costo de mano de obra por cambio de componentes (bocinas y pines) para la PALA CAT 7495 HR 21-61. Se puede observar lo siguiente, para cada cambio durante un año, se emplea mecánicos, con un costo de \$5.00 por hora, soldadores, con un costo de \$3.50 por hora, Riggers, con un costo de \$3.00 por hora, fueron dos, con un costo personal de \$36.00 y un costo parcial de \$72.00, el supervisor con un costo de \$8.00 por hora, el supervisor de seguridad, con un costo de \$5.84 por hora, trabajó 12 horas, totalizando \$70.00. Finalmente, los operadores de grúa, con un costo de \$3.60 por hora. Se estima el costo total de mano de obra es de \$1129.70.

Tabla 4. 3.Costo de mano de obra (pala CAT 7495 HR 21-61)

ESPECIALIDAD	Costo, \$/H	Cantidad de personal, und	Duracion, h	Costo Parcial, \$
MECANICO	5.00	6	12	360.00
SOLDADOR	3.50	2	12	84.00
RIGER	3.00	2	12	72.00
SUPERVISOR	8.00	1	12	96.00
SUP. SEGURIDAD	5.84	1	12	70.08
OP. GRUA	3.60	2	12	86.40
				768.48

Fuente: propia

La tabla 4.4 está relacionada a los costos de componentes, materiales, equipos auxiliares y mano de obra, el costo total es de 739284.80 dólares para la PALA 21-61.

Tabla 4. 4. Costos totales (pala CAT 7495 HR 21-61)

DESCRIPCION	PRECIO, \$
COSTO DE COMPONENTES, MATERIALES Y EQUIPOS AUXILIARES.	731600.00
COSTO DE MANO DE OBRA	7684.80
TOTAL	739284.80

Fuente: propia

b) Pala CAT 7495 HR 21-62

La tabla 4.5 está relacionada con el registro de mantenimientos y fechas de cambio para la Pala CAT 7495 HR 21-62 considerando lubricación manual. En esta tabla se detallan las actividades realizadas durante el año 2023 y 2024. En 2023, se llevaron a cabo cuatro mantenimientos: uno correctivo y tres programados. Cada mantenimiento involucró 12 horas de trabajo. El horómetro inicial en enero de 2023 era de 53155 horas aumentando a 55584 horas en mayo, a 57678 horas en setiembre y alcanzando un valor atípico de 30344 horas en enero de 2024, Comparando el horómetro entre los mantenimientos de enero y mayo de 2023, hay un incremento de 2429 horas, reflejando un uso constante del equipo. De mayo a setiembre de 2023, el incremento es de 2094 horas.

Tabla 4. 5.Registro de actividades de mantenimientos (pala CAT 7495 HR 21-62)

Fecha de Cambio	EQUIPO	Año	Mantenimiento	Marca	Horas Trabajadas, H	Orden Trabajo	HOROMETRO, H
22/01/2023	Pala CAT 7495 HR 21-62	2023	Correctivo	CAT	12	10169823	53155
27/05/2023	Pala CAT 7495 HR 21-62	2023	PROGRAMADO	CAT	12	20239233	55584
14/09/2023	Pala CAT 7495 HR 21-62	2023	PROGRAMADO	CAT	12	20243092	57678
10/01/2024	Pala CAT 7495 HR 21-62	2023	PROGRAMADO	CAT	12	20243093	30344

Fuente: propia

La tabla 4.6 relaciona los registros y fechas de lubricación manual para la PALA 21-62. En esta tabla se detalla el registro de las fechas de lubricación para la PALA 21-62 durante el año 2023. La lubricación se realizó de en intervalos regulares, aproximadamente cada 10 días, lo que implica una frecuencia mensual de tres veces. Cada intervención de lubricación involucró 1 hora hombre. En total, se realizaron 15 lubricaciones a lo largo del año, acumulando 15 horas hombres adicionales.

Tabla 4. 6.Registro de *actividades* de lubricación (pala CAT 7495 HR 21-62)

Fecha de lubricacion	Año	EQUIPO	Mantenimiento	Marca	Horas Hombre, H
3/01/2023	2013	Pala CAT 7495 HR 21-62	Correctivo	CAT	1
13/01/2023	2013	Pala CAT 7495 HR 21-62	Correctivo	CAT	1
23/01/2023	2013	Pala CAT 7495 HR 21-62	Correctivo	CAT	1
2/02/2023	2013	Pala CAT 7495 HR 21-62	Correctivo	CAT	1
12/02/2023	2013	Pala CAT 7495 HR 21-62	Correctivo	CAT	1
22/02/2023	2013	Pala CAT 7495 HR 21-62	Correctivo	CAT	1
2/03/2023	2013	Pala CAT 7495 HR 21-62	Correctivo	CAT	1
12/03/2023	2013	Pala CAT 7495 HR 21-62	Correctivo	CAT	1
22/02/2023	2013	Pala CAT 7495 HR 21-62	Correctivo	CAT	1
2/04/2023	2013	Pala CAT 7495 HR 21-62	Correctivo	CAT	1
12/04/2023	2013	Pala CAT 7495 HR 21-62	Correctivo	CAT	1
22/04/2023	2013	Pala CAT 7495 HR 21-62	Correctivo	CAT	1
2/05/2023	2013	Pala CAT 7495 HR 21-62	Correctivo	CAT	1
12/05/2023	2013	Pala CAT 7495 HR 21-62	Correctivo	CAT	1
22/05/2023	2013	Pala CAT 7495 HR 21-62	Correctivo	CAT	1

Fuente: propia

La tabla 4.7 detalla los costos de materiales y equipos asociados a la lubricación manual de la PALA CAT 7495 HR 21-62. Esta tabla proporciona detalles sobre los costos asociados con el uso de un camión lubricador y el tipo de lubricante utilizado. El camión lubricador de la marca Volvo tiene un costo de \$22.00 por hora, además, se utiliza lubricante Mobilgrease XHP 222 de la marca Mobil, con un costo de \$13.00 por kilogramo. El costo total por el uso del camión lubricador y el lubricante es de \$48.00.

Tabla 4. 7.Costos de materiales y equipos (pala CAT 7495 HR 21-62)

Marca	Tipo	Costo, \$	Cantidad	Costo parcial, \$
VOLVO	Camion Lubricador	22.00	1 H/M	22.00
Mobil	Mobilgrease XHP 222	13.00	2 KG	26.00
			TOTAL	48.00

Fuente: propia

La tabla 4.8 se relaciona con el costo de compontes (bocinas y pines) y equipos auxiliares utilizados para la PALA CAT 7495 HR 21-62 empleando lubricación manual. En cuanto a los componentes de cambio, se detallan bocinas y pines de la marca CAT, con un costo unitario de \$6000 y \$25000. Para los materiales, se utilizó nitrógeno a un costo de \$80 por kilogramo. Los equipos auxiliares incluyen un camión grúa de la marca VOLVO, con un costo de \$30 por hora y una grúa de 70 toneladas de la marca TEREX con un costo de \$100 por hora, El costo total de todos estos elementos asciende a \$73160.

Tabla 4. 8.Costo de compontes (bocinas y pines) y equipos auxiliares utilizados (pala CAT 7495 HR 21-62)

Marca	Tipo	Costo, \$	Cantidad	Costo parcial, \$
CAT	BOCINA	6000.00	2 UND	12000.00
CAT	PINES	25000.00	2 UND	50000.00
NITROGENO	NITROGENO	80.00	120 KG	9600.00
VOLVO	CAMION GRUA	30	12 H/M	360.00
TEREX	GRUA 70TN	100	12 H/M	1200.00
				73160.00

Fuente: propia

La tabla 4.9 detalla el costo de mano de obra para lubricación manual de la PALA CAT 7495 HR 21-62. La tabla 4.8 señala lo siguiente para cada sesión de lubricación, que se realizó con una frecuencia aproximadamente cada 10 días, se empleó a dos mecánicos con un costo por hora de \$5.00 cada uno, y cada sesión duró 1 hora. Esto resulta en un costo personal de \$10.00 por mecánico, sumando un costo total de \$20.00 por sesión de lubricación manual.

Tabla 4. 9.Costo de mano de obra adicional (pala CAT 7495 HR 21-62)

ESPECIALIDAD	Costo/hora, \$	CANT DE PERSONAL	Duracion, h	Costo Personal, \$
MECANICO	5	2	1	10.00

Fuente: propia

La tabla 4.10 se relaciona con el costo de mano de obra para cambio de pines y bocinas para la PALA CAT 7495 HR 21-62 con Lubricación Manual. En la tabla 4.9 se describe el costo por hora del personal involucrado en los cambios de pines y bocinas los cuales se detallan a continuación, los soldadores tienen un costo de \$5.00 por hora, los riggers de \$3.00 por hora, y los operadores de grúa de \$3.60 por hora. El supervisor tiene un costo de \$8.00 por hora y el supervisor de seguridad de \$5.84 por hora. El costo total de la mano de obra para este mantenimiento asciende a \$1129.70.

Tabla 4. 10.Costo de mano de obra en actividades de mantenimiento -cambio de pines y bocinas (pala CAT 7495 HR 21-62)

ESPECIALIDAD	Costo, \$/H	Cantidad de personal, und	Duracion, h	Costo Parcial, \$
MECANICO	5.00	6	12	360.00
SOLDADOR	3.50	2	12	84.00
RIGER	3.00	2	12	72.00
SUPERVISOR	8.00	1	12	96.00
SUP. SEGURIDAD	5.84	1	12	70.08
OP. GRUA	3.60	2	12	86.40
				768.48

Fuente: propia

La tabla 4.11 está relacionada a los costos totales para la PALA 21-61 con lubricación manual.

Tabla 4. 11.Costos totales (pala CAT 7495 HR 21-62)

DESCRIPCION	PRECIO, \$
COSTO DE COMPONTES (BOCINAS Y PINES) Y EQUIPOS AUXILIARES UTILIZADOS.	292640.00
COSTOS DE MATERIALES Y EQUIPOS ASOCIADOS	480.00
COSTO DE MANO DE OBRA ADICIONAL.	100.00
COSTO DE MANO DE OBRA	3073.92
TOTAL	296293.92

Fuente: propia

c) PALA CAT 7495 HR 21-63

La tabla 4.12 da a conocer los registros de mantenimientos y las fechas de cambio para la PALA CAT 7495 HR 21-63 con lubricación semiautomática. En la tabla se muestra el registro de mantenimientos y cambios realizados en la Pala 21-60, equipada con un sistema de lubricación automática. Los mantenimientos programados se realizaron en los años 2023 y 2024. Ambos mantenimientos fueron ejecutados en un periodo de un año, con un total de 12 horas hombre. El horómetro, que mide las horas de uso del equipo, registró 73472 horas en la primera intervención y 78947 horas en la segunda.

Tabla 4. 12.Registro de actividades de mantenimiento (pala CAT 7495 HR 21-63)

Fecha de Cambio	EQUIPO	Año	Mantenimiento	Marca	Horas Trabajadas, H	Orden Trabajo	HOROMETRO, H
13/01/2023	PALA CAT 7495 HR 21-63	2023	Correctivo	CAT	12	10109888	23483
17/11/2023	Pala CAT 7495 HR 21-63	2023	PROGRAMADO	CAT	12	20317213	29308

Fuente: propia

La tabla 4.13 está relacionada con los costos de componentes bocinas y pines y con los equipos auxiliares que se emplearon en los cambios para la PALA CAT 7495 HR 21-63 con lubricación semiautomática. En la tabla se incluyen costos de bocinas y pines de la marca CAT, con precios de \$6000.00 y \$25000.00 por unidad respectivamente. Además, se considera el costo del nitrógeno, con un precio de \$80.00 por kilogramo, también se especifican los costos por hora de equipos auxiliares como el camión grúa de la marca Volvo, con un costo de \$30 por hora y la grúa de 70 toneladas de la marca Terex, con un costo de \$100 por hora. El costo total para estos componentes y equipos auxiliares es de \$73160.00.

Tabla 4. 13.Costo de componente (bocinas y pines) y equipos auxiliares.
(pala CAT 7495 HR 21-63)

Marca	Tipo	Costo, \$	Cantidad	Costo parcial, \$
CAT	BOCINA	6000.00	2 UND	12000.00
CAT	PINES	25000.00	2 UND	50000.00
NITROGENO	NITROGENO	80.00	120 KG	9600.00
VOLVO	CAMION GRUA	30	12 H/M	360.00
TEREX	GRUA 70TN	100	12 H/M	1200.00
				73160.00

Fuente:

propia

La tabla 4.14 En la tabla se detallan los costos asociados al kit de bomba de lubricación semiautomática utilizado en la PALA CAT 7495 HR 21-63. Este kit incluye componentes esenciales como la bomba, mangueras, protectores y motor DC de baterías, todos de la marca Electro Luber. El costo unitario del kit es de \$12200.00.

Tabla 4. 14. Costo kit bomba lubricación (pala CAT 7495 HR 21-63)

Marca	Tipo	Costo \$	Cantidad, UND	Costo \$
ELECTRO LUBER	KIT BOMBA LUBRICACION (BOMBA, MANGUERAS, PROTECTORES, MOTOR DC BATERIAS)	12200.00	1	12200.00

Fuente: propia

La tabla 4.15 se relaciona con los costos de mano de obra para el cambio de bocinas y pines de la Pala 21-60, que cuenta con un sistema de lubricación semiautomática. Las especialidades involucradas incluyen mecánicos, soldadores, riggers, supervisores, supervisores de seguridad y operadores de grúa. Los mecánicos, con un costo de \$5.00 por hora, trabajan en grupos de 6 durante 12 horas, resultando en un costo personal de \$60.00 y un costo parcial de \$720.00. Los soldadores, con un costo de \$3.50 por hora y una cantidad de 2, también trabajan 12 horas, generando un costo personal de \$42.00 y un costo parcial de \$84.00. Los riggers, a \$3.00 por hora y 2 trabajadores, tienen un costo personal de \$36.00 y un costo parcial de \$72.00. Los supervisores, a \$8.00 por hora, y los supervisores de seguridad, a \$5.84 por hora, ambos trabajando 12 horas, presentan costos parciales de \$96.00 y \$70.00 respectivamente. Finalmente, los operadores de grúa, a \$3.60 por hora y con 2 trabajadores, tienen un costo personal de \$43.00 y un costo parcial de \$87.70. El costo total de mano de obra asciende a \$1129.70.

Tabla 4. 15.Costo de Mano de Obra (pala CAT 7495 HR 21-63)

ESPECIALIDAD	Costo, \$/H	Cantidad de personal, und	Duracion, h	Costo Parcial, \$
MECANICO	5.00	6	12	360.00
SOLDADOR	3.50	2	12	84.00
RIGER	3.00	2	12	72.00
SUPERVISOR	8.00	1	12	96.00
SUP. SEGURIDAD	5.84	1	12	70.08
OP. GRUA	3.60	2	12	86.40
				768.48

Fuente: propia

La tabla 4.16 está relacionada a los costos totales para la PALA CAT 7495 HR 21-63.

Tabla 4. 16.Costos totales (pala CAT 7495 HR 21-63)

DESCRIPCION	PRECIO, \$
COSTO DE COMPONTES (BOCINAS Y PINES) Y EQUIPOS AUXILIARES UTILIZADOS.	146320.00
KIT BOMBA LUBRICACION	12200.00
COSTO DE MANO DE OBRA	1536.96
TOTAL	160056.96

Fuente: propia

d) PALA CAT 7495 HR 21-60

La tabla 4.17 muestra el registro de dos eventos de mantenimiento programado para el equipo PALA CAT 7495 HR 21-60, realizados en el año 2023. El primer mantenimiento se realizó el 10 de junio de 2023 y el segundo el 8 de abril de 2024. Ambos mantenimientos corresponden a un equipo del año 2023. El tipo de mantenimiento realizado fue programado, y en ambos casos, el equipo había trabajado 12 horas. La orden de trabajo fue la misma para ambos eventos (20274972). La lectura del horómetro varió de 73472 en el primer mantenimiento a 78947 en el segundo mantenimiento, mostrando una diferencia de 5475 horas trabajadas entre los dos eventos.

Tabla 4. 17.Registro de actividades de mantenimiento (pala CAT 7495 HR 21-60)

Fecha de Cambio	EQUIPO	Año	Mantenimiento	Marca	Horas Trabajadas, H	Orden Trabajo	HOROMETRO, H
10/06/2023	PALA CAT 7495 HR 21-60	2023	PROGRAMADO	CAT	12 hrs	20274972	73472
8/04/2024	PALA CAT 7495 HR 21-60	2023	PROGRAMADO	CAT	12 hrs	20274972	78947

Fuente: propia

Esta tabla 4.18 se detalla los costos de componentes y equipos auxiliares necesarios para el mantenimiento de la PALA CAT 7495 HR 21-60 con lubricación semiautomática. Se incluyen componentes de la marca CAT, específicamente bocinas y pines, con costos unitarios de \$6000.00 y \$25000.00 respectivamente, y una cantidad de 2 unidades para cada componente, resultando en costos totales de \$12000.00 y \$50000.00. También se detalla el costo del nitrógeno utilizado, con un costo de \$80.00 por kilogramo y una cantidad de 120 kilogramos, sumando \$9600.00. Adicionalmente, se incluyen los costos de equipos auxiliares: un camión grúa de la marca Volvo con un costo de \$30 por hora y una cantidad de 12 horas, totalizando \$360.00, y una grúa de 70 toneladas de la marca Terex con un costo de \$100 por hora y una cantidad de 12 horas, sumando \$1200.00. El costo total de todos estos componentes y equipos auxiliares asciende a \$73160.00.

Tabla 4. 18.Costo de componentes (bocinas y pines) y equipos auxiliares.
(pala CAT 7495 HR 21-60)

Marca	Tipo	Costo, \$	Cantidad	Costo, \$
CAT	BOCINA	6000.00	2 UND	12000.00
CAT	PINES	25000.00	2 UND	50000.00
NITROGENO	NITROGENO	80.00	120 KG	9600.00
VOLVO	CAMION GRUA	30	12 H	360.00
TEREX	GRUA 70TN	100	12 H	1200.00
				73160.00

Fuente:

propia

Esta tabla 4.19 nos da a conocer el costo del kit de bomba de lubricación utilizado para la PALA CAT 7495 HR 21-60, marca Electro Luber. El kit incluye la bomba, mangueras, protectores y motor DC de baterías. El costo unitario de este kit es de \$12200.00.

Tabla 4. 19.Costo kit bomba lubricación (pala CAT 7495 HR 21-60)

Marca	Tipo	Costo \$	Cantidad, UND	Costo \$
ELECTRO LUBER	KIT BOMBA LUBRICACION (BOMBA, MANGUERAS, PROTECTORES, MOTOR DC BATERIAS)	12200.00	1	12200.00

Fuente: propia

La tabla 4.20 detalla los costos de mano de obra asociados con el cambio de bocinas y pines para la PALA CAT 7495 HR 21-60 con lubricación semiautomática. Las especialidades involucradas son mecánicos, soldadores, riggers, supervisores y operador de grúa. Los costos por hora varían entre \$3.00 y \$8.00, con duraciones de 12 horas para cada especialidad. La cantidad de personal requerido por especialidad es de 6 mecánicos, 2 soldadores, 2 riggers, 1 supervisor, 1 supervisor de seguridad y 2 operadores de grúa. El costo total de mano de obra es de \$1129.70, desglosado en costos parciales de \$720.00 para mecánicos, \$84.00 para soldadores, \$72.00 para riggers, \$96.00 para el supervisor, \$70.00 para el supervisor de seguridad y \$87.70 para los operadores de grúa.

Tabla 4. 20.Costo mano de obra (pala CAT 7495 HR 21-60)

ESPECIALIDAD	Costo, \$/H	Cantidad de personal, und	Duracion, h	Costo Parcial, \$
MECANICO	5.00	6	12	360.00
SOLDADOR	3.50	2	12	84.00
RIGER	3.00	2	12	72.00
SUPERVISOR	8.00	1	12	96.00
SUP. SEGURIDAD	5.84	1	12	70.08
OP. GRUA	3.60	2	12	86.40
				768.48

Fuente: propia

La tabla 4.21 está relacionada a los costos totales para la PALA CAT 7495 HR 21-60 con lubricación semiautomática.

Tabla 4. 21.Costos totales

DESCRIPCION	PRECIO, \$
COSTO DE COMPONTES (BOCINAS Y PINES) Y EQUIPOS	146320.00
KIT BOMBA LUBRICACION	12200.00
COSTO DE MANO DE OBRA	1536.96
TOTAL	160056.96

Fuente: propia

La tabla 4.22 muestra los costos totales por PALA con diferentes sistemas de lubricación, la tabla muestra una comparación de los costos asociados a diferentes sistemas de lubricación en las PALAS CAT 7495 HR, destacando los beneficios económicos de la lubricación semiautomática. En la PALA CAT 7495 HR 2161, que no cuenta con ningún sistema de lubricación, los costos ascienden a \$739,284.8, mientras que la PALA CAT 7495 HR 2162, con un sistema de lubricación manual, detalla un costo significativamente menor de \$296,293.92. Sin embargo, la implementación de un sistema de lubricación semiautomática, como se observa en las PALAS CAT 7495 HR 2160 y 21-63, reduce aún más los costos operativos a \$160,056.96. Esta reducción demuestra una mejora en los costos de mantenimiento, al utilizar la lubricación semiautomática, y de esta manera se reducen los gastos.

Además, se observa que el costo total para la PALA CAT 7495 HR 2161 que opera sin lubricación es significativamente más alto, alcanzando los \$739,284.80. Este valor es aproximadamente tres veces mayor que el costo de la PALA CAT 7495 HR 2162 con lubricación manual, que asciende a \$296,293.92. Por otro lado, las PALAS CAT 7495 HR 2160 y 21-63 con lubricación semiautomática presentan costos menores y uniformes, con un total de \$160,056.96 por equipo en comparación a la PALA CAT 7495 HR 2161 sin lubricación; es decir, 5 veces menos en relación con las palas con lubricación semiautomática.

Tabla 4. 22 Costos totales por Palas CAT 7495 HR

EQUIPO	PALA CAT 7495 HR 2161	PALA CAT 7495 HR 2162	PALA CAT 7495 HR 2160	PALA CAT 7495 HR 21-63
SISTEMA DE LUBRICACION	SIN LUBRICACION	LUBRICACION MANUAL	LUBRICACION AUTOMATICA	LUBRICACION AUTOMATICA
COSTO TOTAL, \$	739284.8	296293.92	160056.96	160056.96

Fuente: propia

La tabla 4.23 permite identificar la frecuencia y distribución de los mantenimientos correctivos y programados para cada una de las palas industriales equipadas con diferentes sistemas de lubricación.

Tabla 4. 23 Registros de mantenimientos y horas - hombre
(Pala CAT 7495 HR)

Equipo	Pala 21-61	Pala 21-62	Pala 21-63	Pala 21-60
Sistema de Lubricación	Sin Lubricación	Lubricación Manual	Lubricación Automática	Lubricación Automática
Mantenimientos Correctivos	2	1	0	0
Mantenimientos Programados	8	6	2	2
Total, Horas Hombre	120	72	24	24

Fuente: propia

En este caso, se analizan cuatro palas.

Pala CAT 7495 HR 21-61, sin lubricación, muestra una mayor necesidad de intervenciones, con un total de 2 mantenimientos correctivos y 8 mantenimientos programados, acumulando un total de 120 horas hombre durante un año. La Pala CAT 7495 HR 21-62, cuenta con lubricación manual, requiere menor intervención, registrando 1 mantenimiento correctivo y 6 programados, con un total de 72 horas hombre con una frecuencia de un año. La Pala CAT 7495 HR 21-63 y Pala CAT 7495 HR 21-60. Ambas equipadas con sistemas de lubricación semiautomática, presentan una menor necesidad de intervenciones, con 0 mantenimientos correctivos y solo 2 mantenimientos programados para cada una, sumando 24 horas hombre en total para cada equipo.

A partir de estos datos, se observa que los sistemas de lubricación semiautomática no solo reducen la frecuencia de mantenimientos correctivos, sino que también disminuyen significativamente el tiempo total de intervención, lo que sugiere una mayor eficiencia operativa y potenciales ahorros en costos de mantenimiento. Estos resultados destacan la importancia de seleccionar un sistema de lubricación adecuado para mejorar la fiabilidad y reducir el tiempo de inactividad de las palas industriales.

4.2 Indicadores técnicos de mantenimiento

En esta sección se realiza el estudio de los indicadores clave de mantenimiento: Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF), Tiempo Medio de Reparación (MTTR) y la Disponibilidad de un conjunto de equipos tipo pala, identificados como PALA 21-60, PALA 21-61, PALA 21-62 y PALA 21-63. El desarrollo de los indicadores se realizó de manera mensual en base a la consideración de los eventos correctivos y preventivos registrados en periodo de tiempo señalado, en el transcurso de doce meses desde agosto del 2023 hasta julio del 2024, que se muestran en la tabla 4.24 y de manera analítica en el anexo B.

Tabla 4. 24 Registro de indicadores de palas CAT 7495 HR

PERIODO		PALA 21-60			PALA 21-61			PALA 21-62			PALA 21-63		
AÑO	MES	MTBF	MTTR	Do	MTBF	MTTR	Do	MTBF	MTTR	Do	MTBF	MTTR	Do
2023	AGOSTO	100	3	97	140	4	97	114	7	95	179	1	99
2023	SETIEMBRE	353	7	98	237	3	99	358	2	99	0	0	100
2023	OCTUBRE	137	7	95	142	2	98	358	3	99	140	4	98
2023	NOVIEMBRE	99	4	97	238	2	99	142	2	99	119	1	99
2023	DICIEMBRE	140	4	97	61	4	93	238	2	99	239	1	100
2024	ENERO	172	8	95	358	2	99	238	2	99	359	2	100
2024	FEBRERO	98	5	95	118	2	98	238	2	99	116	5	96
2024	MARZO	140	4	97	118	2	98	117	3	98	720	0	100
2024	ABRIL	354	7	98	175	5	97	238	2	99	143	1	100
2024	MAYO	140	4	97	101	2	98	142	2	99	98	5	96
2024	JUNIO	235	5	98	142	2	99	353	7	98	239	1	100
2024	JULIO	116	4	97	114	6	95	115	5	96	179	1	99

Fuente: propia

El análisis de los datos mensuales permite elaborar un consolidado anual que se muestra en la tabla 4.2.

Tabla 4. 25 Registros mensuales de mantenimientos de palas CAT 7495 HR

DESPUES ANUAL	SIN LUBRICACION		LUBR. MANUAL		LUBR. SEMIAUTOMATICO		LUBR. SEMIAUTOMATICO	
	PALA 21-60		PALA 21-61		PALA 21-62		PALA 21-63	
DENOMINACION	N° FALLAS	HORAS FALLAS	N° FALLAS	HORAS FALLAS	N° FALLAS	HORAS FALLAS	N° FALLAS	HORAS FALLAS
Cambio de Pines y Bocinas de Padloks	12	144	4	48	2	24	2	24
Rotura de Cable de Izar	1	18	1	18	1	18	1	18
Lubricacion de pines y bocinas de Padloks	0	0	0	0	0	0	0	0
Cambio cable Auxiliar	0	0	0	0	0	0	0	0
Reposicion de Puntas	3	6	2	4	1	2	1	2
caida de seguro de frenos de cucharon	2	4	1	2	1	2	2	4
Rptura de seguro de dipper handle	1	1	0	0	1	1	0	0
Cambio de barretón y espada	0	0	0	0	0	0	0	0
Cambio de Balde	0	0	0	0	0	0	0	0
Fisura en brazo de freno balde	1	3	1	3	1	3	1	3
Corte de cable de alimentacion	1	1	1	1	2	2	1	1
Cambio de adaptadores de Gets	2	8	1	4	1	4	1	4
Rotura de seguro Dipper Trip	1	3	1	3	2	6	1	3
Bajo nivel de aceite Hydrocrown	1	1	2	2	2	2	1	1
Fuga de aceite de cilindro Hydrocrown	1	1	1	1	1	1	1	1
Desgaste de Disco de freno de sistema de levante	1	4	2	8	2	8	3	12
Josting de Sistema de levante no funciona	1	2	2	4	1	2	0	0
Roptura de parabrisa frontal de cabina	1	10	0	0	0	0	1	10
Falla sistema de comunicación	2	6	4	12	3	9	2	6
Fuga de aire sistema neumatico	6	6	5	5	4	4	3	3
Se apaga motor del sistema de hoist	2	6	1	3	0	0	2	6
Sonido en caja de giro RH	1	1	0	0	0	0	1	1
Pin de zapata Rota	2	6	3	9	2	6	2	6
TOTAL	42	231	32	127	27	94	26	105

Fuente: propia

-Tiempo promedio entre fallas (MTBF)

En la figura 27 se muestra el tiempo promedio entre fallas para los diferentes equipos tipo pala en análisis. De la gráfica se observan los siguientes resultados:

- Pala 21-60 (sin lubricación) – 204 horas/falla;
- Pala 21-61(lubricación manual) - 271 horas/falla;
- Pala 21-62 (lubricación semiautomática) - 322 horas/falla;
- Pala 21-63 (lubricación semiautomática) - 334 horas/falla;

La lubricación manual de los pines y bocinas de la pala 21 - 61 permite aumentar el MTBF desde 204 horas/falla (pala 21 – 60 - sin lubricación) hasta 271 horas/falla; es decir, en 67 horas de operación por falla. Mientras que la lubricación semiautomática de los elementos mencionados arriba de las palas 21 – 62 y 21 – 63 permite incrementar significativamente el MTBF, entre 51-63 horas de operación por falla en comparación con la pala 21 – 61 (lubricación manual de los elementos) y entre 118 – 130 horas de operación por falla con relación a la pala 21 – 60 (sin lubricación de los elementos) correspondientemente.

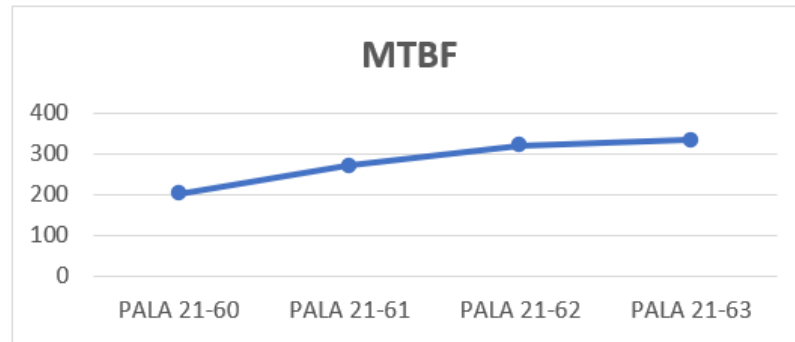


Figura 27. Tiempo promedio entre fallas para los equipos tipo pala

Fuente: propia

- Tiempo promedio de reparaciones (MTTR)

En la Figura 28 se presenta el tiempo medio de reparaciones correspondiente a los distintos equipos tipo pala analizados. A partir de la gráfica se obtienen los siguientes resultados:

- Pala 21-60 (sin lubricación) – 6 horas/reparación;
- Pala 21-61(lubricación manual) - 4 horas/reparación;
- Pala 21-62 (lubricación semiautomática) – 3 horas/reparación;
- Pala 21-63 (lubricación semiautomática) – 2.5 horas/reparación;

La lubricación manual aplicada a los pines y bocinas de la pala 21-61 disminuye el MTTR de 6 horas por reparación (registradas en la pala 21-60 sin lubricación) a 4 horas por reparación, lo que equivale a una disminución de 2 horas de reparación por falla. Por otro lado, la lubricación semiautomática de los elementos correspondientes en las palas 21-62 y 21-63 mejora significativamente el MTTR, logrando una disminución entre 1 y 1.5 horas de reparación en comparación con la pala 21-61 (con lubricación manual) y de entre 3 y 3.5 horas respecto a la pala 21-60 (sin lubricación de los elementos).

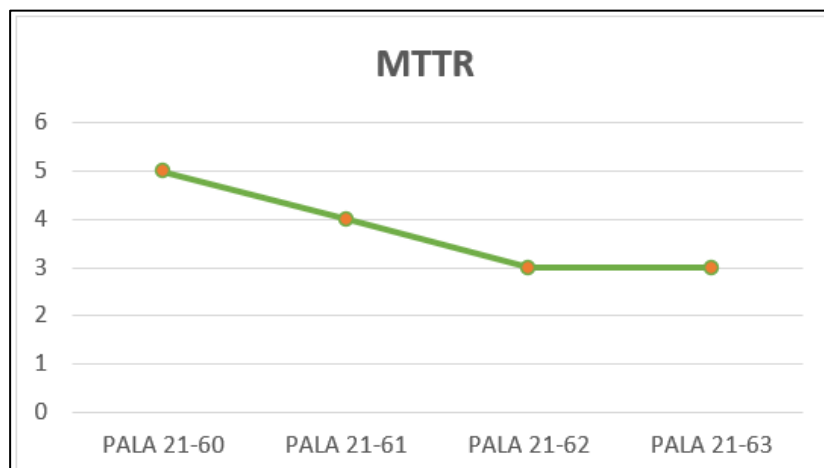


Figura 28. Tiempo medio de reparación para los equipos tipo pala

Fuente: propia

- Disponibilidad:

En la Figura 29, se detalla la disponibilidad operativa para los equipos tipo pala analizados. A partir de la gráfica se obtienen los siguientes resultados:

- Pala 21-60 (sin lubricación) – 95 %
- Pala 21-61(lubricación manual) – 96 %
- Pala 21-62 (lubricación semiautomática) – 98%
- Pala 21-63 (lubricación semiautomática) – 98%

Para la lubricación manual aplicada a los pines y bocinas de la pala 21-61 aumenta la disponibilidad de 95% (registradas en la pala 21-60 sin lubricación) a 96%, lo que equivale a un aumento de la disponibilidad en 1%. Por otro lado, la lubricación semiautomática de los elementos correspondientes en las palas 21-62 y 21-63 satisfactoriamente mejora la disponibilidad, logrando un incremento en la disponibilidad del 2 % en comparación con la pala 21-61 (con lubricación manual) y de 3% respecto a la pala 21-60 (sin lubricación de los elementos).

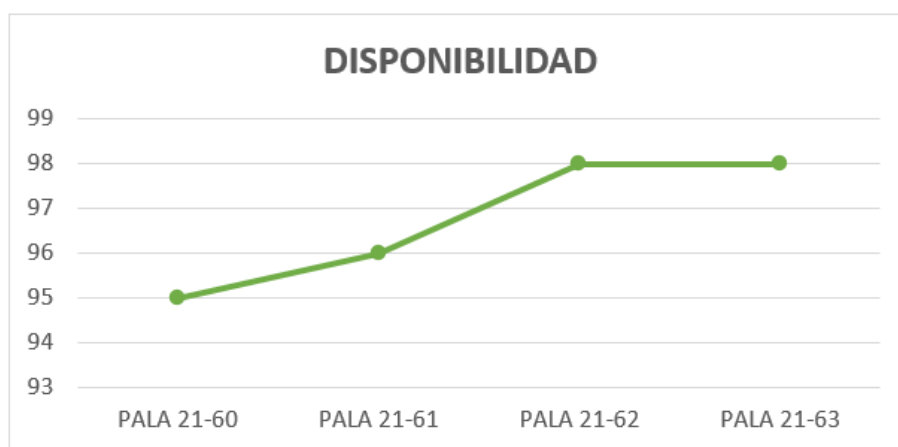


Figura 29. Tiempo medio de reparación para los equipos tipo pala

Fuente: propia

-Análisis de indicadores:

En las Tablas 4.26 y 4.27 se presentan los indicadores técnicos de mantenimiento de las palas eléctricas analizadas, comparando su desempeño antes y después de la implementación del sistema de lubricación semiautomática. Los indicadores

evaluados incluyen el Tiempo Medio entre Fallos (MTBF), el Tiempo Medio para Reparar (MTTR) y la disponibilidad operativa de los equipos.

Previo a la implementación del sistema de lubricación, los valores de MTBF para las palas fluctuaban entre 189 y 238 horas por reparación, mientras que la disponibilidad de los equipos se encontraba en un rango de 95% a 97%. Por su parte, el MTTR se mantenía constante en 6 horas para todos los equipos analizados.

Posterior a la implementación del sistema de lubricación semiautomática, se observó una mejora significativa en los indicadores técnicos. En el caso específico de las palas 21-62 y 21-63, el MTBF se incrementó en 74.76 horas por reparación, lo que refleja una mayor confiabilidad y menor frecuencia de fallas. Asimismo, la disponibilidad de estas palas aumentó en un 2%, optimizando su tiempo operativo. Además, se logró una reducción en los tiempos de reparación (MTTR), que disminuyeron de 6 horas a 4 horas, lo que contribuye directamente a mejorar la productividad y reducir los costos de mantenimiento.

Tabla 4. 26. Indicadores técnicos de mantenimiento

(Palas CAT 7495HR)

ANTES			
EQUIPO	MTBF	MTTR	DISPONIBILIDAD
PALA 21-60	189	6	95
PALA 21-61	193	6	96
PALA 21-62	225	6	97
PALA 21-63	238	6	97

Fuente: propia

-Descripción de los resultados

En el presente análisis, se evalúan los indicadores de mantenimiento asociados a las palas CAT 7495 HR-21-60, HR-21-61, HR-21-62 y HR-21-63, destacando su desempeño antes y después de implementar un nuevo sistema de gestión basado en la lubricación semiautomática. Los datos se centraron en los parámetros clave: tiempo promedio entre fallas (MTBF), tiempo promedio de reparación (MTTR), disponibilidad y disponibilidad inherente.

-Resultados antes de la implementación

La tabla 4.27 se observa que el MTBF para las palas osciló entre 189 y 238 horas/reparación, reflejando una frecuencia relativamente alta de fallas. El MTTR se mantuvo constante en 6 horas para todas las palas. La disponibilidad general varió entre 95% y 97%, mientras que la disponibilidad inherente alcanzó entre 97% y 98%, indicando un margen de mejora significativo.

Tabla 4. 27.Indicadores técnicos de mantenimiento antes de la implementación
(Palas CAT 7495HR)

ANTES				Disponibilidad inherente
EQUIPO	MTBF	MTTR	DISPONIBILIDAD	
PALA 21-60	189	6	95	97
PALA 21-61	193	6	96	97
PALA 21-62	225	6	97	97
PALA 21-63	238	6	97	98

Fuente: propia

-Resultados después de la implementación

De acuerdo con la tabla 4.28, se observa que, al implementar la lubricación semiautomática, el MTBF incrementó significativamente, alcanzando valores de 204 a 334 horas/reparación, especialmente en las palas HR-21-62 y HR-21-63, que registraron 322 y 334 horas/reparación respectivamente. El MTTR disminuyó en algunas palas, alcanzando 3 horas en la pala HR-21-62. La disponibilidad mejoró en todas las palas, variando entre 96% y 99%, con un notable aumento en las palas HR-21-62 y HR-21-63.

Tabla 4. 28. Indicadores técnicos de mantenimiento después de la implementación
(Palas CAT 7495HR)

DESPUES ANUAL				
EQUIPO	MTBF	MTTR	DISPONIBILIDAD	Disponibilidad inherente
PALA 21-60	204	6	96	97
PALA 21-61	271	4	97	99
PALA 21-62	322	3	99	99
PALA 21-63	334	4	99	99

Fuente: propia

4.3 Selección del sistema de engrase

La lubricación adecuada de los componentes del sistema de levante en la Pala CAT 7495 HR es crucial para garantizar su correcto funcionamiento y prolongar su vida útil. A continuación, se desarrolla la metodología de cálculo para la selección del sistema de engrase ELECTRO LUBER.

1. Datos Iniciales

A. Características del punto de lubricación

Componente por lubricar: Bujes de las poleas del sistema de levante.

Número de puntos de lubricación: 4 (dos por cada lado del tambor de levante).

- Diámetro del buje (D): 215 mm.
- Longitud del buje (B): 177.8 mm.
- Distancia entre puntos de engrase: 2.4 metros.
- Presión requerida: 50 PSI.

B. Condiciones operativas

- Carga de trabajo: Operación 24 horas al día.
- Frecuencia de lubricación: Cada 8 horas.
- Temperatura ambiental: 0°C a 35°C.
- Condiciones de trabajo: Alta exposición a polvo, humedad y vibraciones.

C. Especificaciones del lubricante

- Lubricante recomendado: CAT Prime Application Grease (NLGI-2).
- Cantidad de grasa por ciclo de lubricación: 6 gramos por punto.
- Frecuencia de lubricación: Cada 8 horas.

D. Metodología de Cálculo

Determinación de la Cantidad de Lubricante por Punto

Para calcular la cantidad de grasa necesaria se utiliza la siguiente ecuación empírica:

$$Q = D \times B \times 0.002$$

Donde:

- Q = Cantidad de grasa requerida por ciclo (gramos).
- D = Diámetro del buje (mm).
- B = Longitud del buje (mm).
- 0.002 = Factor empírico para lubricación de bujes y cojinetes.

Cálculo:

$$Q = 215 \times 177.8 \times 0.002$$

$$Q = 76.45 \text{ g}$$

Para evitar sobre lubricación, se ajusta a 6 gramos cada 8 horas según recomendaciones del fabricante.

E. Determinación del Volumen Total de Lubricante

El volumen total requerido por día se calcula como:

$$V = Q \times N \times T$$

Donde:

- V = Volumen total de grasa requerido (gramos).
- N = Número de puntos de lubricación.
- T = Número de ciclos de lubricación por día.

$$V = 6 \times 2 \times 3 = 36 \text{ g/día}$$

Para una operación de 30 días:

$$V_{30} = 36 \times 30 = 1080 \text{ g}$$

F. Selección del Modelo ELECTRO LUBER

Los dispensadores ELECTRO LUBER están disponibles en capacidades de 60cc, 120cc, 250cc y 500cc.

Dado que la densidad de la grasa es aproximadamente 0.9 g/cc, el volumen requerido es:

$$V_{cc} = \frac{2160(g)}{0.9(\frac{g}{cc})} = 2400 \text{ cc}$$

Según la tabla 4.29 se seleccionan 4 unidades de ELECTRO LUBER MD 250cc, cubriendo la operación de 30 días por cada punto

Tabla 4. 29 Comparación de modelos ELECTRO LUBER

Modelo	Capacidad (cc)	Duración (días)
EL-60	60	7
EL-120	120	15
EL-250	250	30
EL-500	500	60

Fuente: propia

4.4 Prueba de hipótesis

-Prueba estadística

De los indicadores técnicos (MTBF, MTTR, disponibilidad operativa, disponibilidad inherente, etc.), el más representativo es el tiempo promedio entre fallas que define el

objetivo principal de este trabajo - incremento de la vida operativa útil. Por este motivo, se va a realizar la prueba de hipótesis con relación al parámetro MTBF.

- Hipótesis de la investigación

La implementación de un sistema de lubricación semi automática en el sistema de levante de las palas CAT (pines y bocinas) puede incrementar el MTBF, contribuyendo así a una mayor vida útil del sistema.

Por lo tanto, el objetivo de la hipótesis estadística es analizar y comparar el MTBF del equipo antes y después de la implementación del sistema de lubricación semi automática.

Para la prueba de hipótesis se elaboró un resumen que se muestra en la tabla 4.30

Tabla 4. 30. MTBF antes y después de la implementación

MODELO	MTBF ANTES DE LA IMPLEMENTACION, horas/falla	MTBF DESPUES DE LA IMPLEMENTACION, horas/falla
PALA 21-62	225	322
PALA 21-63	238	334

Fuente: propia

- Formulación la hipótesis

La hipótesis estadística de trabajo en este caso será:

Ha: El promedio anual del MTBF antes de la implementación del sistema de lubricación semi automática es menor que antes de su aplicación (La implementación semi automática mejora el MTBF).

H0: El promedio anual del MTBF antes de la implementación del sistema de lubricación semi automática es igual o mayor que después de su aplicación (La implementación semi automática no hace efecto).

Notación símbolo

$$H_a: \mu_1 < \mu_2 \text{ (Hipotesis alterna)}$$

$$H_0: \mu_1 < \mu_2 (\text{Hipotesis nula a contrastar})$$

Establecer el valor de significancia (α) es el grado complementario a la confianza ($1-\alpha$) de la evaluación estadística. Para tener validez se asume una confianza del 95% por lo cual:

Nivel de significancia: $\alpha = 0.05$

Elección estadística de la prueba.

Se propone la t de student por que la población de la investigación es reducida, por ello se ve conveniente usar este tipo de prueba estadística (se evalúa al mismo grupo).

La prueba estadística t (de student) tiene la siguiente ecuación.

$$T_0 = \frac{d - 0}{\sqrt{\frac{\sigma^2}{n}}}$$

Donde:

$d = \text{media diferencia}$

$\sigma = \text{varianza de la indiferencia}$

$n = \text{numero de muestra}$

Tabla 4. 31. MTBF Antes y después de la implementación.

	MTBF, horas/falla	
Antes de la implantación	225	238
Después de la implementación	322	334
Diferencia	-97	-96

Fuente: propia

$$d = \frac{\text{Promedio de la suma de diferencias}}{\text{numero de diferencias}}$$

$$d = -96.5 \text{ (tabla 4.31)}$$

$$\sigma^2 = \frac{\sum(\text{Residuos}^2)}{n - 1}$$

$$\sigma = 0.70711$$

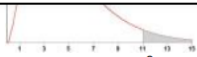
$$n = 1$$

Reemplazando en la ecuación:

$$T_0 = \frac{-96.5 - 0}{\sqrt{\frac{0.75^2}{1}}}$$

$$T_0 = -136.47$$

Tabla 4. 32. Distribución t de student



	χ^2															
	0,001	0,005	0,01	0,02	0,025	0,03	0,04	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	
g.d.l																g.d.l
1	10,828	7,879	6,635	5,412	5,024	4,709	4,218	3,841	2,706	2,072	1,642	1,323	1,074	0,873	0,708	1
2	13,816	10,597	9,210	7,824	7,378	7,013	6,438	5,991	4,605	3,794	3,219	2,773	2,408	2,100	1,833	2
3	16,266	12,838	11,345	9,837	9,348	8,947	8,311	7,815	6,251	5,317	4,642	4,108	3,665	3,283	2,946	3
4	18,467	14,860	13,277	11,668	11,143	10,712	10,026	9,488	7,779	6,745	5,989	5,385	4,878	4,438	4,045	4
5	20,515	16,750	15,086	13,388	12,833	12,375	11,644	11,070	9,236	8,115	7,289	6,626	6,064	5,573	5,132	5
6	22,458	18,548	16,812	15,033	14,449	13,968	13,198	12,592	10,645	9,446	8,558	7,841	7,231	6,695	6,211	6
7	24,322	20,278	18,475	16,622	16,013	15,509	14,703	14,067	12,017	10,748	9,803	9,037	8,383	7,806	7,283	7
8	26,124	21,955	20,090	18,168	17,535	17,010	16,171	15,507	13,362	12,027	11,030	10,219	9,524	8,909	8,351	8
9	27,877	23,589	21,666	19,679	19,023	18,480	17,608	16,919	14,684	13,288	12,242	11,389	10,656	10,006	9,414	9
10	29,588	25,188	23,209	21,161	20,483	19,922	19,021	18,307	15,987	14,534	13,442	12,549	11,781	11,097	10,473	10
11	31,264	26,757	24,725	22,618	21,920	21,342	20,412	19,675	17,275	15,767	14,631	13,701	12,899	12,184	11,530	11
12	32,909	28,300	26,217	24,054	23,337	22,742	21,785	21,026	18,549	16,989	15,812	14,845	14,011	13,266	12,584	12
13	34,528	29,819	27,688	25,472	24,736	24,125	23,142	22,362	19,812	18,202	16,985	15,984	15,119	14,345	13,636	13
14	36,123	31,319	29,141	26,873	26,119	25,493	24,485	23,685	21,064	19,406	18,151	17,117	16,222	15,421	14,685	14
15	37,697	32,801	30,578	28,259	27,488	26,848	25,816	24,996	22,307	20,603	19,311	18,245	17,322	16,494	15,733	15
16	39,252	34,267	32,000	29,633	28,845	28,191	27,136	26,296	23,542	21,793	20,465	19,369	18,418	17,565	16,780	16
17	40,790	35,718	33,409	30,995	30,191	29,523	28,445	27,587	24,769	22,977	21,615	20,489	19,511	18,633	17,824	17
18	42,312	37,156	34,805	32,346	31,526	30,845	29,745	28,869	25,989	24,155	22,760	21,605	20,601	19,699	18,868	18
19	43,820	38,582	36,191	33,687	32,852	32,158	31,037	30,144	27,204	25,329	23,900	22,718	21,689	20,764	19,910	19
20	45,315	39,997	37,566	35,020	34,170	33,462	32,321	31,410	28,412	26,498	25,038	23,828	22,775	21,826	20,951	20

Fuente: [18]

Decisión:

La evaluación de acuerdo con la tabla se hace de acuerdo con las siguientes condiciones:

$t_{calculado} < t_{tabla}$ entonces se rechaza

$[t_{(calculado es menor)} = -386 < [t_{(tabla)} = 3.841]$ entonces rechazamos H_0

Se puede concluir que al rechazar H_0 aceptamos H_a (hipótesis alterna): Que concluye que: “El promedio anual del MTBF antes de implementar el sistema de lubricación semi automática es menor que después de su implementación”.

Se puede inferir como resultado positivo que la implementación de la lubricación semi automática en el sistema de levante ayuda a mejorar el MTBF de las palas CAT.

Se puede asegurar que definitivamente que la implementación de la lubricación semiautomática mejora la vida útil del sistema de levante de las maquinas en análisis.

Resultados de la investigación paquete informático SPSS

Estadísticas de muestras emparejadas					
		Media	N	Desviación estándar	Media de error estándar
Par 1	ANTES	231,5000	2	9,19239	6,50000
	DESPUES	328,0000	2	8,48528	6,00000

Correlaciones de muestras emparejadas			
		N	Sig.
Par 1	ANTES & DESPUES	2	,000

Prueba de muestras emparejadas							
Diferencias emparejadas							
		Media	Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia		
					Inferior	Superior	
Par 1	ANTES - DESPUES	-96,50000	,70711	,50000	-102,85310	-90,14690	-193,000
					t	gl	Sig. (bilateral)
							,003

Tamaños de efecto de muestras emparejadas					
		Standardizer ^a	Estimación de puntos	Intervalo de confianza al 95%	
				Inferior	Superior
Par 1	ANTES - DESPUES	d de Cohen	,70711	-136,472	-4,277
		corrección de Hedges	1,25331	-76,996	-2,413

a. El denominador utilizado en la estimación de tamaños del efecto.
 La d de Cohen utiliza la desviación estándar de muestra de la diferencia de medias.
 La corrección de Hedges utiliza la desviación estándar de muestra de la diferencia de medias, más un factor de corrección.

Figura 30. Resultados del análisis estadístico con el paquete informático SPSS
Fuente: propia

En la figura 30 se muestran los resultados del análisis estadístico: Prueba t de Student para muestras emparejadas. Se realizó el análisis estadístico utilizando el software SPSS para comprobar las hipótesis planteadas con relación al MTBF antes y después de la implementación del sistema de lubricación semiautomática en las palas eléctricas CAT 7495 HR. Los resultados del análisis se presentan a continuación.

lubricación, se evidencia que el tipo de lubricación desempeña un papel crucial en la prolongación de la vida útil del equipo.

La implementación del sistema de lubricación semiautomática ha demostrado ser la mejor alternativa para aumentar la vida útil de las PALAS CAT 7495 HR, empleando menos de la mitad del tiempo en comparación con los sistemas sin lubricación. Además, este sistema reduce considerablemente los costos de mantenimiento en comparación al sistema sin lubricación, que es cinco veces mayor al sistema de lubricación semiautomática. Es importante destacar que, con la lubricación semiautomática, el plan de mantenimiento para los elementos críticos, como las bocinas y los pines, debe realizarse cada seis meses.

CONCLUSIONES

- La implementación de un sistema de lubricación semiautomática en el sistema de levante de las palas CAT 7495 HR permite una reducción del 31.1 % en los costos de mantenimiento, disminuyendo de \$739,284.80 (sin lubricación) a \$509,284.70 (con lubricación semiautomática). Este resultado evidencia un beneficio económico directo al reducir la cantidad de mantenimientos correctivos ocasionados por el desgaste de pines y bocinas.
- El análisis de indicadores de mantenimiento demuestra que la incorporación del sistema de lubricación semiautomática permite incrementar el MTBF (Tiempo Medio Entre Fallas) de 248.67 a 698.25 horas, reducir el MTTR (Tiempo Medio para Reparar) de 4.1 a 2.3 horas, y elevar la disponibilidad mecánica del equipo de 98.38 % a 99.67 %. Estos resultados reflejan una mayor confiabilidad y eficiencia operativa en comparación con equipos que operan sin lubricación o con sistemas de lubricación manual, donde la disponibilidad promedio se mantiene alrededor del 99 %.
- Para la selección del equipo se optó por el modelo ELECTRO-LUBER EL-250, siguiendo los criterios establecidos por el fabricante. Los cálculos determinaron que el volumen requerido de lubricante para un periodo de 30 días es de 2400 cc, considerando una densidad promedio de la grasa de 0.9 g/cc. La elección de este modelo permite cubrir adecuadamente las necesidades operativas mediante la instalación de cuatro unidades de 250 cc, garantizando una lubricación continua, uniforme y precisa en los puntos críticos.
- Finalmente, la aplicación de la prueba t de Student sobre la comparación de la vida útil antes y después de la implementación del sistema de lubricación semiautomática confirmó la hipótesis alterna planteada, evidenciando una diferencia estadísticamente significativa con un valor de $p < 0.05$. Este resultado valida de manera técnica y estadística que el sistema de lubricación semiautomática contribuye al incremento de la vida útil del sistema de levante de las palas CAT 7495 HR.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar capacitaciones periódicas y certificadas dirigidas al personal técnico encargado de la operación y mantenimiento del sistema de lubricación semiautomática. Dichas capacitaciones deben incluir la interpretación de diagramas de lubricación, el funcionamiento de bombas dosificadoras, la calibración de válvulas e inyectores, así como el diagnóstico de fallas comunes. La adecuada comprensión técnica garantizará una

respuesta oportuna ante desviaciones operativas, reduciendo el riesgo de fallas críticas en los pines y bujes del sistema de levante de las palas CAT 7495HR.

- Es fundamental establecer un programa de inspección visual y funcional de carácter semanal para validar el correcto funcionamiento de los inyectores, líneas y bombas de lubricación. El equipo técnico debe verificar la presión de suministro, la integridad de las líneas y la dosificación precisa en cada punto crítico. Estas inspecciones deben registrarse en formatos estandarizados y alimentar el historial técnico de cada equipo, lo que permitirá contar con información confiable para futuras evaluaciones de desempeño.
- Se recomienda mantener un stock mínimo de componentes esenciales del sistema de lubricación, tales como inyectores, líneas flexibles, acoplamientos, bombas y sensores de presión. Este inventario debe clasificarse como crítico dentro del sistema SAP y estar vinculado al plan de mantenimiento preventivo, ya que la falta de estos elementos podría detener temporalmente el sistema y comprometer la integridad mecánica de la pala, afectando su disponibilidad operativa.
- El sistema de lubricación semiautomática debe integrarse formalmente al plan de mantenimiento preventivo de las palas CAT 7495HR, considerándolo como una actividad específica y periódica. Se recomienda establecer una frecuencia de revisión mensual para realizar el mantenimiento preventivo de la bomba, el purgado de las líneas y la verificación de posibles alertas del sistema. Esta integración permitirá optimizar los tiempos de intervención, minimizar paradas imprevistas y garantizar la continuidad operativa del sistema, alineada con los estándares de disponibilidad y confiabilidad del equipo.
- Asimismo, se recomienda implementar indicadores clave de desempeño que permitan evaluar objetivamente la eficiencia del sistema de lubricación, tales como el consumo diario de grasa, la cantidad de fallas relacionadas con deficiencias de lubricación y la disponibilidad mecánica asociada. Esta información debe ser parte del análisis mensual de mantenimiento y utilizarse

para retroalimentar las estrategias de mejora continua en la gestión de las palas eléctricas.

- Se recomienda además incorporar la automatización y monitoreo en tiempo real del sistema de lubricación semiautomática. Si bien el sistema actual ya reduce significativamente la intervención manual y mejora la frecuencia de engrase, la integración de sensores de presión, caudal y temperatura, con capacidad de transmitir datos a una plataforma de monitoreo, permitirá anticipar fallas, detectar bloqueos en las líneas o inyectores obstruidos, y asegurar que cada punto de lubricación reciba la cantidad adecuada de lubricante. Esta mejora tecnológica facilitará la implementación de un mantenimiento predictivo, incrementando la disponibilidad y confiabilidad de los equipos.
- Finalmente, se sugiere ampliar la aplicación del sistema de lubricación semiautomática a otros equipos de la operación minera, como excavadoras hidráulicas y cargadores frontales, cuyas condiciones de trabajo y desgaste son similares a las de las palas CAT 7495HR. Esta proyección permitirá estandarizar las buenas prácticas de mantenimiento, mejorar la disponibilidad operativa del parque de maquinaria y generar un impacto positivo en la productividad global de la operación minera.

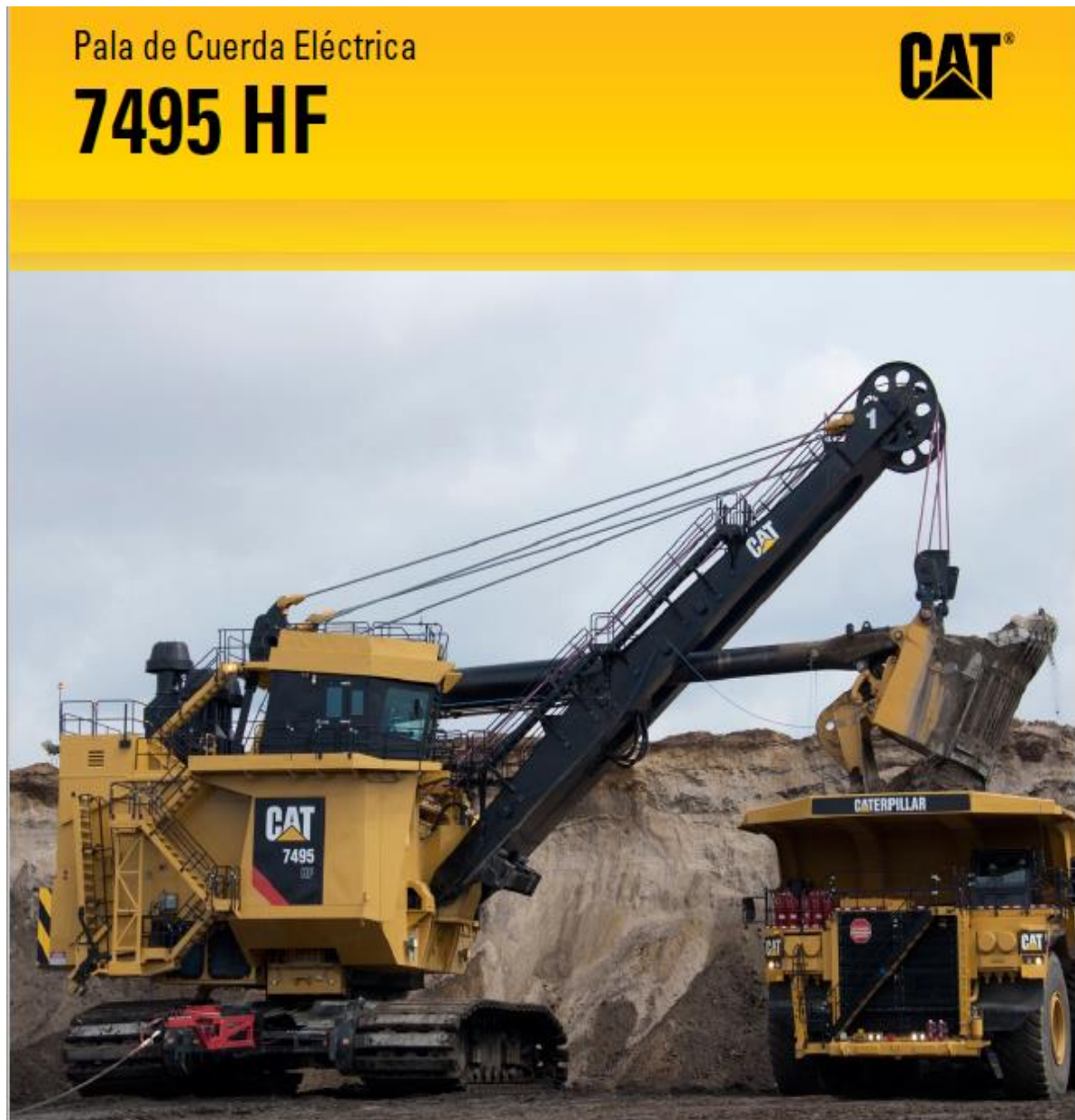
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. INFORME TÉCNICO IC. *Estructura Padlocks Pala 7495. 21-62 INPA0126*. Cusco: s.n., 2024.
2. INFORME TÉCNICO IC. *Estructura cucharon y Padlocks Pala 7495. 21-62-INPA0021*. Cusco: s.n., 2022.
3. INFORME TÉCNICO IC. *Estructura Padlocks Pala 7495. 21-62-INPA0052*. Cusco: s.n., 2023.
4. RAMÍREZ HERNÁNDEZ, Julio Francisco. *Plan de lubricación para el mantenimiento mecánico para la maquinaria pesada utilizada en movimiento de tierra, en la industria de la construcción, por Topsa Construcciones S.A.* Guatemala: s.n., 2007.
5. DURAND VILLARROEL, Víctor Rubén. *Sistemas de lubricación semiautomática para equipos móviles, mineros e industriales: diseño conceptual, selección de componentes, operación y mantención*. Curicó, Chile: s.n., 2008.
6. CHAUCANES GARRETA, Yorman Guillermo y PORTILLA HAROLD, Fernando. *Diseño y construcción de prototipo de lavado semiautomático para el alistado exterior de automóviles en centro de lubricación y la Autos Los Ángeles*. AUNAR, Colombia: s.n., 2016.
7. NUÑEZ LAZARTE, Gustavo Alberto. *Diseño de un sistema de lubricación para un molino SAG 32" x 32" de 621 DMTPH de capacidad*. Arequipa: s.n., 2012.
8. LUNA TORRES, Fred André. *Diseño de sistema de lubricación de pines y bocinas de Padlock de cucharón de palas eléctricas CAT modelo 7495 HR2*. Arequipa: s.n., 2017.
9. GARCÍA ASENCIOS, Jhosseli Milagros. *Implementación de mejores prácticas de lubricación en las articulaciones de la excavadora hidráulica CAT 374 DL y el cargador frontal CAT 988H basado en la mejora continua al cliente San Martin Contratistas Generales S.A.A.* Lima: s.n., 2014.
10. CATERPILLAR GLOBAL MINING LLC. *Manual de servicio*. EE. UU.: s.n., 2014.
11. DURANGO, Demóstenes; HERRERA, Edinson y OTERO, Nicolás. *Diseño, construcción y validación del prototipo de una máquina para ensayos de resistencia de materiales*. Córdoba, España: s.n., 2015.
12. CEGARRA, J. *Metodología de la investigación científica y tecnológica*. Madrid: Díaz de Santos, 2004.
13. SINACYT. *Reglamento de calificaciones y registro de investigadores en ciencia y tecnología del Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica*. s.l.: El Peruano, 2015. Código: 567978.

ANEXOS

ANEXO A

INFORMACION GENERAL DE LA PALA CAT





Diseño del extremo delantero

Reducción del peso del extremo delantero,
resistencia estructural confiable

ANEXO B

Descripción Técnica y Ventajas del Diseño Exclusivo del Extremo Delantero de Excavadoras Cat

seguridad, confiabilidad y productividad gracias a nuestro diseño exclusivo

Gran mejora de la eficiencia y seguridad de la excavación y la vida útil de los componentes gracias a nuestro diseño de extremo delantero exclusivo y sólido, en particular si se lo compara con los sistemas de cremallera y piñón.

Tiempos de ciclo más rápidos, visibilidad mejorada y mantenimiento más seguro

Mejore la seguridad y productividad de la carga en su mina con un extremo delantero más liviano que permite una mejor visibilidad y facilidad de servicio.

- Tiempos de rotación más rápidos gracias a la menor inercia del extremo delantero liviano.
- Mejor visibilidad a la izquierda con la maquinaria de empuje montada en la plataforma, que reduce los componentes que obstruyen la visión en la pluma.
- La maquinaria de ataque montada en la plataforma reduce el peligro de caída y permite que la mayor parte del mantenimiento se realice desde la protección de la plataforma de la caja de maquinaria.

Menos fisuras y mayor vida útil de los componentes

Experimente un mayor tiempo de disponibilidad y confiabilidad de los componentes con nuestro exclusivo y al mismo tiempo resistente diseño de extremo delantero.

- Manija de draga forjada de una pieza, altamente resistente a las fisuras.
- El diseño de manija giratoria transmite el esfuerzo de torsión a las cuerdas de levantamiento y prolonga la vida útil de la pluma y la draga.
- Las cuerdas de ataque y retracción o el fluido hidráulico absorben el rebote causado por el choque de la draga con el material mal triturado, lo cual reduce el desgaste y las fisuras en la unión de la pluma y la manija de la draga.
- Gran reducción del uso de lubricante al reemplazar las cremalleras y piñones con manijas tubulares y cuerdas o cilindro hidráulico.

Excavación más fácil y eficiente

Aumente la productividad y eficiencia de la excavación gracias a nuestras poleas de la cabeza de la pluma separadas.

- Las cuerdas de levantamiento equilibran la tracción de la draga mediante las poleas de la cabeza de la pluma separadas, para distribuir automáticamente la fuerza de excavación donde es más necesario.

Mantenimiento simplificado

Logre que su principal herramienta de carga vuelva al trabajo rápidamente con un mantenimiento más sencillo y directo.

- El diseño facilita la instalación de la manija y requiere menos ajustes.
- El ajuste de las cuerdas de ataque y retracción se realiza desde la seguridad del techo de la caja de maquinaria en lugar de la pluma, como requieren los sistemas de cremallera y piñón.
- Eliminación del procedimiento semestral de mantenimiento principal de reinstalación de manijas con manija tubular en lugar de cremalleras.

Descripción del extremo delantero Cat

- Pluma de acero resistente a impactos con alivio de esfuerzo y viga de doble caja; 100 % de penetración y soldaduras de calidad UT en todos los principales empalmes.
- El conjunto de ataque modular montado en la plataforma incluye un motor CA, freno de discos accionado por resorte de liberación neumática y paquete de potencia hidráulica.
- Manija de aleación de acero forjado de alta resistencia, sin mantenimiento de una pieza diseñada para girar libremente en el bloque del soporte.
- El bloque del soporte, con camisa de una pieza, gira en el eje del cargador en un buje de bronce manganeso y guía el movimiento longitudinal de la manija.



Sistemas de ataque

Menos esfuerzo de torsión y más vida útil de los componentes, con tradición e innovación



Obtendrá resultados con ambos sistemas de ataque

Cada cual ofrece un rendimiento extraordinario y alta confiabilidad; puede elegir cualquiera de los dos sistemas de ataque. Nuestra cuerda de ataque tradicional es un diseño probado, que ha demostrado su confiabilidad en sitios de minería de todo el mundo durante tres cuartos de siglo. El innovador HydraCrowd va un paso más allá, al permitir que el mantenimiento sea más predecible y prolongar la producción de la pala de cuerda.

ANEXO C

Descripción Técnica y Ventajas del Sistema HydraCrowd y Cuerda de Ataque en Excavadoras Cat

HydraCrowd

Elimina los cambios rutinarios de cuerda de ataque/retracción

HydraCrowd prolonga los intervalos de mantenimiento y mejora la productividad total con un diseño innovador patentado que reemplaza las cuerdas de ataque y retracción por un cilindro hidráulico.

- Aumenta el tiempo de disponibilidad y mejora la productividad mediante la reducción de las horas de mantenimiento programado.
- Elimina los cambios rutinarios de cuerda de ataque/retracción.
- Prolonga el intervalo de mantenimiento principal a dos años.
- Mantiene los beneficios de nuestro exclusivo diseño de extremo delantero.

Descripción de HydraCrowd

- Cuatro bombas de eje descentrado de desplazamiento variable alimentan un cilindro sencillo dentro de la manilla tubular de la draga.
- Paquete de potencia hidráulica ubicado en la parte delantera de la caja de maquinaria.
- Sistema controlado por la comprobada tecnología IGBT Cat.
- Las válvulas de cartucho de gran capacidad y resistentes a la tierra ofrecen una alta confiabilidad y larga vida útil.
- Software de diagnóstico y sistema de solución de problemas con instrucciones paso a paso inherentes en los controles PLC.

Cuerda de ataque

Rendimiento constante, fiabilidad que da confianza

Nuestra cuerda de ataque tradicional ofrece un rendimiento predecible y confiable, demostrado durante más de 75 años.

- Los problemas de desalineación de los sistemas de cremallera y piñón se eliminan con nuestro diseño de manija tubular.
- Las fisuras del extremo delantero se reducen ya que las cuerdas de ataque y retracción absorben los impactos.
- El esfuerzo de torsión se elimina con nuestra manija giratoria de la draga, que reduce las fisuras y prolonga la vida útil de los componentes.



Sistema de draga LatchFree

Evite el tiempo de inactividad
con un enfoque revolucionario



Evite la principal causa de tiempo de inactividad de las palas de cuerda durante más de un siglo

Podrá dedicar más tiempo a la excavación y menos a realizar mantenimiento no planificado de la draga con el sistema de draga LatchFree.

La primera solución satisfactoria de la principal causa de tiempo de inactividad de las palas de cuerda, el sistema de draga LatchFree reemplaza el conjunto enganche, que requiere mucho mantenimiento, por un resistente eslabón de acero montado en la parte trasera de la draga, lejos del flujo de materiales. Para asegurar que logre el máximo de beneficios, el sistema cuenta con un completo programa de capacitación.

Seguridad mejorada

- Mejora la seguridad al eliminar el mantenimiento diario de la barra de pestillo, el sujetador del pestillo, los calces y los casquillos.

Mayor tiempo de disponibilidad

- Mejora la confiabilidad debido a la eliminación de la principal causa de tiempo de inactividad de las palas de cuerda eléctrica: el conjunto de enganche.

Excavación y carga más productivas

- Aumenta la eficiencia al reducir las cargas perdidas.

Mayor vida útil de los componentes

- Reduce el desgaste de los componentes al cambiar su posición lejos de las condiciones adversas de la puerta inferior de la draga.

Descripción del sistema de draga LatchFree

- Un sólido eslabón de retención de acero y una excéntrica reemplazan el conjunto de enganche de la draga tradicional.
- Los componentes están montados en la parte trasera de la draga en lugar de la puerta, lejos del flujo de material.
- La puerta se cierra por gravedad a medida que la draga baja.
- Disponible en los diseños de draga FastFil™ y de pared recta.
- Cuenta con un completo programa de capacitación.



Cumpla con los desafíos de cualquier entorno de minería con dos opciones de diseño

Nuestras dragas FastFil y de pared recta prolongan la vida útil y se adaptan de manera óptima a su aplicación, para que pueda mover más material.

- Fabricado con acero de alta resistencia a climas fríos y a los impactos para aumentar la resistencia y durabilidad.
- Parte trasera de la draga con alivio de esfuerzo para evitar fisuras.
- Las soldaduras principales se inspeccionan mediante pruebas no destructivas.
- Dimensionadas por expertos para su aplicación.
- Diseñadas para facilitar la reparación.

Draga de pared recta

Capacidad de carga útil maximizada

La draga de pared recta ofrece una mayor gama de carga útil y mantiene la calidad y confiabilidad del diseño FastFil.

- El diseño en forma de caja se adapta a las dragas de mayor tamaño.
- Disponible en tamaños de hasta 61,2 m³ (80 yd³).

Draga FastFil

Carga más rápida y completa de la draga

La forma trapezoidal de la draga FastFil, que mejora los factores de llenado y le ayuda a lograr las metas de productividad, se adapta a la configuración natural de la carga al eliminar los vacíos que se producen con las dragas en forma de caja.

- La forma trapezoidal elimina el vacío que se produce en la parte trasera de las dragas de forma tradicional.
- Mejor maniobrabilidad y tiempo de rotación más rápidos gracias a la reducción del tamaño y el peso de la draga.
- Mejor penetración del banco y eliminación de la explanación para reducir la turbulencia del material, gracias a los ángulos optimizados del labio y el rastrillo.
- Menores tiempo de carga y descarga facilitados por el cuerpo más corto de la draga.
- Promedio de factores de llenado > 100 % (110 % típico).
- Disponible en tamaños de hasta 49,7 m³ (65 yd³).

ANEXO D

Eficiencia de carga, recomendaciones de seguridad y sostenibilidad

Eficiencia de carga/acarreo

Mueva más material con óptimos
acoplamientos de coordinación de pasadas

Logre la producción de carga y acarreo deseada con las palas de cuerda y camiones mineros Cat perfectamente acoplados

Para cargas útiles a camión lleno con un mínimo tiempo de carga, un sistema de carga y acarreo eficiente comienza con la compatibilidad optimizada de las máquinas. Las palas de cuerda eléctrica Cat se combinan con los camiones mineros Cat para maximizar el volumen de material movido al menor costo de operación por tonelada.



Coordinación de pasadas del modelo 7495 HF con los camiones mineros Cat

	797F	795F CA	793F	793D
	363 tons métricas (400 tons EE.UU.)	313 tons métricas (345 tons EE.UU.)	226,8 tons métricas (250 tons EE.UU.)	220 tons métricas (240 tons EE.UU.)
7495 HF	4	3	2	2

Coordinación de pasadas del modelo 7495 HF con los camiones mineros Unit Rig

	MT6300 AC	MT5500 AC	MT5300D AC	MT4400D AC
	363 tons métricas (400 tons EE.UU.)	327 tons métricas (360 tons EE.UU.)	290 tons métricas (320 tons EE.UU.)	220 tons métricas (240 tons EE.UU.)
7495 HF	4	3	3	2

Seguridad

Diseñado teniendo en cuenta su seguridad como nuestra principal prioridad

Al compartir su compromiso de seguridad e impulsados por nuestro compromiso Zero Harm, trabajamos incansablemente para diseñar las máquinas más seguras posible para proteger su activo más importante, sus empleados.

Acceso a la máquina

- La escalera de acceso orientada hacia atrás en cuarenta y cinco grados permite un acceso rápido y cómodo a la máquina.
- Las escaleras, plataformas y pasarelas con asas facilitan el movimiento seguro en la máquina.

Visibilidad

- La vista panorámica desde el asiento del operador ofrece la mejor visibilidad exterior de la industria.
- Las cámaras transmiten a cinco monitores sobre la cabeza en la cabina para aumentar la visibilidad directa y el conocimiento de la posición.

Entorno del operador

- El diseño de puerta doble facilita el ingreso y la salida de la cabina y ofrece un escape rápido en caso de derrumbe de paredes altas.
- El piso sin escalones reduce el riesgo de tropezones.
- El asiento de capacitación del operador facilita la capacitación segura de los operadores.
- El segundo botón de parada de emergencia permite que el instructor detenga la máquina para evitar un accidente.

Señales de advertencia de energía almacenada

- Los lugares con energía almacenada están claramente marcados con señales que advierten al personal del peligro.

Mantenimiento

- Número reducido de eventos de mantenimiento gracias al sistema de draga HydraCrowd y LatchFree.
- Mantenimiento más fácil y menor peligro de caída gracias a la maquinaria montada en la plataforma del extremo delantero.





Sostenibilidad de la pala de cuerda Cat

Corriente eléctrica

Más eficientes que las máquinas diesel, las palas de cuerda eléctrica Cat son completamente eléctricas, por lo tanto, tienen menos pérdida de calor.

Potencia regenerativa

Las palas de cuerda eléctrica Cat utilizan tecnología de frenado regenerativa para convertir la energía cinética de los movimientos de la pala en energía eléctrica durante el frenado. La energía eléctrica que se genera luego se suministra a la red. Sin frenado regenerativo, la energía cinética se consumiría en forma de calor.

Vida útil prolongada

La reducción de los cambios de componentes disminuye los desperdicios. Los intervalos de cambio de componentes de las palas de cuerda eléctrica generalmente son más largos que los de las máquinas hidráulicas de tamaño similar.

Reconstrucciones

Para ahorrar dinero y reducir los desperdicios en el medio ambiente, los motores y cajas de engranajes de la pala de cuerda eléctrica puede reconstruirse.

ANEXO E

Especificaciones de la Pala 7495 HF

Especificaciones de la Pala de Cuerda Eléctrica 7495 HF

Dimensiones: con HydraCrowd

Carga útil de la draga (cargas útiles disponibles de hasta 109 tons métricas [120 tons EE.UU.] cuando se especifica)	100 tons métricas	110 tons EE.UU.
Capacidad de la draga	30,6 a 61,2 m ³	40 a 80 yd ³
Largo de la pluma	20,4 m	67'
Longitud real de la manija de la draga	10,9 m	35' 10"
Longitud total de la manija de la draga	14,3 m	47'

Pesos: con HydraCrowd

Peso de trabajo, con draga y varillaje estándar	1.442.274 kg	3.179.670 lb
Peso neto, interno, sin lastre ni draga	1.059.056 kg	2.334.820 lb
Draga de uso general: 56 m ³ (73 yd ³)	80.603 Kg	177.700 lb
Lastre (proporcionado por el cliente)	302.614 kg	667.150 lb

- Estos pesos varían ligeramente según la draga y los equipos optativos.

Estructuras principales: con HydraCrowd

Montaje de la oruga		
Ancho total de rodaduras 317,5 cm (125"), estándar	12,73 m	41' 9"
Longitud total de montaje	11,43 m	37' 6"
Ancho total de rodaduras 355,6 cm (140")	13,5 m	44' 3"
Área real total de cojinete (rodaduras de 317,5 cm)	57,1 m ²	615 pies ²
	248 kPa	35,9 lb/pulg ²
Área real total de cojinete (rodaduras de 355,6 cm)	64 m ²	689 pies ²
	221 kPa	32,1 lb/pulg ²
Número y diámetro de los rodillos		
Inferiores: 16	79,4 cm	31,25"
Inferiores traseros: 2	106,7 cm	42"
Superiores	Deslizante	
Diámetro de los tambores de recepción	162 cm	63,8"
Número y paso de las rodaduras: 94	50,8 cm	20"
Propulsión planetaria		
Impulsión independiente de motor doble		
Bastidor rotatorio (sección central)		
Acero soldado resistente a impactos		
Longitud	8,38 m	27' 6"
Ancho	3,68 m	12' 1"
Soporte giratorio		
Diámetro efectivo de la cremallera de rotación con aro de aleación de acero forjado	5,26 m	17' 3"
Corte externo de los dientes: cara	24,13 cm	9,5"
Diámetro de los rieles del rodillo cónico de aleación de acero forjado	4,52 m	14' 10"
Cantidad de rodillos cónicos	50	
Diámetro de los rodillos cónicos	27,31 cm	10,75"
Oscilación		
Dos cajas de engranajes planetarios, cada cual impulsada por un motor de montaje vertical, a cada lado del bastidor rotatorio. Los ejes del piñón de salida doble de cada caja de engranajes se conectan con la cremallera de rotación.		
Dispositivo de levantamiento		
Una caja de engranajes planetarios con piñones de salida doble proporciona la transferencia del par del dispositivo de levantamiento desde el motor eléctrico hasta el engranaje del tambor del dispositivo de levantamiento.		

Sistema de lubricación: con HydraCrowd

- El sistema de una línea aplica lubricante y grasa a través del PLC.
- Seis bombas (cuatro de lubricante y los dos de grasa) que se encuentran en un recinto de lubricación aislado y de doble pared.

Sistema eléctrico: con HydraCrowd

Mando

Sistema de mando Acutrol IGBT

Requisitos de potencia

Voltaje 3 fases, 50/60 Hz, 7.200 V

Demanda promedio cada 15 minutos 945 a 1.322 kW

Potencia máxima 3.778 kW

- Otras opciones de voltaje disponibles para adaptarse a los requisitos del cliente.

Requisitos del sistema de distribución

Máquina en sistema separado 4.000 kVA

Sistemas eléctricos principales

Voltaje del sistema (nominal) 50/60 Hz, 7.200 V

Cable de trayectoria SHD-3-#1/0 a 8.000 V (proporcionado por el cliente)

Transformador auxiliar 350 kVA, 7.200 V principal

Transformador de iluminación 2 a 25 kVA
120/240 V secundario

Luces

- Luces HPS en los pies de la pluma, parte superior del bastidor A, caja de maquinaria, recinto de lubricación recinto de control, recinto de servicios y reflectores.
- Luces incandescentes en las luces de tierra, pasarelas y la cabina del operador.

Extremo delantero: con HydraCrowd

Pluma

Pluma Acero soldado resistente a impactos

Poleas de la cabeza de la pluma ranuras dobles, templadas a fuego

Diámetros de las poleas de la cabeza de la pluma 243,84 cm 96"

Diámetro de la manija 86,36 m 34"

Grosor de la pared (nominal) 7,62 cm 3"

Datos de la cuerda

	No.	Diámetro	Tipo	Construcción
Dispositivo de levantamiento	2	69,8 mm (2,75")	doble	8 x 37
Susp. de la pluma	4	82,6 mm (3,25")	estabilizado	hebra de estructura
Desplazamiento de la draga	1	19,1 mm (0,75")	simple	7 x 25

Avance

HydraCrowd, patín hidráulico, ubicado en la parte delantera central de la plataforma del bastidor rotatorio, impulsa un gran cilindro hidráulico para mover longitudinalmente la manija de la draga.

Diámetro del calibre del cilindro hidráulico (nominal) 35,6 cm 14"

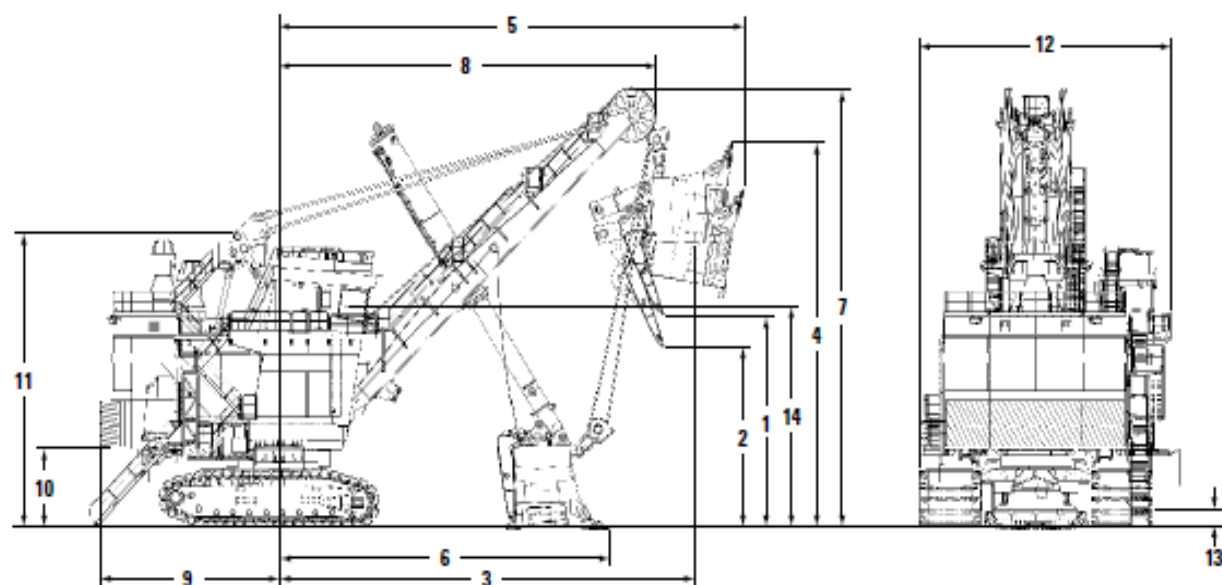
Diámetro de la varilla del cilindro hidráulico (nominal) 24,5 cm 10"

Cuerda de ataque (optativa), con la maquinaria de ataque ubicada en la parte delantera central del bastidor rotatorio; consiste en el motor, freno, tambor y engranajes. Se utilizan cuerdas de ataque y retracción recubiertas de plástico para mover longitudinalmente la manija de la draga.

Especificaciones de la Pala de Cuerda Eléctrica 7495 HF

Dimensiones: con HydraCrowd

Todas las dimensiones son aproximadas.



Alcances de trabajo óptimos

1 Altura de descarga	10,06 m	33'
2 Altura de descarga con límite máximo de avance eléctrico	8,61 m	28' 3"
3 Radio máximo de descarga	21,64 m	71'
4 Altura máxima de corte	17,8 m	58' 5"
5 Radio máximo de corte	25,2 m	82' 8"
6 Radio del nivel del piso	17,47 m	57' 4"
7 Altura del espacio libre (plumas de punto de polea)	20,87 m	68' 6"
8 Radio del espacio libre (plumas de punto de polea)	19,65 m	64' 5"
9 Radio máximo de espacio libre (bastidor rotatorio)	9,34 m	30' 8"
10 Espacio libre bajo el bastidor (al suelo)	3,76 m	12' 4"
11 Altura del bastidor en A	14 m	46'
12 Ancho total	13,96 m	46' 1"
13 Espacio libre bajo el punto más bajo en el bastidor del camión o caja de engranajes de propulsión	0,90 m	2' 11,5"
14 Nivel de la visión del operador	10,61 m	34' 10"

Dimensiones: con cuerda de ataque

Carga útil de la draga (cargas útiles disponibles de hasta 109 tons métricas [120 tons EE.UU.] cuando se especifica)	100 tons métricas	110 tons EE.UU.
Capacidad de la draga	30,6 a 61,2 m ³	40 a 80 yd ³
Largo de la pluma	20,4 m	67'
Longitud real de la manija de la draga	10,9 m	35' 10"
Longitud total de la manija de la draga	14,3 m	47'

Pesos: con cuerda de ataque

Peso de trabajo, con draga y varillaje estándar	1.429.120 kg	3.150.670 lb
Peso neto, interno, sin lastre ni draga	1.045.902 kg	2.305.820 lb
Draga de uso general: 56 m ³ (73 yd ³)	80.603 Kg	177.700 lb
Lastre (proporcionado por el cliente)	302.614 kg	667.150 lb

• Estos pesos varían ligeramente según la draga y los equipos optativos.

Estructuras principales: con cuerda de ataque

Montaje de la oruga		
Ancho total de rodaduras 317,5 cm (125"), estándar	12,73 m	41' 9"
Longitud total de montaje	11,43 m	37' 6"
Ancho total de rodaduras 355,6 cm (140")	13,5 m	44' 3"
Área real total de cojinete (rodaduras de 317,5 cm)	57,13 m ²	615 pies ²
	245 kPa	35,6 lb/pulg ²
Área real total de cojinete (rodaduras de 355,6 cm)	64 m ²	689 pies ²
	219 kPa	31,8 lb/pulg ²
Número y diámetro de los rodillos		
Inferiores: 16	79,4 cm	31,25"
Inferiores traseros: 2	106,7 cm	42"
Superiores	Deslizante	
Diámetro de los tambores de recepción	162 cm	63,8"
Número y paso de las rodaduras: 94	50,8 cm	20"
Propulsión planetaria		
Impulsión independiente de motor doble		
Bastidor rotatorio (sección central)		
Acero soldado resistente a impactos		
Longitud	8,38 m	27' 6"
Ancho	3,68 m	12' 1"
Soporte glotorio		
Diámetro efectivo de la cremallera de rotación con aro de aleación de acero forjado	5,26 m	17' 3"
Corte externo de los dientes: cara	24,13 cm	9,5"
Diámetro de los rieles del rodillo cónico de aleación de acero forjado	4,52 m	14' 10"
Cantidad de rodillos cónicos	50	
Diámetro de los rodillos cónicos	27,31 cm	10,75"
Oscilación		
Dos cajas de engranajes planetarios, cada cual impulsada por un motor de montaje vertical, a cada lado del bastidor rotatorio. Los ejes del piñón de salida doble de cada caja de engranajes se conectan con la cremallera de rotación.		
Dispositivo de levantamiento		
Una caja de engranajes planetarios con piñones de salida doble proporciona la transferencia del par del dispositivo de levantamiento desde el motor eléctrico hasta el engranaje del tambor del dispositivo de levantamiento.		

ANEXO F

SISTEMAS DE LUBRICACION

ELECTRO-LUBE MD 2000 MODELO 500

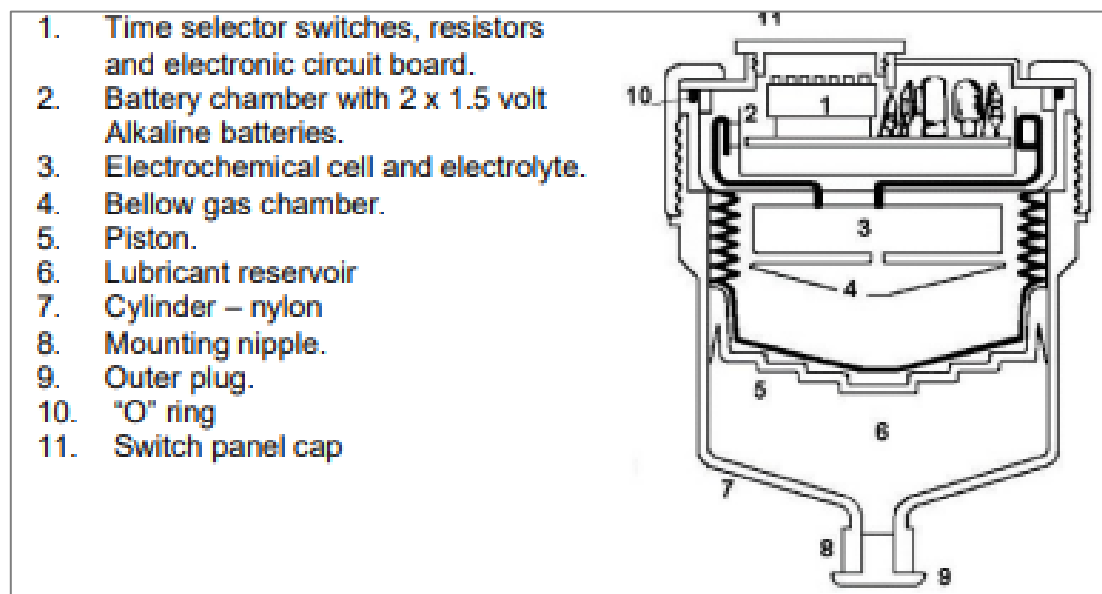
Electro-Luber

Principio de Funcionamiento

Cuando se gira uno o una combinación de los interruptores selectores a la posición de encendido, se activa una celda de reactor electroquímico, lo que inicia una reacción mediante la cual la energía eléctrica se convierte en gas nitrógeno. Este gas queda atrapado en una cámara de gas tipo fuelle, la cual está herméticamente sellada.

A medida que se produce el gas, este genera una presión interna, que se aplica contra un pistón. El movimiento del pistón, a su vez, fuerza la salida del lubricante desde el cilindro hacia el punto de lubricación.

La intensidad de la corriente eléctrica determina la cantidad de gas producido, lo que regula directamente la tasa de flujo del lubricante y controla el tiempo durante el cual funcionará el ELECTRO-LUBER™.



Información General

Cada ELECTRO-LUBER™ se suministra con una tapa de interruptor resistente a la intemperie, equipada con una junta tórica, la cual debe instalarse y ajustarse en todos los casos. Esta tapa actúa como protección contra la humedad y las condiciones ambientales, y es fundamental para garantizar la clasificación de seguridad intrínseca frente a la humedad.

Para asegurar una instalación exitosa del ELECTRO-LUBER™, no debe utilizarse en temperaturas inferiores a -40°F (-40°C) ni superiores a 131°F (55°C), ni en aplicaciones que requieran más de 50 PSI de presión. Es importante destacar que el ELECTRO-LUBER™ es un lubricador de punto único y no está diseñado para alimentar más de un rodamiento.

Siempre que sea posible, instale el ELECTRO-LUBER™ directamente sobre el componente o cojinete. El equipo cuenta con roscas NPT de 1/2", y para su montaje en rodamientos con diferentes tamaños de rosca se deben utilizar adaptadores de plomería estándar o adaptadores específicos disponibles a través de ATS ELECTRO-LUBER™.

Para instalaciones remotas, si se utiliza grasa, se recomienda usar un máximo de 3 pies (aproximadamente 0.91 metros) de tubería, con un diámetro interno de 1/4" o 3/8". En caso de usar aceite como lubricante, la longitud de la línea puede ser de hasta 15 pies, siempre asegurándose que los lubricadores llenos de aceite estén montados con la salida orientada hacia arriba para evitar el drenaje del lubricante.

Si, por razones operativas, se deben montar lubricadores llenos de aceite con la salida orientada hacia abajo, estos deben utilizarse en combinación con una válvula de retención de baja presión para garantizar su correcto funcionamiento.

Se debe tener en cuenta que los lubricadores de alta temperatura, con clasificación NLGI 2, tienden a endurecerse a bajas temperaturas, lo que puede impedir su correcta dispensación. Para aplicaciones en condiciones de baja temperatura, se deben utilizar lubricantes de tipo LowTemp, con clasificación NLGI 0 o 1.

Como buena práctica, se recomienda purgar el rodamiento en cada cambio de lubricador. Si se utilizan racores o conductos de grasa, estos también deben llenarse previamente con el mismo tipo de lubricante para garantizar la integridad del sistema. Asimismo, es necesario realizar inspecciones periódicas para verificar el libre flujo de lubricante durante toda la vida útil del producto.

Los ELECTRO-LUBER™ llenos de lubricante tienen una vida útil de 1 año, con una vida útil máxima total de 2 años. Sin embargo, esto puede variar dependiendo del tipo de grasa utilizada, ya que cada formulación de grasa puede comportarse de manera diferente y separarse con el tiempo.

Para su eliminación, los lubricadores deben ser tratados como residuos peligrosos, siguiendo las normativas y regulaciones ambientales vigentes en su localidad.

Advertencia: Espere al menos 30 segundos después de retirar la tapa del interruptor para permitir la ventilación adecuada del compartimento de la batería.

El B-SWITCH (Booster Switch) está diseñado para incrementar la velocidad de funcionamiento de la unidad en un 5%. Este interruptor puede permanecer encendido durante todo el periodo de ajuste, según sea necesario.

PROCEDIMIENTO DE INICIO

En cada instalación, se debe utilizar una pistola de engrase manual, aplicando el mismo tipo de grasa que se usará en el sistema, para realizar algunas inyecciones iniciales de lubricante en el punto de aplicación.

Una vez realizado este paso, seleccione el tiempo de dispensación y la cantidad de lubricante requerida, luego active el interruptor o los interruptores correspondientes. Esta acción cierra el circuito eléctrico e inicia la generación de gas dentro del sistema. Además, debe activarse el interruptor de la luz LED. La luz LED comenzará a parpadear de inmediato y continuará haciéndolo aproximadamente cada 15 a 20 segundos, siempre que el circuito permanezca cerrado. El parpadeo constante de la luz LED confirma que el sistema está funcionando correctamente.

En el caso del ELECTRO-LUBER™, una vez cerrado el circuito, existe un retraso inicial antes de que se genere suficiente gas para comenzar a mover el pistón. Es importante tener en cuenta que cuanto mayor sea el periodo de dispensación seleccionado, mayor será el tiempo de espera inicial.

Si se requiere una lubricación continua e ininterrumpida, se recomienda realizar un prearranque del ELECTRO-LUBER™ durante 12 horas, manteniendo todos los interruptores en la posición ON. Una vez transcurrido este tiempo, debe regresar todos los interruptores a la posición OFF, excepto aquellos correspondientes a la tasa de dispensación elegida.

Si no “prearranque” el tiempo de retraso será



Time Delay to Dispense					
Month switch Setting	1 mo	2 mo	3mo	6 mo	12 mo
Delay in Hours To Start	18-24	40-48	60-70	120-140	240-280

PROCEDIMIENTO DE OPERACIÓN

Si desea aumentar o disminuir la tasa de dispensación de lubricante durante las operaciones, simplemente coloque el interruptor en uso en la posición APAGADO y luego seleccione la nueva configuración deseada del interruptor.

Para apagar el ELECTRO-LUBER™ durante los periodos de inactividad, debe colocar todos los interruptores, incluido el interruptor “LITE”, en la posición APAGADO.

No es necesario apagar el lubricador antes de desecharlo. Para su eliminación, simplemente retírelo del cojinete y deséchelo junto con otros productos grasos

usados. No obstante, si se retira un ELECTRO-LUBER™ mientras está en funcionamiento, este continuará descargando lubricante hasta que el gas expandible dentro de la cámara alcance el punto de equilibrio. En un rodamiento sin contrapresión, no se producirá ninguna descarga.

La inspección de mantenimiento adecuada es fundamental para garantizar un uso seguro. El ELECTRO-LUBER™ incorpora un generador de gas que puede generar presiones internas de hasta 100 PSI G. Si la presión excede este valor y el lubricante no fluye libremente, existe el riesgo de que el conjunto superior se separe de la unidad.

Para evitar esta situación, es indispensable asegurarse de que el lubricante fluya sin obstrucciones, lo que debe verificarse durante las inspecciones de mantenimiento observando el movimiento del pistón naranja.

El uso del producto fuera de los parámetros establecidos en esta hoja de instrucciones, incluyendo, entre otros aspectos, cualquier obstrucción en los rodamientos que impida el flujo libre del lubricante, puede provocar una acumulación excesiva de presión interna. Esta condición podría ocasionar la explosión de la parte superior de la unidad, con el consecuente riesgo de lesiones corporales graves.

PROCEDIMIENTO DE OPERACIÓN

Si se desea aumentar o disminuir la tasa de dispensación de lubricante durante las operaciones, simplemente debe colocar el interruptor en uso en la posición de apagado y, posteriormente, seleccionar la nueva configuración deseada del interruptor.

Para apagar el ELECTRO-LUBER™ durante los periodos de inactividad, es necesario colocar todos los interruptores, incluido el interruptor “LITE”, en la posición de apagado.

No es necesario apagar el lubricador antes de desecharlo junto con otros productos de lubricación usados. Sin embargo, si se retira un ELECTRO-LUBER™ durante su funcionamiento, continuará descargando lubricante hasta que el gas expandible en la cámara interna alcance el punto de equilibrio. En el caso de un rodamiento sin contrapresión, no se producirá ninguna descarga de lubricante.

Es fundamental realizar inspecciones de mantenimiento adecuadas para garantizar el uso seguro del equipo. El ELECTRO-LUBER™ cuenta con un generador de gas

integrado, el cual puede generar una presión interna de hasta 100 PSI. Si se supera este límite y el lubricante no fluye libremente, existe el riesgo de que el conjunto superior de la unidad se desprenda.

Para evitar este tipo de incidentes, es imprescindible asegurarse de que el lubricante fluya sin obstrucciones. Durante las inspecciones de mantenimiento, debe verificarse el movimiento del pistón naranja, lo que indica que el sistema está operando correctamente.

El uso del ELECTRO-LUBER™ fuera de los parámetros establecidos en esta hoja de instrucciones, incluyendo, pero no limitándose a, obstrucciones en los rodamientos que impidan el libre flujo del lubricante, puede generar una acumulación excesiva de presión interna. Esta situación puede provocar la separación de la parte superior de la unidad, con el consiguiente riesgo de explosión y lesiones corporales graves.

NOTA: Los lubricantes dispensados por este equipo deben tener puntos de inflamación superiores a 200°F

Manual Lubrication Schedule	MICRO-LUBER Setting		MINI-LUBER Setting		BUDGET-LUBER Setting		JUMBO-LUBER Setting	
	Unit Life	Switch Setting	Unit Life	Switch Setting	Unit Life	Switch Setting	Unit Life	Switch Setting
Daily lubrication 3 – 4 strokes	.5 month		1 month		2 months		4 months	
2–3 day lubrication 3 – 4 strokes	1 month		2 months		4 months		8 months	
Weekly lubrication 8 – 10 strokes	1.5 months		3 months		6 months		12 months	
Bi-week lubrication 8-10 strokes	3 months		6 months		12 months			
Monthly lubrication 8-10 strokes	6 months		12 months					

NOTA: Para las unidades anteriores, se pueden vaciar en 2 semanas colocando todos los interruptores DIP en la posición “ON”

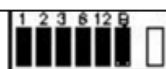
Una regla de oro para la configuración de interruptores

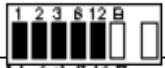
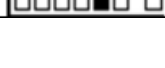
Esta tabla proporciona una guía general para seleccionar los ajustes de interruptores y las tasas de salida de lubricante más adecuadas para algunas aplicaciones básicas. Sin embargo, al determinar la configuración óptima para su entorno operativo, deben considerarse múltiples variables adicionales. En zonas con alta contaminación o donde se realizan lavados frecuentes con agua a presión, generalmente se recomienda un ligero incremento en el caudal de lubricante para garantizar una protección adecuada de los componentes.

Los ajustes indicados en la tabla están basados en condiciones ambientales promedio, específicamente una temperatura de 68°F (20°C). Para utilizar su ELECTRO-LUBER™ en otros rangos de temperatura, consulte la tabla de calibración específica que se presenta en la página siguiente.

Dado que en los entornos operativos reales pueden existir numerosas variables que afectan el comportamiento del equipo, esta tabla debe utilizarse únicamente como una referencia orientativa para seleccionar la configuración más adecuada del interruptor.

Es fundamental tener presente que se debe evitar en todo momento la sobrelubricación, ya que un exceso de lubricante puede comprometer el funcionamiento óptimo de los equipos.

Bearing Shaft Size	MICRO-LUBER	
	Switch Setting	Days to Empty
4" to 4 3/4"		15
3 1/4" to 4"		30
2 3/4" to 3 1/4"		45
2 1/4" to 2 3/4"		90
1 3/4" to 2 1/4"		120

Bearing Shaft Size	MINI-LUBER	
	Switch Setting	Days to Empty
4 3/4" to 6 1/2"		15
4" to 4 3/4"		30
3 1/4" to 4"		60
2 3/4" to 3 1/4"		90
2 1/4" to 2 3/4"		180
1 3/4" to 2 1/4"		360

Bearing Shaft Size	BUDGET-LUBER	
	Switch Setting	Days to Empty
4 3/4" to 6 1/2"		30
4" to 4 3/4"		60
3 1/4" to 4"		120
2 3/4" to 3 1/4"		180
2 1/4" to 2 3/4"		360

Bearing Shaft Size	JUMBO-LUBER	
	Switch Setting	Days to Empty
12 to 14 3/4"		20
10 3/4" to 12"		30
8 1/2" to 10 3/4"		60
6 1/2" to 8 1/2"		90
4" to 6 1/2"		120
2 3/4" to 4"		360

Ajuste por variación de temperatura

La velocidad de dispensación de ELECTRO-LUBER™ se calcula a 20° C al nivel del mar y 14,7 PSI/G. sin embargo, a medida que sube la temperatura, la velocidad de

dispensación AUMENTA A medida que la temperatura BAJA, la velocidad de dispensación DISMINUYE. Para calcular la velocidad de dispensación del dispensador ELECTRO-LUBE TM A temperatura medias más altas o más baja, consulte la siguiente tabla y aplique el factor de tablas en la última página.

		°F	°C	FACTOR	
Red Ring MOST EFFECTIVE OPERATING TEMPERATURES	Blue Ring MOST EFFECTIVE OPERATING TEMPERATURES	+131°	+55°	+35%	Standard dispenser – maximum working life 90 days at 55° C (131° F)
		+113°	+45°	+30%	
		+104°	+40°	+20%	
		+95°	+35°	+15%	EXAMPLE 1 A "30 day" unit installed at 40° C will empty 20% faster (24 day discharge).
		+86°	+30°	+10%	
		+77°	+25°	+5%	
		+68°	+20°	Stable	
		+59°	+15°	-5%	EXAMPLE 2 A "30 day" unit installed at -30° C has a 50% dispensing rate loss (45 day discharge).
		+50°	+10°	-10%	
		+41°	+5°	-15%	
		+32°	0°	-20%	
		+23°	-5°	-25%	Standard dispensing will function normally to a temperature of -40° C (-40° F).
		+14°	-10°	-30%	
		+3.2°	-16°	-35%	
		-4.0°	-20°	-40%	
		-14.8°	-26°	-45%	
		-22°	-30°	-50%	
		-32.8°	-36°	-55%	
		-40°	-40°	-60%	

AJUSTE DE ALTITUD

ELECTRO-LUBER TM funciona de manera normal a altitudes de hasta 1000 pies msnm. La velocidad de dispensación aumentará por encima 1000 pies debido a la presión atmosférica reducida, por ejemplo, a 2000 pies, la velocidad de descarga será un 10% mas rápida. Por cada 1000 adicionales pies de altitud, la tasa de descarga aumentara en un 5% adicional. Para aplicaciones en elevaciones elevadas, solicite instrucciones especiales.

SELECCIÓN DE LA CONFIGURACION DEL INTERRUPTOR

Un golpe de una pistola de engrase típica equivale aproximadamente a un centímetro cúbico (cc) de lubricante. Para seleccionar el ajuste de interruptor adecuado en función de la aplicación, primero debe identificarse la fila correspondiente a la temperatura ambiente aproximada. En aplicaciones donde la temperatura fluctúa, se recomienda tomar el promedio entre la temperatura máxima y mínima del entorno operativo.

Una vez determinada la fila de temperatura, se debe ubicar en la columna correspondiente la cantidad deseada de lubricante a dispensar, recordando que 1 cc

equivale aproximadamente a un golpe de pistola engrasadora. Finalmente, la configuración apropiada del interruptor se encuentra en la columna ubicada en el extremo izquierdo de la tabla de calibración.

MINI-LUBER™ (125cc)

	+14°F		+32°F		+50°F		+68°F		+77°F		+86°F		+95°F		+113°F		+131°F	
Switch settings	Daily output cc's	Days until empty	Daily output cc's	Days until empty	Daily output cc's	Days until empty	Daily output cc's	Days until empty	Daily output cc's	Days until empty	Daily output cc's	Days until empty	Daily output cc's	Days until empty	Daily output cc's	Days until empty	Daily output cc's	Days until empty
All	6.0	20	6.8	18	7.7	16	8.5	14.2	8.9	13	9.4	13	9.8	12	10.6	11	11.1	11
1	2.8	43	3.2	38	3.6	33	4.0	30	4.2	29	4.4	27	4.6	26	5.0	24	5.2	23
2	1.4	86	1.6	75	1.8	67	2.0	60	2.1	57	2.2	55	2.3	52	2.5	48	2.6	46
3	0.9	129	1.1	113	1.2	100	1.33	90	1.4	86	1.5	82	1.5	78	1.7	72	1.7	69
6+12	0.7	171	0.8	150	0.9	133	1.0	120	1.1	114	1.1	109	1.2	104	1.3	96	1.3	92
6+B	0.6	190	0.7	167	0.8	148	0.9	133	0.9	127	1.0	121	1.0	116	1.1	107	1.2	103
6	0.5	256	0.5	224	0.6	199	0.67	180	0.7	171	0.7	163	0.8	156	0.8	143	0.9	136
12+B	0.4	343	0.4	300	0.5	267	0.5	240	0.5	229	0.6	218	0.6	209	0.6	192	0.7	185
12	0.2	519	0.3	455	0.3	404	0.33	360	0.3	346	0.4	331	0.4	316	0.4	291	0.4	280

BUDGET-LUBER™ (250cc)

	+14°F		+32°F		+50°F		+68°F		+77°F		+86°F		+95°F		+113°F		+131°F	
Switch settings	Daily output cc's	Days until empty	Daily output cc's	Days until empty	Daily output cc's	Days until empty	Daily output cc's	Days until empty	Daily output cc's	Days until empty	Daily output cc's	Days until empty	Daily output cc's	Days until empty	Daily output cc's	Days until empty	Daily output cc's	Days until empty
All	12.5	20	13.9	18	15.6	16	17.4	14.2	19.0	13	19.2	13	20.6	12	22.0	11	22.7	11
1	5.8	43	6.6	38	7.6	33	8.3	30	8.6	29	9.3	27	9.6	26	10.4	24	10.8	23
2	2.9	86	3.3	75	3.7	67	4.1	60	4.4	57	4.5	55	4.8	52	5.2	48	5.4	46
3	1.9	129	2.2	113	2.5	100	2.7	90	2.9	86	3.0	82	3.2	78	3.5	72	3.6	69
6+12	1.5	171	1.7	150	1.9	133	2.0	120	2.2	114	2.3	109	2.4	104	2.6	96	2.7	92
6+B	1.3	190	1.5	167	1.7	148	1.8	133	2.0	127	2.1	121	2.2	116	2.3	107	2.4	103
6	1.0	256	1.1	224	1.3	199	1.3	180	1.5	171	1.5	163	1.6	156	1.7	143	1.8	136
12+B	0.7	343	0.8	300	0.9	267	1.0	240	1.1	229	1.1	218	1.2	209	1.3	192	1.4	185
12	0.5	519	0.6	455	0.6	404	0.7	360	0.7	346	0.8	331	0.8	316	0.9	291	0.9	280

ULTIMATE LUBER™ (500cc)

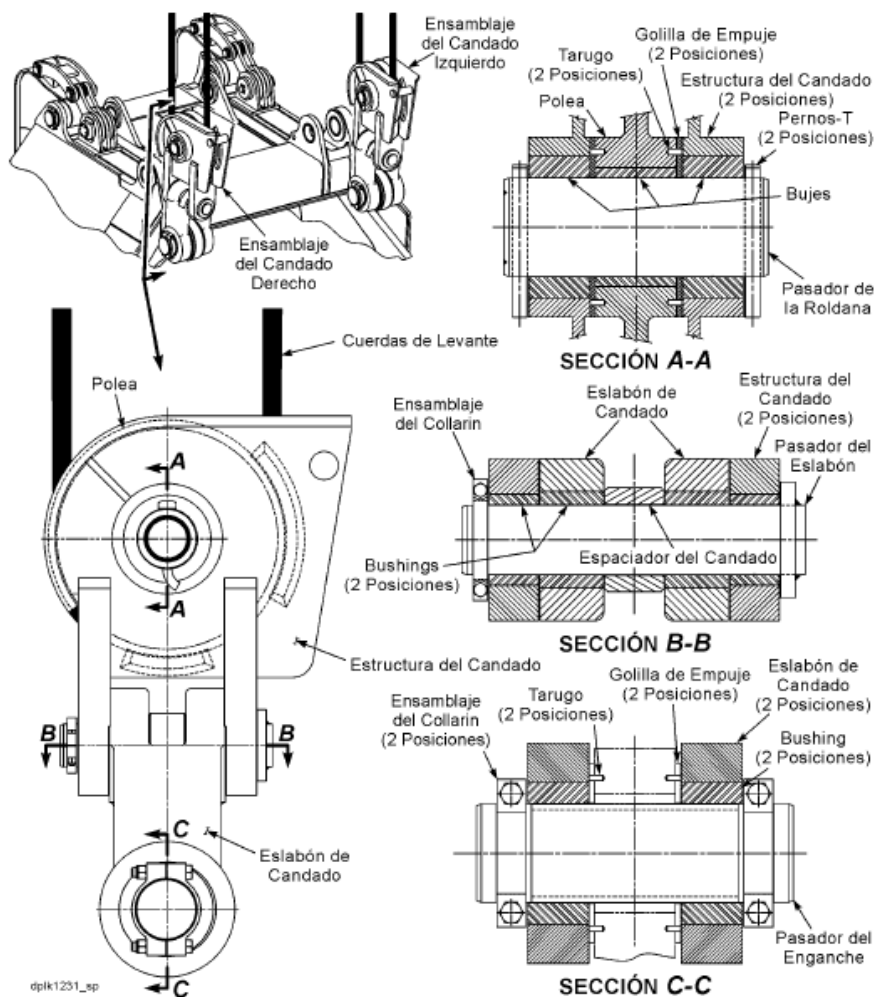
	+14°F		+32°F		+50°F		+68°F		+77°F		+86°F		+95°F		+113°F		+131°F	
Switch settings	Daily output cc's	Days until empty	Daily output cc's	Days until empty	Daily output cc's	Days until empty	Daily output cc's	Days until empty	Daily output cc's	Days until empty	Daily output cc's	Days until empty	Daily output cc's	Days until empty	Daily output cc's	Days until empty	Daily output cc's	Days until empty
All	22.3	20	25.5	18	28.7	16	31.8	14.2	33.5	13	35.1	13	36.7	12	39.8	11	43.5	10
1	10.5	43	12.0	37	13.5	33	15.0	30	15.8	28	16.5	27	17.3	26	18.8	24	20.5	22
2	5.3	85	6.0	74	6.8	66	7.5	60	7.9	57	8.3	54	8.6	52	9.4	48	10.2	44
3	3.5	128	4.0	112	4.5	99	5.0	90	5.3	85	5.5	81	5.8	78	6.3	71	6.8	65
6+12	2.6	171	3.0	150	3.4	133	3.7	120	3.9	114	4.1	109	4.3	104	4.7	96	5.1	88
6+B	2.4	190	2.7	166	3.0	148	3.4	133	3.5	127	3.7	121	3.9	116	4.2	106	4.6	97
6	1.8	255	2.0	223	2.3	198	2.5	180	2.6	170	2.8	162	2.9	155	3.1	143	3.4	131
12+B	1.3	337	1.5	295	1.7	262	1.9	240	2.0	225	2.1	214	2.2	205	2.4	189	2.6	173
12	0.9	510	1.0	447	1.1	397	1.25	360	1.3	340	1.4	325	1.4	311	1.6	286	1.7	262

ANEXO G

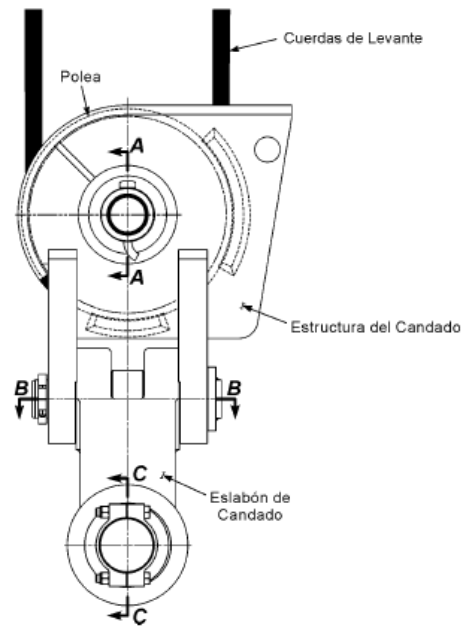
Manual para cambio de Pines y bocinas.

Técnica de remplazo de bocinas y Pines de los Padlocks

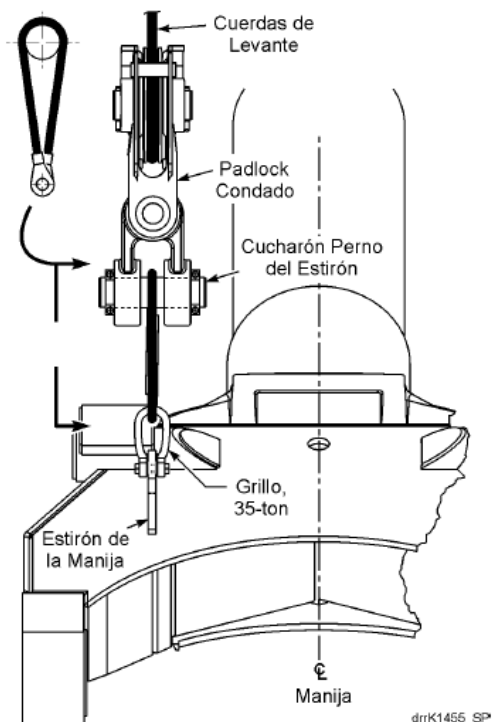
Poner el balde en el suelo. Quitar los límites y la suficiente tensión de las cuerdas de levante de manera de retirar el peso del pin del enganche del balde, pero tampoco aflojar tanto para que el peso del candado no repose en el pasador.



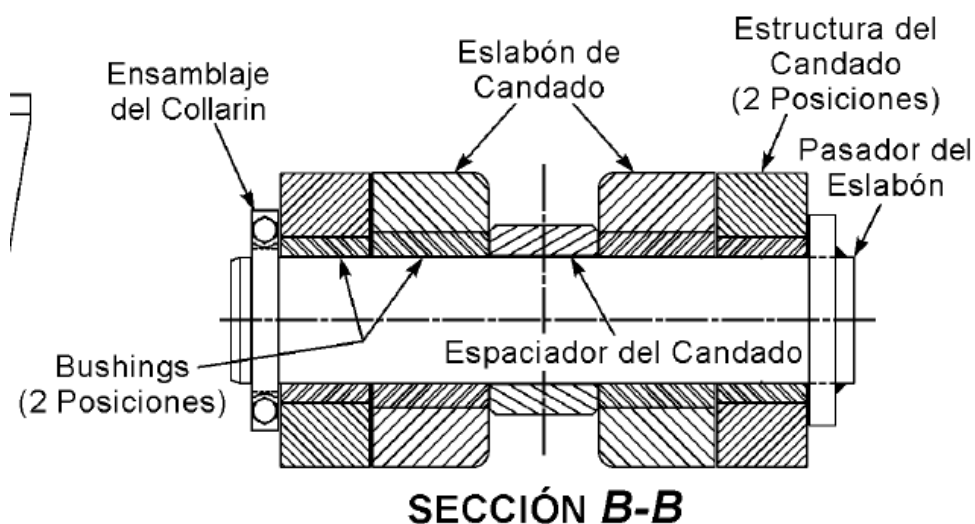
Retirar el collarín de mordaza del pasador de enganche, según se muestra en la Sección CC.



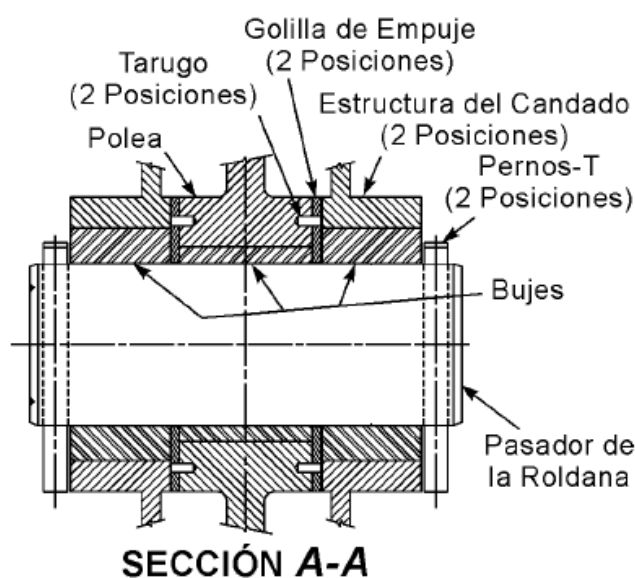
Retirar el pasador de enganche (aproximadamente 450 libras) con un adecuado aparato para jalar. Utilizar las cuerdas de levante, levantar el padlocks del enganche del padlock del balde y bajar el candado al suelo. Retirar las golillas de empuje y las espigas del enganche.



Retirar el collarín de mordaza del pin del eslabón, según se muestra en la Sección B-B.



Golpear el extremo del collarín de mordaza con bastante fuerza de manera de exponer bastante el pin del eslabón para asegurar un adecuado aparato para jalar. Retire el pin del eslabón (aproximadamente 267 Lbs.) del marco del padlock y el eslabón. Retirar las bocinas del eslabón y del marco inferior del padlock. Las bocinas tienen un ajuste de interferencia. Soportar el marco del padlock y la polea. Retirar los tornillos - T que retienen el pin de la polea del padlock, según se muestra en la Sección A - A.



Retirar el pin de la polea (aproximadamente 366 Lbs.) con un apropiado aparato para jalar. Por medio de dispositivo de elevación apropiado, levante la polea del padlock desde su receptáculo. Quite los pines y las arandelas de empuje de la polea. Retirar la cuerda de levante de la polea. Retirar las bocinas

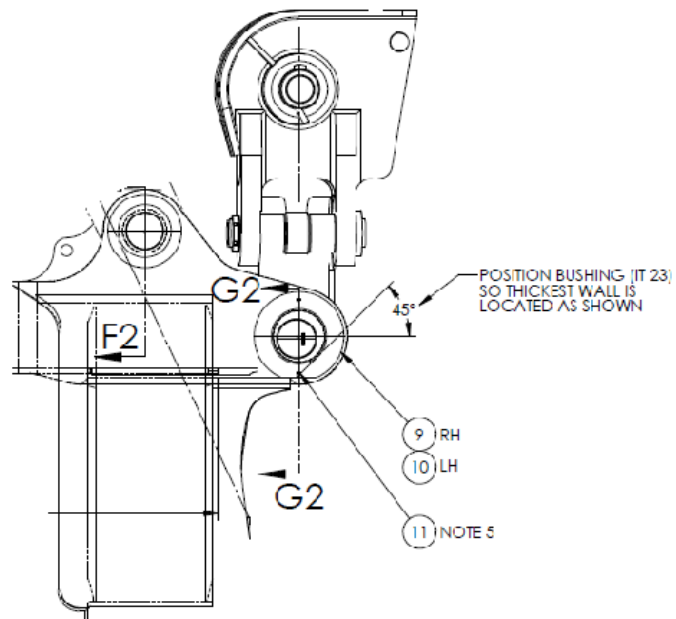
del pin de la polea y del marco. Las bocinas tienen un ajuste de interferencia. Limpiar e inspeccionar todas las partes. Reparar o reemplazar todas las partes que estén dañadas o gastadas.



Volver a armar al revés el desmontaje. Asegurar que todas las espigas estén al ras, o bajo de la superficie de las golillas de empuje. Cambiar las bocinas dañadas con el sistema de enfriamiento usando el nitrógeno líquido.



El montaje de las bocinas deberá quedar en la parte superior la dimensión más ancha, el cual quedará con un Angulo de 45° hacia la parte superior.



Los pines de polea y los pines del enganche son del mismo tamaño, pero tienen diferentes herrajes que se adjuntan. Asegurar durante el montaje que sean reemplazados en la ubicación apropiada.

ANEXO H

Posible Instalación del sistema



Figura 31: Caja de lubricación de los Padlocks



Figura 32: Líneas de manguera de los Padlocks

Desde una bomba de grasa a pistones, alimentada por una batería de 6V y controlada por un microprocesador que regula el tiempo de dispensación, se gestiona la dosificación de los 500 cc de grasa contenidos en el depósito. La grasa es transportada a través de una manguera de alta presión de $\frac{1}{4}$ de pulgada, con una capacidad máxima de 2000 PSI, hacia los pines y bocinas de los padlocks. La grasa ingresa a través de orificios de $\frac{1}{4}$ de pulgada, distribuyéndose posteriormente mediante los canales internos de lubricación de la bocina, asegurando una lubricación eficiente y continua en los puntos críticos del sistema.

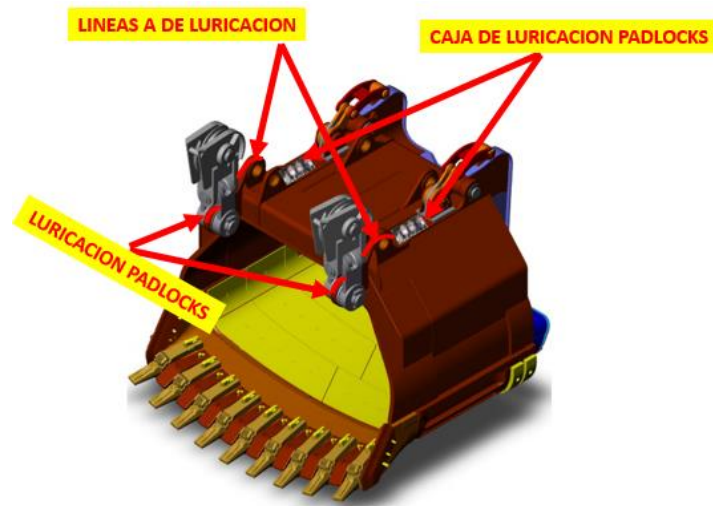


Figura 33: Ubicación de los componentes del sistema de lubricación

La única línea de grasa que sale al exterior de la cuchara estará protegida con un perfil de acero contra choques de piedras en el proceso de carguío.

El buje a utilizar será fabricado con canales de lubricación que darán paso a la grasa que lubricará el pin para así poder evitar el desgaste prematuro por el contacto metal-metal que se produce.