

**Automatización del sistema de lubricación de feeder breakers en el Load out 3-Mina
Drummond**

Lina Marcela Romero Chedraui

Alexander Vergel Osma

Director

Oscar Camilo Fuentes Amin

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD
Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería ECBTI
Tecnología en Automatización Electrónica Industrial

2025

Dedicatoria

Dedicamos este proyecto a nuestras familias, quienes nos han brindado su apoyo, comprensión y motivación durante todo este proceso.

Agradecimientos

Agradecemos el trabajo en equipo que construimos durante este proyecto. Valoramos el compromiso, respeto y apoyo mutuo que nos permitió avanzar y superar cada reto juntos.

Resumen

Este proyecto propone la automatización del sistema de lubricación de los Feeder Breakers en el Load Out 3 de la mina Drummond, que anteriormente se realizaba de manera manual. El sistema automatizado se compone de cuatro elementos principales: un circuito de control eléctrico, una unidad de mantenimiento para garantizar aire limpio y seco, un tanque de grasa con bomba, solenoides y manómetros, y un conjunto de inyectores para la dosificación precisa del lubricante. El desarrollo del proyecto incluyó el diseño e implementación del sistema de automatización, utilizando un PLC existente como unidad de control. Se programó en lenguaje escalera con el software Studio 5000 Logix Designer y se elaboraron los planos eléctricos en AutoCAD. La instalación en campo abarcó componentes eléctricos y neumáticos, como sensores, solenoides, selectores y cableado. Posteriormente, se realizaron pruebas funcionales para validar la correcta operación del sistema y su integración con SCADA.

Desde su implementación, el sistema de lubricación automatizada redujo el tiempo de lubricación en un 75%, lo que contribuyó a una mayor eficiencia operativa. Este avance fue clave para facilitar el mantenimiento predictivo, reduciendo la intervención humana y garantizando la lubricación adecuada de los rodamientos críticos. Como resultado, se mejoró la disponibilidad del sistema de carga de trenes y se minimizó el tiempo de inactividad.

Palabras clave: Mantenimiento predictivo, Eficiencia operativa, Confiabilidad, PLC, Automatización industrial.

Abstract

It presents the design and implementation of an automated lubrication system for the feeder breakers at Load Out 3 of the Drummond mine, which was previously carried out manually. The automated system consists of four main components: an electrical control circuit, air maintenance unit FR type (filter + regulator), a grease tank with a pump, electrically actuated solenoid valves and pressure sensors, and a set of injectors for precise grease dosing. The project development included the design and implementation of the automation system, using an existing PLC as the control unit. Programming was done in ladder logic using Studio 5000 Logix Designer software, and the electrical schematics were created in AutoCAD. Field installation covered both electrical and pneumatic components, such as sensors, solenoids, selectors, and wiring. Functional tests were then conducted to validate the proper operation of the system and its integration with SCADA.

Since its implementation, the automated lubrication system reduced lubrication time by 75%, contributing to improved operational efficiency. the operation of the Load Out 3 feeder breakers. This advancement was key to enabling predictive maintenance by reducing human intervention and ensuring proper lubrication of critical bearings. As a result, the availability of the train loading system has improved, and downtime has been minimized.

Keywords: Predictive Maintenance, Operational efficiency, Reliability, PLC, Industrial automation.

Tabla de Contenido

Introducción	11
Planteamiento del Problema	12
Justificación	13
Objetivos	14
Objetivo General	14
Objetivos Específicos.....	14
Marco de Referencia.	15
Estado del Arte.....	15
Marco Contextual.....	20
Marco Teórico.....	21
Automatización Industrial.....	21
Sistemas de Lubricación	21
Mantenimiento Predictivo.....	22
Lubricante Utilizado: Mobil Grease XHP 462	22
Eficiencia Energética del Sistema.....	23
Marco Conceptual	24
Feeder Breaker	24
Sistema de Lubricación Automática	24
Lubricante Mobil Grease XHP 462	24
PLC (Controlador Lógico Programable)	24
Lenguaje Escalera (Ladder Diagram)	25
Sistema SCADA	25

Mantenimiento Predictivo.....	25
Marco Normativo.....	25
Metodología.....	27
Tipo de Investigación.....	27
Enfoque de la Investigación.....	27
Diseño de la Investigación.....	27
Población.....	27
Fuente de Información.....	28
Método para la Recolección de Información.....	28
Validez y Confiabilidad.....	28
Fases del Desarrollo.....	28
Resultados.....	31
Identificar las Deficiencias del Sistema de Lubricación Manual Actual en los Feeder Breakers del Load Out.....	31
Situación Inicial – Lubricación Manual.....	31
Consumo Estimado Bajo Sistema Manual.....	35
Revisión de Tiempo Down Mecánicas Asociadas a la Lubricación Manual en los Feeder Breakers.....	36
Desarrollar un Sistema Automatizado de Lubricación que Optimice el Ciclo de Lubricación de los Componentes en los Feeder Breakers.....	39
Recolección de Requisitos.....	39
Diseño del Sistema.....	41
Implementación.....	49

Verificación	50
Entrega y Documentación.....	52
Comparar el Rendimiento entre el Sistema de Lubricación Manual Versus el sistema Automatizado en los Feeder Breakers	52
Lubricación Manual	53
Conclusiones	59
Recomendaciones	60
Referencias Bibliográficas	61

Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Revisión de Tipo de Falla</i>	36
Tabla 2 <i>Down Time</i>	37
Tabla 3 <i>Lubricación Manual</i>	53
Tabla 4 <i>Lubricación Automática</i>	53
Tabla 5 <i>Resultado 1 Sobre el Consumo de Grasa en la Lubricación Manual</i>	55
Tabla 6 <i>Sistema Automatizado – Estrategia Actual</i>	57

Lista de Figuras

Figura 1 <i>Lubricante Mobil XHP 462</i>	23
Figura 2 <i>Fases del Proyecto</i>	30
Figura 3 <i>Eje de Cabeza</i>	31
Figura 4 <i>Eje de Cola</i>	32
Figura 5 <i>Eje de Roll Pick</i>	32
Figura 6 <i>Sistema de Lubricación Neumatico Manual</i>	33
Figura 7 <i>Pistola de Engrase Manual</i>	34
Figura 8 <i>Lubricación Manual</i>	34
Figura 9 <i>Down Time Load Out 3</i>	37
Figura 10 <i>Unidad de Mantenimiento</i>	39
Figura 11 <i>Tanque, Bomba, Solenoide, Manómetros</i>	40
Figura 12. <i>Inyectores</i>	40
Figura 13 <i>Bomba</i>	41
Figura 14 <i>Diagrama Eléctrico</i>	43
Figura 15 <i>Diagrama de Flujo</i>	44
Figura 16 <i>Diagrama Ladder</i>	45
Figura 17 <i>SCADA</i>	48
Figura 18 <i>Tiempo de Lubricación Manual / Automática</i>	54
Figura 19 <i>Consumo de Lubricación Manual</i>	55
Figura 20 <i>Consumo Lubricación Automática</i>	57
Figura 21 <i>Consumo Lubricación Manual /Automática</i>	58

Introducción

En la industria minera, particularmente en la extracción y manejo de carbón, los equipos de transporte y procesamiento son fundamentales para garantizar la continuidad y eficiencia operativa. Según Smith y Jones (2018), aproximadamente el 40 % de las pérdidas productivas en operaciones mineras se deben a fallas mecánicas en equipos críticos como los sistemas de transporte de carbón. Dentro de estos sistemas se encuentran los Feeder Breakers (alimentadores trituradores), encargados de triturar el carbón desde la pila hasta la banda primaria. Estos desempeñan un papel esencial al asegurar un flujo constante del material hacia las siguientes fases del proceso, facilitando así tanto la trituración como el transporte adecuado del carbón.

Los Feeder Breakers están compuestos por elementos que requieren una lubricación constante y precisa, como las cadenas transportadoras y los Roll Picks (piñas), los cuales funcionan con rodamientos en sus ejes. La correcta lubricación es vital para prevenir el desgaste prematuro, el sobrecalentamiento y la falla mecánica, lo que impacta directamente en la eficiencia y disponibilidad del equipo (García et al., 2020). Por ello, la automatización de los sistemas de lubricación se ha convertido en una solución clave para reducir intervenciones manuales, minimizar tiempos down y avanzar hacia un mantenimiento predictivo (Rodríguez y Pérez, 2019).

Se propone el desarrollo de un sistema automatizado de lubricación que integre control eléctrico y neumático, utilizando el autómatas programable Allen-Bradley ya instalado en los Feeder Breakers. Este sistema permitirá dosificar de manera precisa y oportuna la grasa en los rodamientos, optimizando así tanto el uso de lubricante como el tiempo requerido para esta actividad, e impulsará la transición hacia un modelo de mantenimiento predictivo en la operación minera.

Planteamiento del Problema

El sistema de lubricación manual utilizado en los Feeder Breakers del Load Out 3 presenta limitaciones que afectan la eficiencia operativa, la confiabilidad. La dependencia de la intervención humana para aplicar grasa en intervalos fijos genera variaciones en la cantidad de lubricante aplicado, provocando desgaste prematuro de rodamientos, fallas recurrentes y costos elevados de mantenimiento debido al reemplazo frecuente de piezas críticas (García et al., 2020).

Además, no existe un sistema automatizado de control y monitoreo que permita registrar el estado real de los ciclos de lubricación, la cantidad de grasa aplicada o la frecuencia de dosificación. Esta falta de monitoreo incrementa el riesgo de que los Feeder Breakers no reciban el lubricante adecuado en los momentos críticos, afectando la disponibilidad de la planta (Rodríguez y Pérez, 2019).

La lubricación deficiente también genera un mayor consumo energético en los motores, ya que la fricción adicional los obliga a operar con más esfuerzo, incrementando el consumo de energía y las emisiones de CO₂, lo que coincide con hallazgos de Smith y Jones (2018), quienes señalan que una lubricación inadecuada puede elevar los costos operativos y reducir la vida útil de los equipos hasta en un 40 %.

Diversos estudios resaltan que los sistemas automáticos de lubricación disminuyen el desgaste de componentes y mejoran la confiabilidad, al mantener ciclos de lubricación precisos y monitoreados (García et al., 2020; Zevallos, 2020). Por ello, surge la pregunta: ¿cómo la automatización del sistema de lubricación de los Feeder Breakers puede reducir los tiempos down y mejorar la eficiencia operativa del sistema Load Out?

Justificación

Se considera de vital importancia la automatización del sistema de lubricación de los Feeder Breakers en el área del Load Out, ya que proporciona una aplicación más precisa y constante del lubricante, aumentando así la fiabilidad del equipo y optimizando el uso de los recursos. Según López y Pérez (2020), la automatización de los sistemas de lubricación puede llevar a una reducción del 30% en el consumo de lubricante y del 25% en el mantenimiento correctivo, aumentando además en un 15% a disponibilidad de los equipos. De igual manera, Sánchez y Torres (2021) reportan que el mantenimiento predictivo, implementado a partir de nuevos sistemas de lubricación, puede prolongar hasta en un 20% la vida útil de los rodamientos, así como disminuir el riesgo de fallas imprevistas en el proceso productivo. La adopción de esta estrategia proporciona tanto una mejora en la sostenibilidad de las operaciones, al mitigar el impacto ambiental, como una reducción de los gastos asociados, aumentando así la rentabilidad del proceso.

Este proyecto busca contribuir a la continuidad operativa y maximizar la productividad del sistema Load Out, minimizando interrupciones y reduciendo los tiempos down en el proceso de carga de carbón. Además, se alinea con las metas de sostenibilidad de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas (ONU, 2015), en particular con el ODS 9 (Industria, Innovación e Infraestructura) al implementar soluciones más eficientes y resilientes, el ODS 12 (Producción y Consumo Responsable) al optimizar el uso de lubricantes y disminuir la generación de residuos, y el ODS 7 (Energía Asequible y No Contaminante) junto con el ODS 13 (Acción por el Clima) al reducir el consumo de energía eléctrica y las emisiones de CO₂, fortaleciendo así tanto el mantenimiento como el desempeño del proceso de carga de carbón.

Objetivos

Objetivo General

Automatizar el sistema de lubricación de los Feeders Breakers para reducir el tiempo de inactividad y mejorar la eficiencia operativa del sistema Load Out.

Objetivos Específicos

Identificar las deficiencias del sistema de lubricación manual actual en los Feeder Breakers del Load Out

Desarrollar un sistema automatizado de lubricación que optimice el ciclo de lubricación de los componentes en los Feeder Breakers

Comparar el rendimiento entre el sistema de lubricación manual versus el sistema automatizado en los Feeder Breakers.

Marco de Referencia.

Estado del Arte

Guillen (2019) realizó una investigación experimental para el “Diseño e implementación de un sistema de protección, control y monitoreo del sistema de lubricación del molino de bolas Hardinge 14’x24 en la planta concentradora de CIA minera Casapalca”. Con este sistema logra automatizar el proceso de mantenimiento y de lubricación del molino de bolas Hardinge, obteniendo datos para monitorear el estado de los componentes de la máquina industrial, logrando generar una base de datos de su tendencia en el periodo de funcionamiento, además de controlar la temperatura del lubricante a aplicar. Con este sistema se logra maximizar la disponibilidad del molino, haciendo que los tiempos de mantenimiento no sean tan frecuentes, integrando un sistema SCADA para monitorear el proceso de lubricación. Para el sistema sugiere un PLC Allen-Bradley CompactLogix L30ER, programándose en lenguaje Ladder por medio del software RSLogix5000. La integración del sistema para su monitoreo y recolección de datos va desde los transmisores de flujo, de temperatura y de presión, dirigiendo los datos por buses de campo de 4-20 mA hacia el controlador CompactLogix L30ER. La conexión del PLC se encuentra con los actuadores para su funcionamiento, como la bomba para la lubricación, la resistencia para la temperatura y el ventilador para refrigeración. También se conecta por un switch Ethernet, siendo el encargado de llevar la información al sistema SCADA del PanelView Plus y al servidor de base de datos por medio de redes de comunicación Ethernet/IP

Espinoza (2025) en su artículo “Automatización del proceso de flotación en la empresa “gm instrumentation” para incrementar la eficiencia operativa”, logra demostrar mediante su investigación en como la automatización ayuda la eficiencia operativa del proceso de flotación de la empresa GM Instrumentación. Implementando un sistema predictivo para el monitoreo en

tiempo real con la integración de un PLC Siemens S7-1200 y sensores de temperatura y vibración. La metodología utilizada por Espinoza es una metodología cuantitativa, recolectando datos de variables como los tiempos de parada, datos de producción. Con este sistema de monitoreo de temperatura y vibración, Espinoza logra identificar inconveniente con los motores que hacen parte del proceso de flotación de la empresa; estos motores generaban un consumo energético de 6.35 kWh/t, para mejorar este consumo implementa un variador de frecuencia Delta C200, el cual les permitió reducir su consumo energético a 4.95 kWh/t, siendo una reducción del 22.05%. Este sistema le permitió comparar las mejoras de producción que han tenido en la empresa posterior de la implementación del sistema automatizado; pasaron de tener 576 horas efectivas/mes a 720 horas, un incremento del 25%; los tiempos de parada disminuyeron 88.89% pasando de 9 horas a 1 hora de parada; para su implementación se esperaba una producción de 495 TM a 900 TM, los resultados reales fueron de pasar 440 TM a 800 TM, un incremento del 81.82% de su producción real.

Macuri Carhuaricra y Beatriz (2022) en su tesis denominada “Propuesta de aplicación del pilar mejora enfocada TPM para reducir los problemas del sistema de lubricación de un molino de barras, 2021” propusieron mejorar el sistema semiautomático de lubricación de un molino de barras en una industria Minera, en su estudio aplicaron la metodología mejora enfocada, una metodología fundamental del Mantenimiento Productivo Total (TPM), y la metodología cuantitativa donde realizan la recolección y análisis de datos sobre las fallas y paradas del molino. El sistema de lubricación del molino de barras era semiautomático, donde las chumaceras principales se lubricaban de forma automática usando un aceite Mobilgear 600 XP 68, por otro lado, las chumaceras del contra eje, la catalina y el piñón su lubricación se realizaba

de forma manual, en su investigación concluyen que la aplicación del pilar mejora enfocada TPM, podría reducir los costos de parada en un 94% de forma anual.

Centrándonos en la eficiencia y seguridad de la automatización industrial, Guevara y Sánchez (2025) realizaron un estudio con una metodología cualitativa, sobre como la automatización es de gran utilidad en la industria del petróleo, en su trabajo “Eficiencia y seguridad en el proceso industrial: automatización de bombas del sistema de transferencia de crudo” formulándole entrevistas a los ingenieros, técnicos y operarios de una industria petrolera donde se implementa el sistema automatizado de bombeo, determinando las características, oportunidades y desafíos que deja la automatización en el sistema de transferencia de crudo. En su encuesta realizada, se entrevistaron a 20 trabajadores del sector de seguridad y producción de la industria petrolera, en donde buscaron reflejar puntos como el nivel de automatización, la eficiencia y la seguridad del sistema de transferencia del crudo. En sus resultados obtienen que 8 de los encuestados manifiestan que el sistema está parcialmente automatizado, mientras que 4 aseguran que está totalmente automatizado. En la eficiencia, el 35% señala que ha mejorado significativamente el proceso, mientras que un 25% dice que ha mejorado moderadamente. En cuanto a la seguridad el 65% consideran que es muy seguro, mientras que un 35% dicen que es moderadamente seguro. Con su estudio determinan que la automatización ha mejorado de gran manera el sistema de bombeo de transferencia de crudo, destacando que esto ha disminuido la intervención manual en entornos donde los procesos de operación son de alto riesgo.

Simons, A., Wireko, R., & Addy, C. (2020) realizaron un estudio titulado “Optimisation of Grease Dispensation for Heavy-duty Mining Excavators”, con el objetivo de mejorar el control en sistemas de lubricación centralizada para excavadoras mineras. El trabajo consistió en analizar y modificar componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos del sistema existente,

integrando un bloque colector, válvulas solenoides y un módulo de control de grasa con comunicación al sistema principal. El autor demostró que esta modificación redujo el consumo de lubricante en 0,0608 L/min, generando un ahorro anual superior a 62 000 USD con un costo de modificación menor al 8 % de ese ahorro. Esta investigación es de gran importancia por su impacto económico en la industria minera.

Shao, Z., & Kumral, M. (2024) llevaron a cabo el estudio “Implementing Gaussian process modelling in predictive maintenance of mining machineries”, con el objetivo de mejorar la predicción de fallas en maquinaria minera mediante procesos Gaussianos. El trabajo consistió en recopilar datos de sensores de vibración, presión y temperatura para alimentar modelos de vida útil remanente (RUL). Los autores demostraron que esta técnica proporciona estimaciones precisas y en tiempo real, reduciendo tiempos de inactividad no planificados. Esta investigación es de gran importancia por la integración de IA y modelos estadísticos avanzados en el mantenimiento predictivo.

Shevchenko, A. N., Kuznetsov, D., & Laktionov, I. (2020) realizaron un trabajo titulado “Analysis of the roller bit lubrication system”, con el objetivo de evaluar el desempeño de sistemas de lubricación en brocas de perforación rotatoria. El trabajo consistió en estudiar fallos recurrentes en rodamientos mediante análisis tribológico y ensayos en campo. Los autores demostraron que la deficiencia en la lubricación era la principal causa de fallas, proponiendo mejoras en la selección de lubricantes y la automatización del suministro. Esta investigación es de gran importancia para optimizar procesos industriales con alto desgaste mecánico.

Mypati, O., Xu, M., & Lee, H. (2023) llevaron a cabo el estudio “Multi-Objective-Based Intelligent Lubrication System Performance Evaluation Technology for Construction Machinery”, con el objetivo de desarrollar un sistema inteligente de lubricación para maquinaria

de construcción. El trabajo consistió en implementar un control PID y sensores de temperatura, presión y flujo, junto con visión artificial para ajustar parámetros en tiempo real. Los autores demostraron que el sistema optimizó la eficiencia de lubricación y redujo el consumo de grasa en un 15 %. Esta investigación es de gran importancia por su aplicabilidad a equipos de minería.

Zevallos Cobos, C. A. (2020) realizó un trabajo titulado “Sistema de lubricación automático en el sector minero: una revisión sistemática entre los años 2011-2020”, con el objetivo de identificar los principales beneficios y prácticas de los sistemas automáticos de lubricación en minería. El trabajo consistió en revisar 19 artículos científicos relacionados con lubricación automatizada en el sector minero. El autor demostró que estos sistemas aumentan la disponibilidad de equipos, optimizan el uso de lubricante y reducen el desgaste de componentes. Esta investigación es de gran importancia por reunir evidencia sólida y cuantitativa sobre el impacto de la automatización en la eficiencia operativa.

Oliveira, M. V. M., Cunha, B. Z. & Daniel, G. B. (2021) realizaron el trabajo titulado “A model-based technique to identify lubrication condition of hydrodynamic bearings using the rotor vibrational response”, con el objetivo de desarrollar una técnica para identificar el estado de lubricación de rodamientos hidrodinámicos mediante señales de vibración del rotor.

El estudio consistió en modelar teóricamente el sistema e implementar pruebas numéricas usando datos de vibración de rotor bajo condiciones de lubricación escasa o en exceso.

Los autores demostraron que su técnica puede estimar con precisión el caudal de aceite en los rodamientos y diferenciar condiciones de lubricación deficientes o excesivas, lo que permite diagnósticos tempranos de fallas.

Esta investigación es de gran importancia porque ofrece una herramienta prometedora para el monitoreo avanzando de maquinaria rotativa en tiempo real y puede aplicarse en sistemas de lubricación automatizados.

Marco Contextual

El presente proyecto se desarrolla en el área de cargue de carbón conocida como Load Out, ubicada en la mina Drummond Ltd. en el departamento del Cesar, Colombia. La mina Drummond es una explotación a cielo abierto, una de las más importantes del país, tanto por sus reservas como por el volumen de producción destinado a la exportación. La compañía extrae carbón de alta calidad, que posteriormente es transportado hacia el puerto de Santa Marta para ser comercializado en los mercados internacionales. El Load Out cumple un papel esencial en dicho proceso, ya que es el punto en el que el carbón extraído es acondicionado para su transporte.

El sistema de Load Out está compuesto por varios subsistemas encargados de manejar y acondicionar el flujo del carbón. Uno de los componentes clave dentro de este proceso son los Feeder Breaker, los cuales actúan como el primer punto de recepción del material. Su función principal es triturar y dosificar el carbón, permitiendo que este sea transferido de manera continua y controlada hacia las bandas transportadoras que lo llevan a las siguientes etapas del proceso.

En la operación diaria, se evidenció una problemática recurrente relacionada con fallas en los rodamientos de los ejes y Roll Pick de los Feeder Breaker. El análisis causa raíz determinó que dichas fallas estaban asociadas a un proceso de lubricación manual insuficiente, que provocaba sobrecalentamientos y generaba paradas no programadas, afectando la disponibilidad del sistema.

A raíz de esta situación, surgió la necesidad de automatizar el proceso de lubricación, con el fin de mejorar la confiabilidad de los componentes críticos y optimizar el uso de recursos operativos. Se propuso, entonces, un sistema automatizado que permitiera aplicar la grasa de forma precisa y constante, minimizando la intervención manual y el riesgo de fallas mecánicas.

Marco Teórico

Automatización Industrial

La automatización industrial consiste en el uso de tecnologías para controlar procesos y equipos con una mínima intervención humana, lo cual permite mejorar la eficiencia, calidad y seguridad en los sistemas productivos. Según Groover (2016), “la automatización busca sustituir tareas repetitivas mediante sistemas de control programables, sensores y actuadores” (p. 28). En el sector minero, su implementación ha contribuido significativamente a reducir fallas, minimizar tiempos muertos y garantizar condiciones operativas más seguras.

El uso de Controladores Lógicos Programables (PLC) es una de las soluciones más comunes para automatizar procesos industriales. Estos dispositivos permiten ejecutar lógicas secuenciales, controlar señales digitales y análogas, y comunicarse con sistemas SCADA para la supervisión remota (Bolton, 2015).

Sistemas de Lubricación

Los sistemas de lubricación desempeñan un papel fundamental en la operación eficiente de maquinaria pesada, ya que reducen la fricción, el desgaste y el sobrecalentamiento de componentes mecánicos. De acuerdo con Neale (2001), una lubricación adecuada puede incrementar en más del 50 % la vida útil de los rodamientos y disminuir el consumo energético del equipo.

Los sistemas automatizados de lubricación permiten dosificar el lubricante de manera precisa, eliminando la variabilidad asociada a la aplicación manual. Esto asegura que los componentes críticos, como los rodamientos de los Feeder Breakers, reciban la cantidad adecuada de grasa en el momento oportuno, mejorando su confiabilidad y reduciendo las intervenciones correctivas (Bloch & Geitner, 2006).

Mantenimiento Predictivo

El mantenimiento predictivo se basa en la supervisión constante de las condiciones operativas de los equipos para anticipar fallas antes de que ocurran. Este enfoque, según Mobley (2002), “es más eficiente que el mantenimiento correctivo o preventivo, ya que permite programar intervenciones solo cuando son realmente necesarias” (p. 15).

La automatización de procesos como la lubricación es una de las estrategias clave para implementar un mantenimiento predictivo efectivo. Al reducir la dependencia de la intervención humana y registrar los ciclos de operación, es posible generar alertas tempranas, realizar análisis de tendencias y tomar decisiones basadas en datos reales.

Lubricante Utilizado: Mobil Grease XHP 462

El lubricante utilizado en los rodamientos de los Feeder Breaker del Load Out 3 es el Mobil Grease XHP™ 462, una grasa de complejo de litio diseñada específicamente para soportar condiciones de trabajo severas. Este lubricante se caracteriza por su alta resistencia al lavado por agua, excelente estabilidad térmica y mecánica, buena adhesión y protección contra la oxidación, el desgaste y la corrosión. Estas propiedades la hacen ideal para aplicaciones en rodamientos de equipos sometidos a cargas pesadas, vibraciones constantes y ambientes agresivos, como los presentes en las operaciones mineras.

Figura 1

Lubricante Mobil XHP 462



Nota. Lubricante utilizado en los rodamientos del Load Out.

Eficiencia Energética del Sistema

El mantenimiento efectivo de los Feeder Breakers, junto con la automatización de sus procesos, tiene una relación directa con la eficiencia energética del conjunto de maquinaria involucrada en el transporte de carbón. Según IEC (2018), el mantenimiento predictivo, el control automático y el uso de una lubricación adecuada pueden llevar a una reducción del consumo de electricidad de hasta el 20%. Esto se traduce en una optimización del uso de los recursos, aumentando así el rendimiento operativo y prolongando la vida útil de los equipos.

Además, el accionamiento de los motores eléctricos que mueven los Feeder Breakers consume una parte importante de la energía eléctrica en el proceso de cargue de carbón (Jin et al., 2020). La aplicación de un mantenimiento predictivo junto con el control automático de la lubricación minimiza el rozamiento, el calentamiento y el deterioro de los rodamientos, aumentando así el rendimiento de los grupos motrices. Esto proporciona una mejora tanto en el

aprovechamiento de la electricidad como en el desempeño general de los equipos, aumentando así la sostenibilidad de la operación (Groover, 2016).

Marco Conceptual

Feeder Breaker

Los Feeder Breakers son equipos utilizados en la minería para la reducción del tamaño del material y su dosificación controlada hacia bandas transportadoras. Estos sistemas están diseñados para triturar carbón bruto proveniente del tajo o de tolvas, permitiendo un flujo uniforme en los procesos de cargue y transporte (SME, 2011).

Sistema de Lubricación Automática

Es un sistema diseñado para suministrar grasa o aceite a componentes móviles de manera controlada y periódica, sin necesidad de intervención constante del operador. Estos sistemas mejoran la confiabilidad de los equipos, reducen el desgaste prematuro de piezas y disminuyen el riesgo de fallas mecánicas (Mobius Institute, 2020).

Lubricante Mobil Grease XHP 462

Es una grasa de complejo de litio, formulada para ofrecer alta resistencia a la presión, a la oxidación y al lavado por agua. Se utiliza comúnmente en aplicaciones de alta carga, como los rodamientos de equipos mineros, debido a su excelente adherencia y capacidad de trabajo en condiciones severas (ExxonMobil, 2022).

PLC (Controlador Lógico Programable)

Un PLC es un dispositivo electrónico utilizado para automatizar procesos industriales. Permite recibir señales de entrada (como sensores), procesarlas mediante una lógica programada (normalmente en lenguaje escalera) y activar salidas (como solenoides o alarmas). Es

ampliamente usado en entornos industriales por su robustez y flexibilidad (Rockwell Automation, 2019).

Lenguaje Escalera (Ladder Diagram)

Es uno de los lenguajes de programación más comunes en la automatización industrial. Representa la lógica de control mediante contactos y bobinas, emulando el funcionamiento de los circuitos eléctricos de control tradicionales (Petruzella, 2017).

Sistema SCADA

SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) es un sistema de supervisión que permite visualizar y controlar procesos industriales en tiempo real. Se utiliza para monitorear variables, generar alarmas, registrar datos históricos y facilitar la toma de decisiones operativas (Boyle, 2021).

Mantenimiento Predictivo

Es una estrategia de mantenimiento basada en el monitoreo de condiciones operativas para predecir fallas antes de que ocurran. A diferencia del mantenimiento correctivo o preventivo, el predictivo permite planificar intervenciones solo cuando son necesarias, optimizando recursos y aumentando la disponibilidad de los equipos (Mobius Institute, 2020).

Marco Normativo

El presente proyecto se enmarca en la normativa legal y técnica vigente en Colombia, así como en estándares internacionales aplicables a sistemas de automatización y mantenimiento industrial.

En primer lugar, la Ley 685 de 2001, conocida como el Código de Minas, establece en su Artículo 248 que los titulares mineros están obligados a adoptar medidas técnicas que garanticen la seguridad en las operaciones mineras, así como la preservación de los recursos naturales y la

integridad del personal operativo (Congreso de Colombia, 2001). Esta disposición respalda la implementación de sistemas automatizados que reduzcan riesgos en tareas de mantenimiento manual, como la lubricación de rodamientos críticos.

Desde el punto de vista técnico, el diseño del sistema se basa en la NTC 2050, también conocida como el Código Eléctrico Colombiano, que regula los parámetros de seguridad y diseño para instalaciones eléctricas industriales, garantizando la correcta protección de los circuitos, el uso adecuado de protecciones y la selección de materiales eléctricos (ICONTEC, 2011).

En cuanto a la programación del PLC, esta se desarrolló conforme a la norma IEC 61131-3, la cual estandariza los lenguajes de programación utilizados en los controladores lógicos programables, incluyendo el lenguaje Ladder empleado en el proyecto (IEC, 2013). Esta norma asegura la estructuración adecuada del código, la reutilización de bloques lógicos y la interoperabilidad entre dispositivos industriales.

Por último, se tuvo en cuenta la norma ISO 12100:2010, referente a los principios generales para el diseño de maquinaria segura, la cual resalta la importancia de reducir la intervención humana en tareas repetitivas o de riesgo, priorizando soluciones técnicas que disminuyan la exposición directa del trabajador a partes móviles (ISO, 2010).

Metodología

Tipo de Investigación

Esta investigación es de tipo aplicada, ya que se orienta hacia la resolución de un problema específico en los rodamientos de los Feeder Breakers del Load Out 3. La aplicación de esta metodología permitirá implementar un nuevo esquema de lubricación automática que contribuya a prolongar la vida útil de los rodamientos, optimizar el mantenimiento, y aumentar tanto la seguridad como la eficiencia del proceso.

Enfoque de la Investigación

El enfoque del estudio es cuantitativo, ya que se tomarán medidas numéricas de variables como el tiempo de inyección de grasa, las horas hombre requeridas para la ejecución de la tarea, y el costo asociado a dichas horas hombre. Estos datos permitirán realizar un análisis comparativo entre el estado actual y el escenario posterior a la implementación del nuevo sistema de lubricación.

Diseño de la Investigación

El diseño utilizado es cuasiexperimental, ya que se va a implementar el nuevo esquema de lubricación en los seis Feeder Breakers del Load Out 3 y se va a comparar frente al esquema manual utilizado anteriormente. Así podremos determinar el impacto de dicho cambio sin tener un control total de todas las variables involucradas en el procedimiento.

Población

La población de interés está conformada por los equipos Feeder Breakers ubicados en el Load Out 3 de Drummond Ltd. Los datos serán recolectados directamente de estos equipos, específicamente en relación con las siguientes variables:

- Tiempo de lubricación manual

- Tiempo de lubricación automática
- Horas hombre requeridas
- Costo asociado a las horas hombre

Fuente de Información

La fuente de información utilizada es primaria, ya que todos los datos serán recolectados directamente de los equipos en operación. Los datos del proceso de lubricación manual se registrarán in situ, mientras que los correspondientes al sistema de lubricación automática serán obtenidos a partir del PLC o controlador del sistema.

Método para la Recolección de Información

Para llevar a cabo la recolección de información se utilizará el siguiente método:

- PLC (Controlador Lógico Programable) para registrar el inicio (orden del controlador) y fin de cada ciclo de lubricación (señal de interruptor de presión), tiempo acumulado del temporizador.

Validez y Confiabilidad

El tiempo es medido por el reloj interno del PLC. Este reloj está sincronizado gracias a la conexión con el servidor NTP (Network Time Protocol) a través de la red Ethernet. Es válido aclarar que, independientemente de que haya o no conexión, el reloj interno continúa funcionando de forma autónoma.

Fases del Desarrollo

La iniciativa surgió a partir de una solicitud del área del Load Out, tras identificar fallas recurrentes en los rodamientos de los Roll Pick y los ejes de cabeza y cola de los feeder breakers. El análisis de causa raíz determinó que estas fallas eran provocadas por sobrecalentamiento debido a una lubricación deficiente. En respuesta, se propuso automatizar el sistema, con el fin

de mejorar la confiabilidad de estos componentes críticos. En una primera etapa se identificaron y documentaron los requerimientos del sistema, tales como la frecuencia de inyección de grasa, los modos de operación manual y automático, la gestión de alarmas por fallos o retrasos en la lubricación, y la visualización de variables en tiempo real.

A partir de estos requerimientos, se definieron los componentes necesarios para la solución, incluyendo la reutilización de elementos ya existentes en el equipo como la unidad de mantenimiento, los inyectores y la bomba neumática. El diseño del sistema de control contempla el uso de un controlador lógico programable (PLC) Allen-Bradley previamente instalado, el cual interactúa con entradas y salidas digitales específicas, incluyendo sensores de presión, selectores de modo, pulsadores y un solenoide para el accionamiento del sistema.

En la etapa de diseño detallado se desarrollaron los planos eléctricos en AutoCAD, el programa de control en lenguaje escalera utilizando el software Studio 5000 Logix Designer, y se seleccionaron los elementos de campo necesarios, tales como cableado, tuberías, accesorios y un tablero eléctrico de acero inoxidable. Posteriormente, se procedió a la implementación física del sistema, asegurando la correcta instalación y conexión de todos los componentes, tanto neumáticos como eléctricos. La validación funcional se ejecutó en dos fases: primero, mediante pruebas en modo manual para verificar el correcto encendido, funcionamiento de los inyectores y lectura del sistema SCADA; y segundo, en modo automático, confirmando que el sistema responde a las condiciones de operación del feeder breaker y que ejecuta los ciclos de lubricación según el tiempo programado.

Finalmente, se estableció una etapa de evaluación del rendimiento del sistema automatizado, que contempla una comparación directa entre un equipo con lubricación automática y otro con lubricación manual.

Figura 2*Fases del Proyecto*

Nota. Diagrama que ilustra las diferentes fases del proyecto, desde la planificación hasta la ejecución y cierre..

Resultados

Identificar las Deficiencias del Sistema de Lubricación Manual Actual en los Feeder Breakers del Load Out

Para identificar las deficiencias del sistema de lubricación manual en los Feeder Breakers del Load Out 3, se aplicó una metodología basada en inspecciones en campo, revisión documental y se revisó un consumo estimado actual con el sistema manual.

Situación Inicial – Lubricación Manual

Los seis feeder breaker del sistema contaban con un esquema de lubricación manual, aplicado una vez por turno, durante dos turnos de 12 horas al día, es decir, dos lubricaciones por día. Este sistema cubría los siguientes puntos críticos:

Eje de cabeza: 2 rodamientos de 4 pulgadas

Figura 3

Eje de Cabeza



Nota. Parte de repuesto eje de cabeza ensamblado.

Eje de cola: 2 rodamientos de 4 pulgadas

Figura 4

Eje de Cola



Nota. Desarme tapa Eje de Cola.

Eje de Roll Pick: 2 rodamientos de 12 pulgadas

Figura 5

Eje de Roll Pick



Nota. Ensamble rodamiento lado libre Roll Pick.

Total, por equipo:

- 4 rodamientos de 4"
- 2 rodamientos de 12"

El método de engrase consistía en aplicar grasa manualmente hasta que esta brotara por los sellos, se instalaba unas mangueras en las graseras de cada rodamiento que permitiera la conexión con la manguera de la bomba de lubricación manual.

Figura 6

Sistema de Lubricación Neumatico Manual



Nota. Sistema antiguo lubricación Feeder Breaker. La imagen permite identificar sus componentes principales, como bombas, mangueras y puntos de aplicación de lubricante.

Figura 7*Pistola de Engrase Manual*

Nota. Pistola usada para la lubricación manual.

Figura 8*Lubricación Manual*

Nota. Rutina manual de lubricación de los Feeder Breaker.

Consumo Estimado Bajo Sistema Manual

Se realizaron estimaciones con base en el volumen interno de los rodamientos y el criterio de llenado completo hasta rebose:

- Rodamiento de 4”:

Carga estimada hasta rebose: 0.53 kg

Total, por 4 rodamientos: 2.12 kg por lubricación

Con pérdida del 15%: 0.079 kg por rodamiento

Pérdida por 4 rodamientos: 0.31 kg

- Rodamiento de 12”:

Carga estimada hasta rebose: 5.96 kg

Total, por 2 rodamientos: 11.91 kg por lubricación

Con pérdida del 15%: 0.89 kg por rodamiento

Pérdida por 2 rodamientos: 1.78 kg

Por equipo, 2 veces al día \times 25 días al mes:

- Rodamientos de 4”: $2.12 \text{ kg} \times 50 \text{ lubricaciones} = 106.0 \text{ kg}$

- Rodamientos de 12”: $11.91 \text{ kg} \times 50 \text{ lubricaciones} = 595.5 \text{ kg}$

Total, por equipo/mes: 701.5 kg

Total, para 6 equipos: $701.5 \text{ kg} \times 6 = 4,209 \text{ kg}$

Este sistema representaba un consumo mensual de más de 4 toneladas de grasa, con altos niveles de pérdida y riesgos ambientales.

Revisión de Tiempo Down Mecánicas Asociadas a la Lubricación Manual en los Feeder Breakers

El área del Load Out registra los tiempos down durante los cambios de turno utilizando un formato impreso, en el cual se especifica si el tiempo down fue por causas eléctricas, mecánicas, metalúrgicas, lluvias o problemas con los trenes. Dado que el área no reporta directamente en el módulo de mantenimiento de la empresa, llamado PeopleSoft, esta información es entregada diariamente al departamento de ingeniería, quien se encarga de consolidarla y calcular la disponibilidad del sistema cada 24 horas.

Por ejemplo, en diciembre de 2024 se registraron 6 horas de parada asociadas a fallas mecánicas relacionadas con problemas de lubricación, específicamente por cambios de rodamientos. En términos de producción, esto representa la pérdida de aproximadamente 3 trenes, cada uno con una capacidad de 7.500 toneladas de carbón.

Tabla 1

Revisión de Tipo de Falla

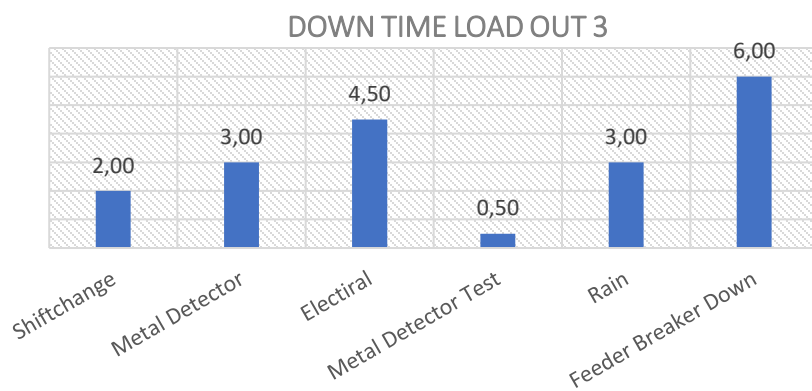
Mes / Año	Tipo de Falla	Tiempo Down (h)	Causa Específica	Impacto Estimado en Producción	Observaciones
Diciembre / 2024	Mecánica	6	Problemas de lubricación (rodamientos)	3 trenes (~22.500 toneladas de carbón)	Información registrada por el área y consolidada por Ingeniería

Nota. Ejemplo de Down en el área de Load Out.

Tabla 2*Down Time*

CODE	ITEM	TIME (hr)
0121	Shiftchange	2,00
0603	Metal Detector	3,00
0601	Electiral	4,50
0602	Metal Detector Test	0,50
0109	Rain	3,00
0122	Feeder Breaker Down	6,00
	TOTAL DOWN TIME	19
	Horas Programadas	744
	Disponibilidad	97,45%

Nota. Tipos de Dows en el área de Load Out.

Figura 9*Down Time Load Out 3*

Nota. Tiempo total Down por tipo.

A partir de las inspecciones en campo, revisión documental y análisis del consumo de grasa, se identificaron las siguientes deficiencias en el sistema de lubricación manual utilizado en los Feeder Breakers del Load Out 3:

Alta dependencia operativa

El sistema requería intervención manual dos veces al día por equipo, lo que generaba una alta demanda de mano de obra y aumentaba la posibilidad de omisiones o errores humanos durante la aplicación.

Procedimiento de aplicación ineficiente

La grasa se aplicaba hasta que brotara por los sellos, sin un control preciso de la cantidad, lo cual ocasionaba sobre lubricación, esfuerzos innecesarios sobre los componentes, riesgo de contaminación y desgaste prematuro.

Elevado consumo de grasa

Se estimó un consumo mensual de aproximadamente 4.2 toneladas de grasa para los seis equipos. Este alto volumen está asociado a pérdidas por rebose y a una dosificación excesiva sin criterios técnicos estandarizados.

Riesgo ambiental

El exceso de grasa generaba contaminación en el entorno de trabajo, aumentando el riesgo de accidentes por superficies resbalosas y afectando negativamente la limpieza y seguridad del área operativa.

Impacto negativo en la operación

Las paradas mecánicas asociadas a fallas en la lubricación manual, evidencian la necesidad de implementar soluciones automatizadas que mejore el sistema, reduzcan los tiempos Down y aumenten la confiabilidad operativa del sistema.

Desarrollar un Sistema Automatizado de Lubricación que Optimice el Ciclo de Lubricación de los Componentes en los Feeder Breakers

Recolección de Requisitos

El área de mantenimiento mecánico del Load Out 3 solicita la posibilidad de desarrollar un nuevo proyecto para la lubricación automática de los feeder breaker. Dentro de sus parámetros ellos especifican que 3 de los 4 elementos necesarios para el desarrollo estarán instalados en su equipo, previas a la mejora del sistema. Estos elementos corresponden a los ya mencionados.

- Unidad de mantenimiento.

Figura 10

Unidad de Mantenimiento



Nota. Unidad de mantenimiento instalada en el sistema automático de lubricación.

Figura 11

Tanque, Bomba, Solenoide, Manómetros



Nota. Tanque y bomba del sistema automático de lubricación.

- Inyectores de grasa.

Figura 12.

Inyectores



Nota. Inyectores de grasa del sistema automático de lubricación.

- Bomba

Figura 13

Bomba



Nota. Bomba principal tanque sistema de lubricación automática.

Diseño del Sistema

Dentro de los requerimientos el personal de mantenimiento solicita:

a. Lubricación automática del sistema cada 30 minutos, siempre y cuando esté operativo y funcional el sistema de transporte de carbón

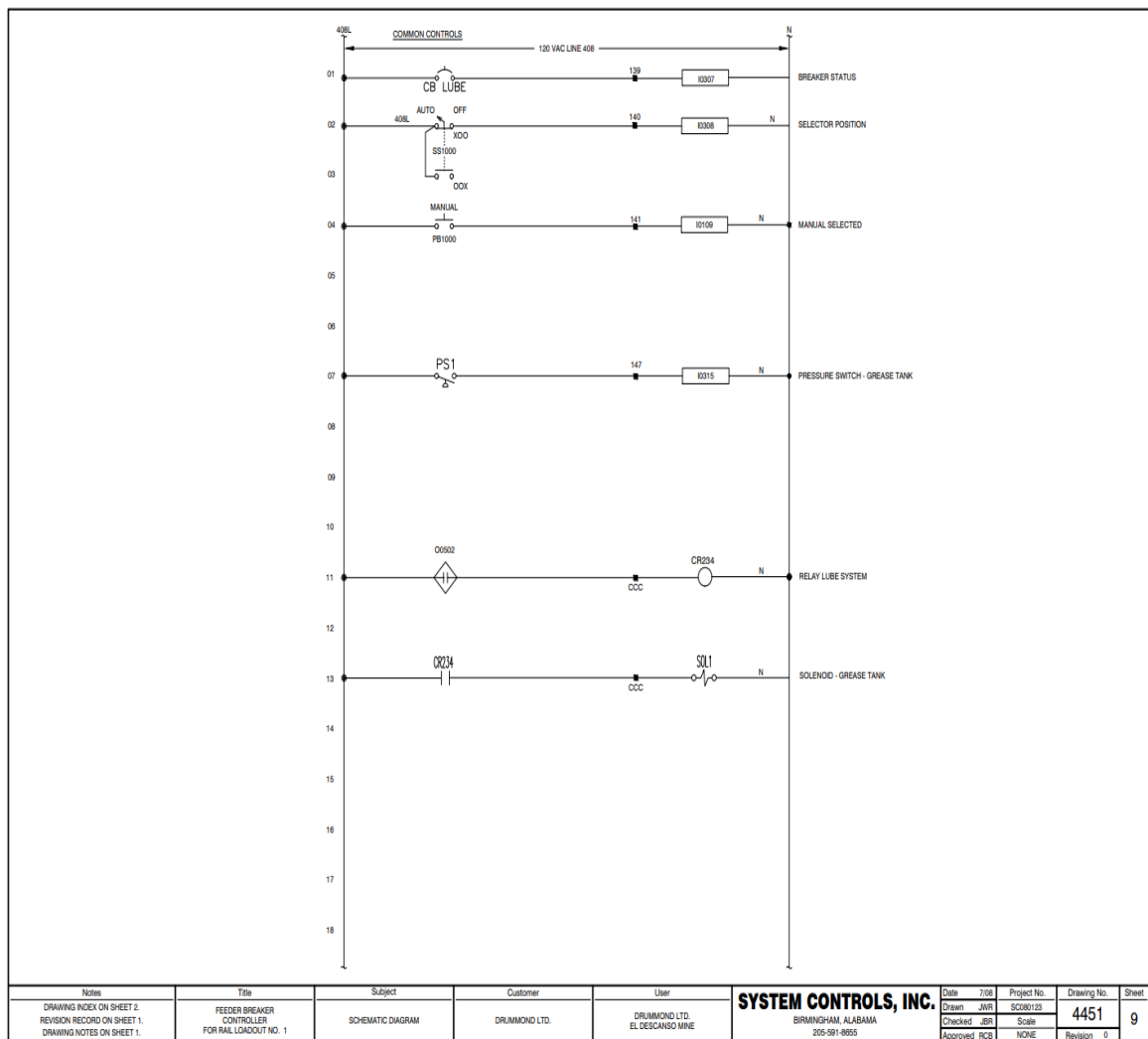
b. Permitir la operatividad del sistema de manera manual con un periodo no menor de dos minutos entre periodo de inyección, para evitar la operación repetitiva y descontrolada del sistema por el personal técnico.

c. Visualizar una alarma en el sistema de lubricación en caso de que el periodo de inyección demore más de 120 segundos, independientemente si el servicio es en modo automático o manual.

d. Permitir conocer mediante el sistema SCADA, la información en tiempo real del sistema de lubricación, con la finalidad de conocer su operatividad.

Figura 14

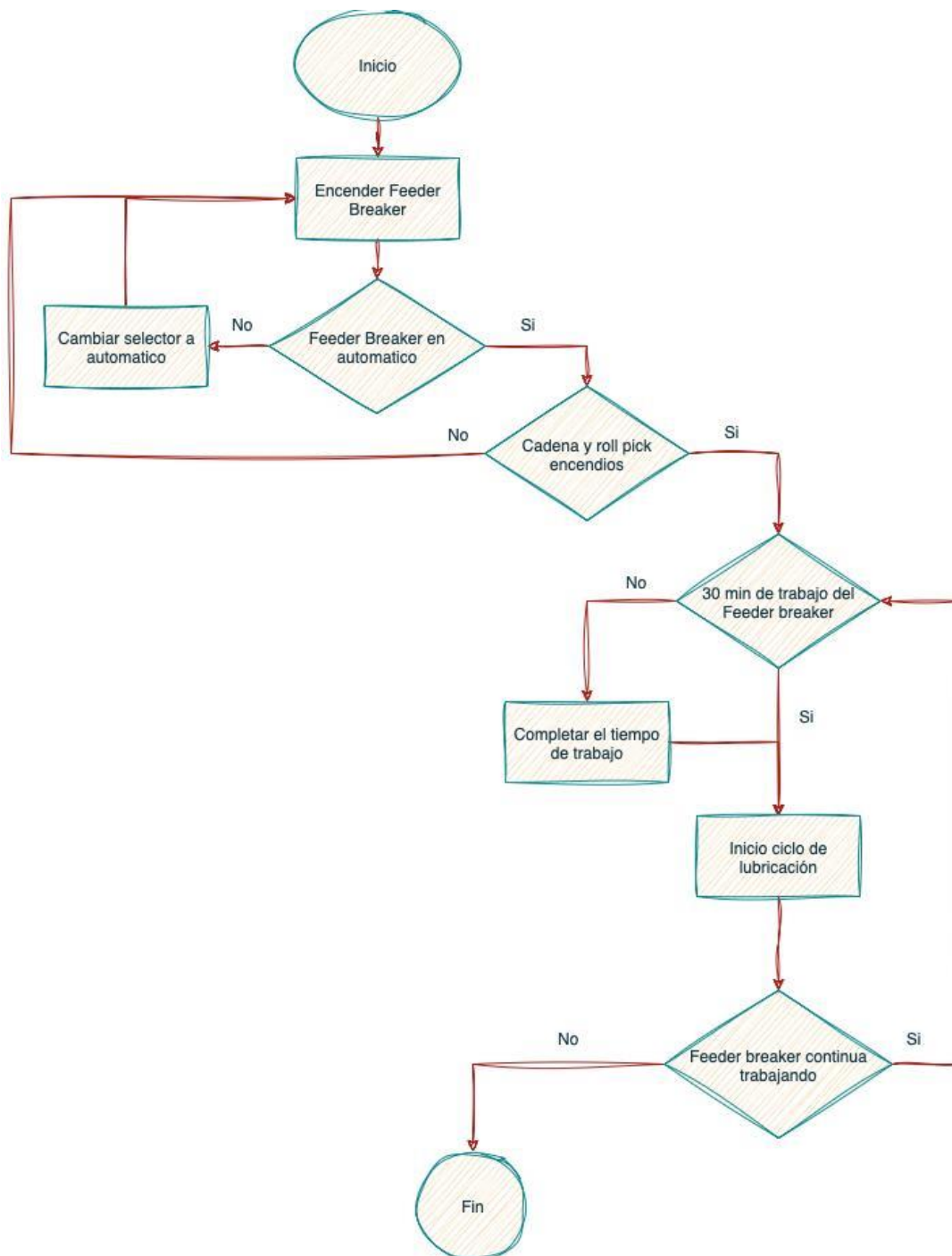
Diagrama Eléctrico



Nota. Descripción de control eléctrico del sistema de lubricación automático.

Figura 15

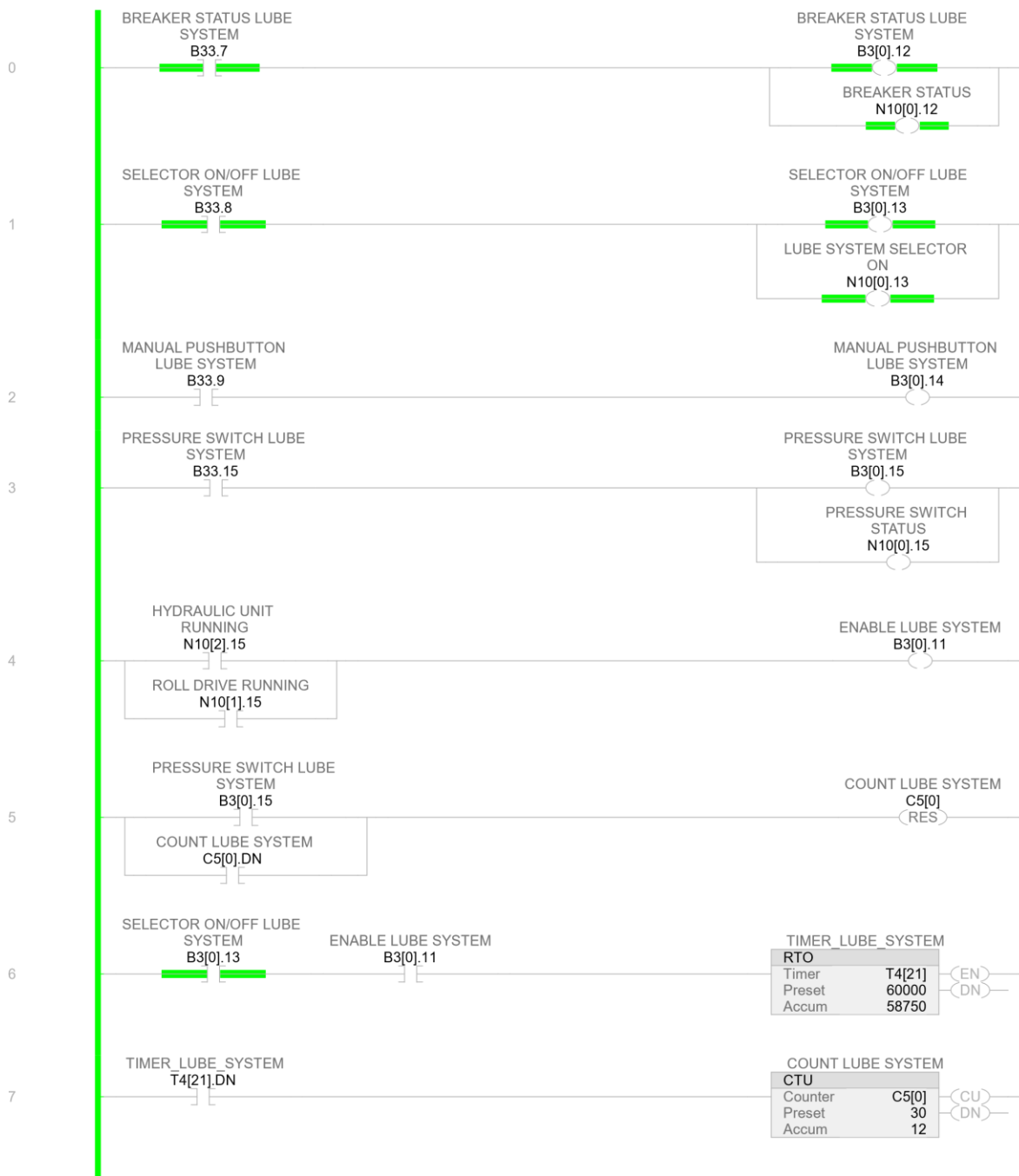
Diagrama de Flujo

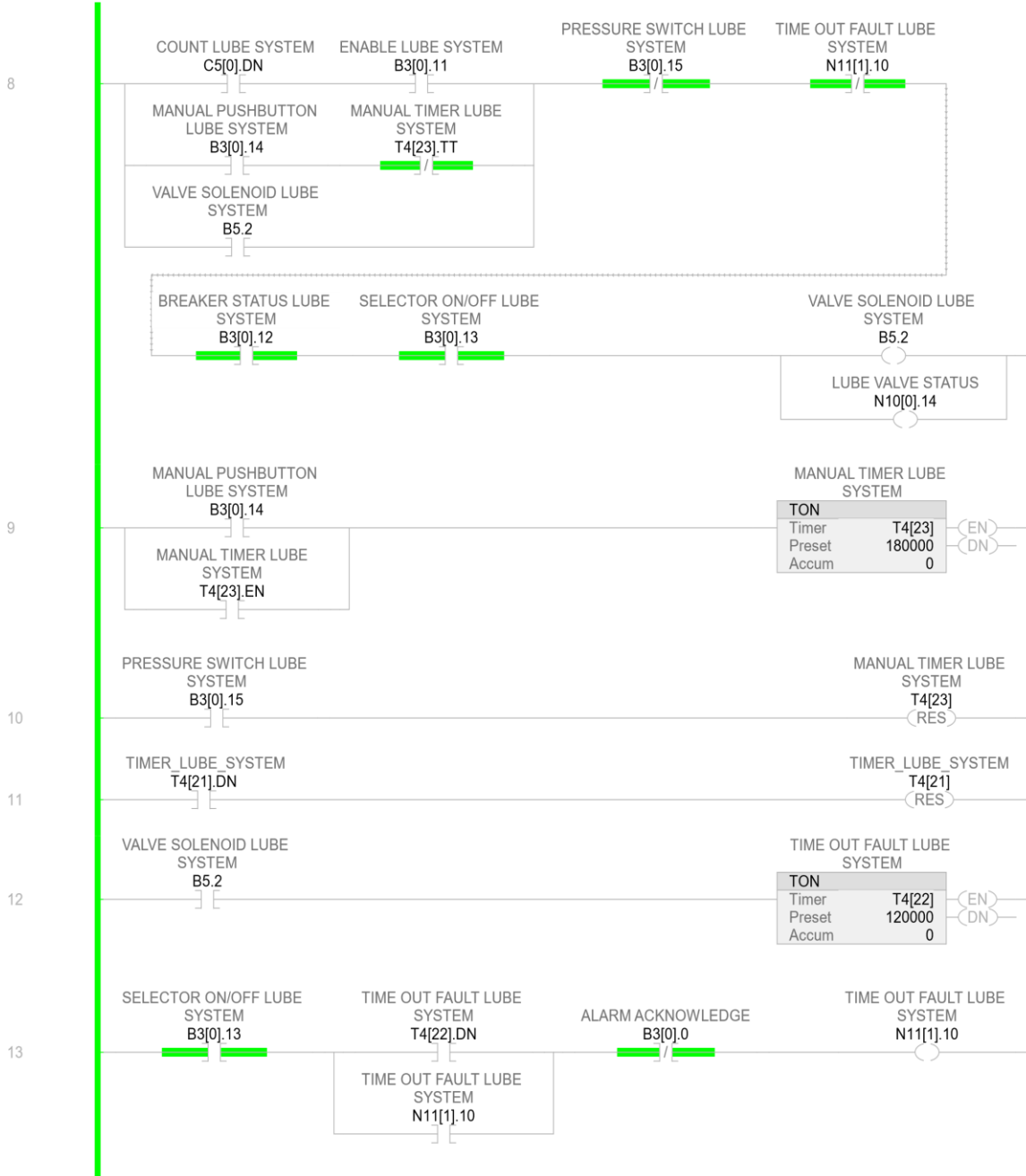


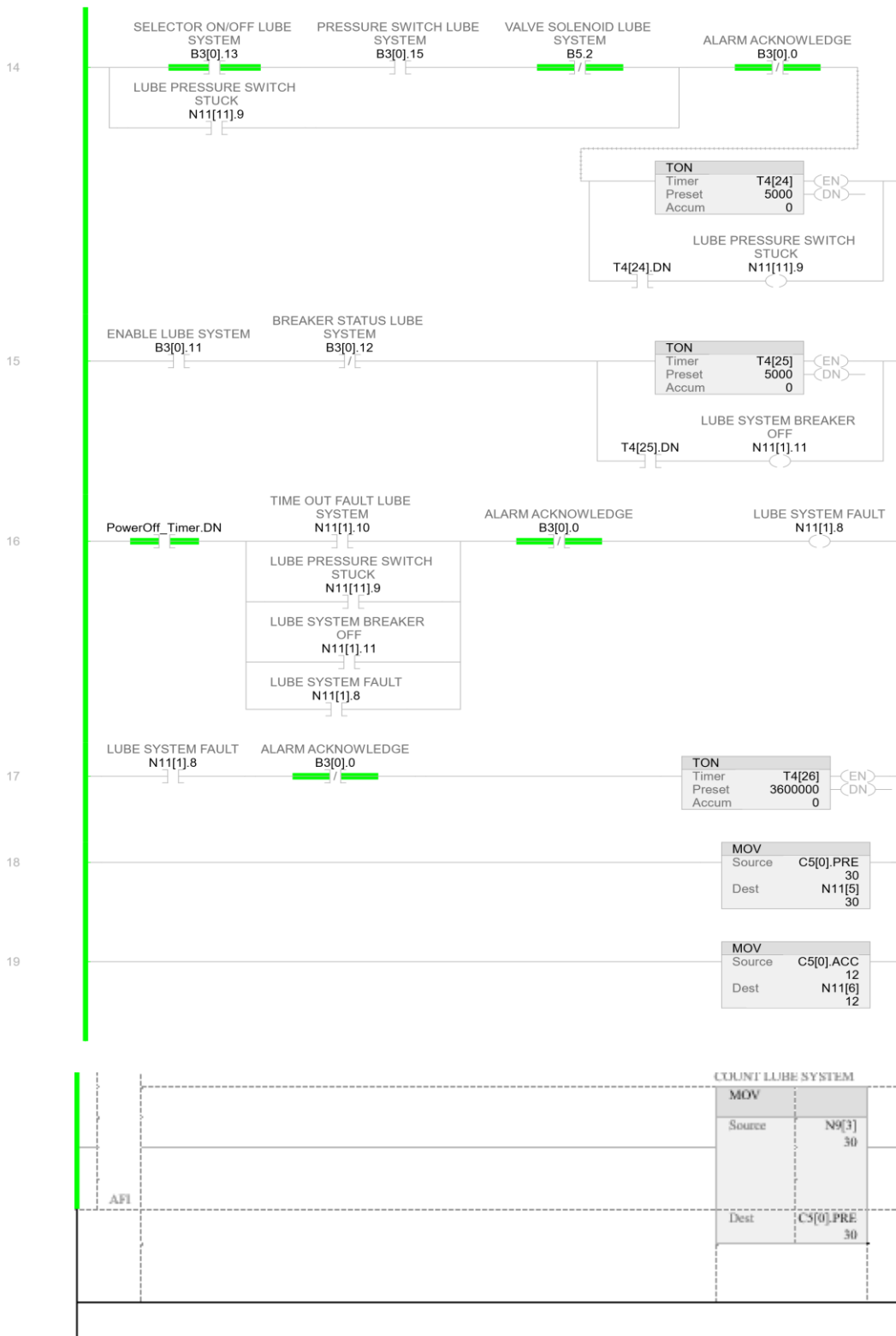
Nota. Descripción del proceso del sistema automático de lubricación.

Figura 16

Diagrama Ladder





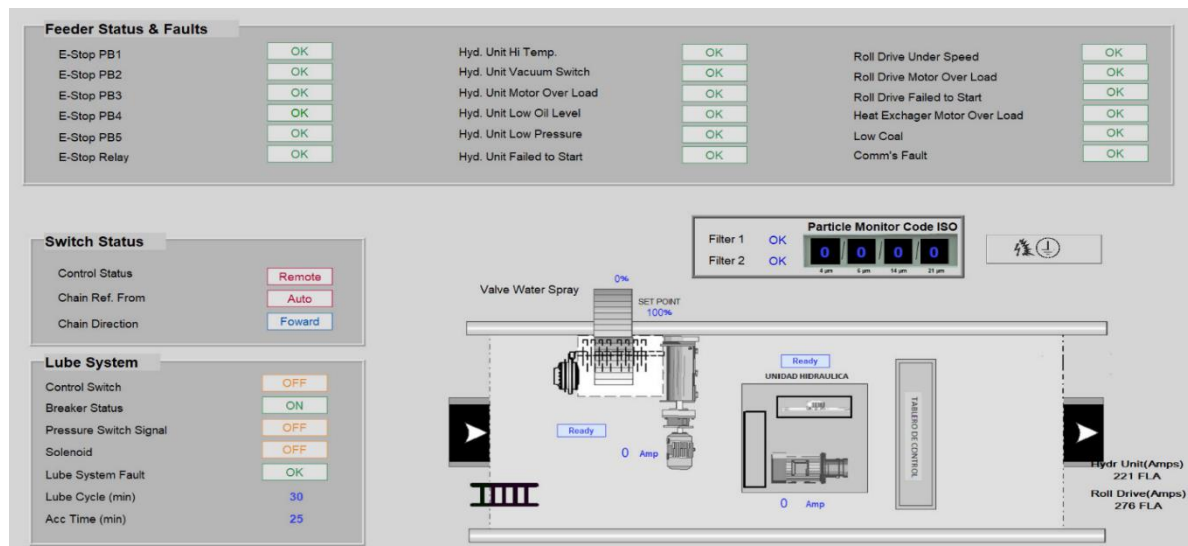


Nota. Programación del PLC para la automatización del sistema.

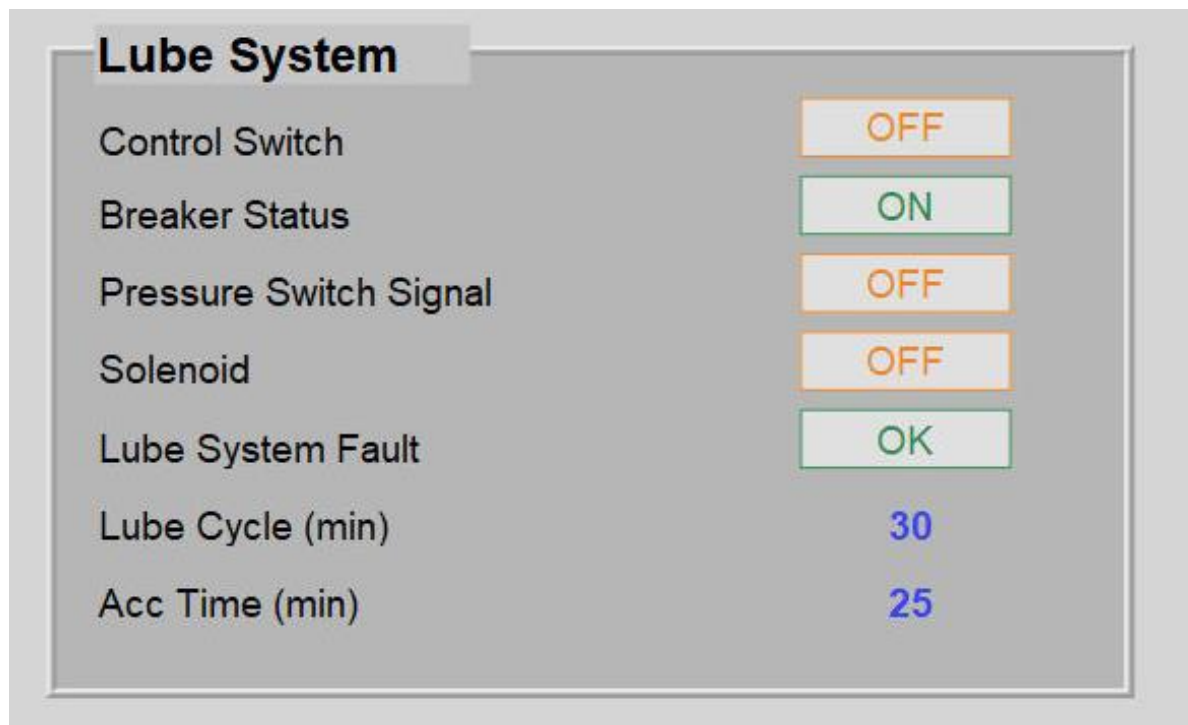
Figura 17

SCADA

Vista HMI del Alimentador



Vista del sistema de lubricación



Nota. Interfaz humano máquina del sistema de lubricación automática.

Implementación

Entendiendo los requerimientos dados, especificamos los elementos necesarios para el desarrollo del proyecto de la siguiente manera:

Controlador lógico programable PLC: Este componente ya se encuentra instalado en el sistema de control eléctrico, ya que es quien realiza el control de funcionamiento del equipo.

Dentro de su uso, se hace necesario contar con la disponibilidad de varios elementos internos del sistema, así:

- Entradas digitales: 4 entradas digitales 120VAC para el vigilar la señal del circuito del interruptor de protección, posiciones ON-OFF de un selector con contactos NO (normalmente abierto), un pulsador con contacto NO (Normalmente abierto) y del interruptor de presión situado en el tanque de grasa-

- Salida digital: 1 salida digital 120 VAC para activar el control del solenoide.

- Desarrollo de un programa en lenguaje escalera para el control lógico del equipo:

Este control se realiza en el software Studio 5000 Logix Designer de Allen Bradley.

- Diseño de los planos eléctricos en el software AUTOCAD
- Instalación física de los elementos de campo:
 - Solenoide (proporcionado por mantenimiento)
 - Interruptor de presión (proporcionado por mantenimiento)
 - Pulsador
 - Selector de dos posiciones
 - Tuberías IMC de trabajo pesado
 - Cableado de control
 - Tablero eléctrico (caja de paso de acero inoxidable)

- Accesorios para tubería
- Coraza flexibles y accesorios

Verificación

Es necesario corroborar dos aspectos importantes dentro de la instalación del sistema de lubricación para su correcta operación. Inicialmente verificaremos la bomba neumática, el cual es mantenido por su unidad como ya fue explicado. Dicha unidad de mantenimiento debe contar con sus llaves de paso abiertas y permitir visualizar en su manómetro, una presión de 80 PSI, lo que nos permitirá mantener presurizadas las líneas hasta la válvula accionada eléctricamente, y a su vez accionará la bomba neumática, la cual opera en este valor promedio de presión de aire. En tanto las líneas de aire no estén presurizadas es completamente imposible que el sistema de lubricación funcione, ya que estamos hablando de un sistema neumático.

Por otro lado, tenemos el sistema de control eléctrico, el cual debe ser verificado en dos puntos específicos desde el punto de vista de la operación. Uno es que no se encuentre fallando desde el sistema de visualización SCADA, lo cual nos dará la certeza de que el software está leyendo las condiciones mínimas para su operación y como segunda instancia, que se encuentre habilitado en sitio, desde su selector de operación en modo ON para garantizar que será activado una vez la orden automática o manual sea dada.

Una vez entendidos estos dos factores, primero debemos verificar de manera manual el funcionamiento del sistema, prueba que hace parte de los requerimientos solicitados por el personal de mantenimiento, de la siguiente manera:

- Verificar que el sistema no tenga alarmas presentes en el sistema SCADA. De lo contrario puede reiniciarlas presionando el botón de ACKNOWLEDGE en el tablero de control.
- Verificar que las llaves de paso se encuentren abiertas.

- Verificar que la presión de aire de la unidad de mantenimiento este en 80 PSI.
- Verifique en el tablero de control que el selector del sistema de lubricación este en posición ON.
- Presione el botón manual del sistema de lubricación.
- Verifique que el ciclo de trabajo del sistema de lubricación sea el correcto, descrito en la consideración a continuación.
- De lo contrario valide las condiciones del sistema para encontrar la anomalía y corregirla.

Consideración: En este momento se debe activar el sistema de control, lo que permitirá el paso de aire a la bomba neumática. Esto se traduce en el aumento de la presión de aire del tanque de grasa, y a su vez esta presión puede ser leída en el manómetro del tanque. En condiciones normales el interruptor de presión debe reflejar una presión de 3000 PSI, medida ya calibrada por el fabricante en este mismo interruptor para el apagado del sistema de control. Esta presión también concuerda con la solicitada por el personal de mantenimiento para el funcionamiento de los inyectores de grasa.

Para la validación del sistema de lubricación en modo automático, siga lo descrito:

Verificar que el sistema no tenga alarmas presentes en el sistema SCADA. De lo contrario puede reiniciarlas presionando el botón de ACKNOWLEDGE en el tablero de control.

Verificar que las llaves de paso se encuentren abiertas.

Verificar que la presión de aire de la unidad de mantenimiento este en 80 PSI.

Verifique en el tablero de control que el selector del sistema de lubricación este en posición ON.

Solicite a operaciones el encendido del Feeder Breaker en general, lo que permiten el moviendo de los motores eléctricos que a su vez iniciaran la marcha de la piña (Roll Pick) y de la cadena (Chain). Con esto se cumplen las condiciones de funcionamiento solicitadas por el personal de mantenimiento.

Valide los valores de tiempo dados para la lubricación del sistema en el sistema SCADA. Es decir, cuanto tiempo hará falta para iniciar el ciclo de lubricación de manera automática.

Verifique que el ciclo de trabajo del sistema de lubricación sea el correcto, ya descrito en la consideración anterior. De lo contrario valide las condiciones del sistema para encontrar la anomalía y corregirla.

Entrega y Documentación

Con las correctas pruebas de funcionamiento ya explicadas, se realiza una prueba final y explicación grosso modo de las consideraciones del sistema integrando al personal de mantenimiento para que las conozca y reciba a conformidad lo descrito bajos sus requisitos.

Respecto a la parte documental, el diseño de control eléctrico se suministra al personal de mantenimiento eléctrico para su respectiva socialización y el software se socializa al personal de programación restante que hacen parte del área de control e instrumentación para su respectivo conocimiento y almacenamiento en los discos duros corporativos de su dominio.

Comparar el Rendimiento entre el Sistema de Lubricación Manual Versus el sistema Automatizado en los Feeder Breakers

A continuación se presentan los resultados de la comparación entre los sistemas de lubricación manual versus automático. Para este análisis se establecen las mismas condiciones operativas del Feeder, es decir operatividad de 24 horas (2 turnos de 12 horas).

Lubricación Manual

Como se estableció previamente, cada turno de 12 horas realizaba una lubricación de los rodamientos. Este trabajo tardaba en promedio, 30 minutos. Con estos datos, durante 24 horas se realizaban 2 lubricaciones por lo cual la duración de esta actividad era de 1 hora en total.

Tabla 3

Lubricación Manual

Turno	Frecuencia de lubricación	Duración por lubricación (min)	Total diario (min)
Turno de 24 horas	2 veces	30	60

Lubricación Automática:

Tomando las mismas condiciones de trabajo: Feeder Breaker operativo 24 horas y un tiempo promedio de ejecución del ciclo de lubricación de 20 segundos, con un intervalo entre ciclos de 30 minutos, se tendrían dos lubricaciones por hora, para un total de 40 segundos dedicados al engrase de los equipos. Tendríamos por 24 horas operativas 16 minutos el sistema trabajando en lubricación:

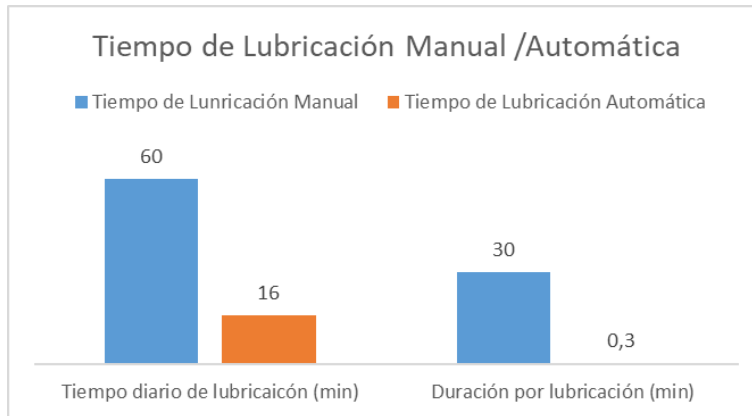
Tabla 4

Lubricación Automática

Horas operativas	Intervalo entre ciclos	Ciclos por hora	Duración por ciclo (s)	Tiempo de ciclo por hora (s)	Ciclos por día (24 h)	Tiempo total diario (min)
24 horas	30 minutos	2	20	40	48	16

Figura 18

Tiempo de Lubricación Manual / Automática



Nota. Comparación del tiempo de lubricación manual y automática.

Teniendo en cuenta estos dos análisis, podemos concluir la siguiente reducción en el tiempo dedicado a la actividad de lubricación del equipo:

$$\% \text{ de reducción de tiempo} = \left(\frac{\text{Valor original} - \text{Valor nuevo}}{\text{Valor Original}} \right) * 100$$

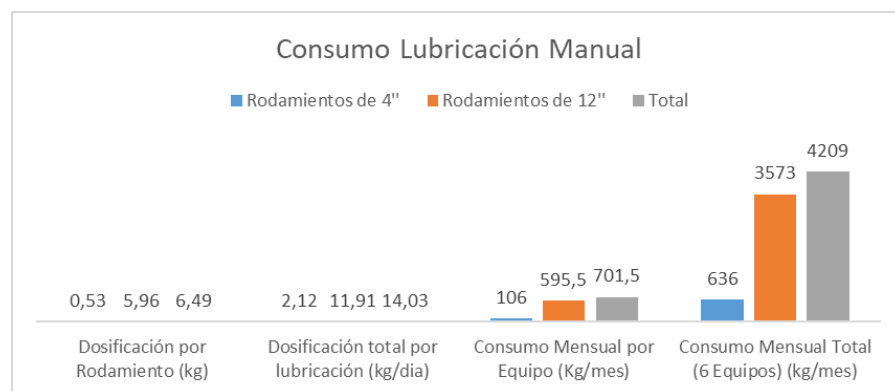
$$\% \text{ de reducción de tiempo} = \left(\frac{1 \text{ hr} - 0.27 \text{ hr}}{1 \text{ hr}} \right) * 100 = 73\%$$

- Consumo de lubricante

A continuación, se comparte un resumen previamente explicado en el Resultado 1 sobre el consumo de grasa en la lubricación manual:

Tabla 5*Resultado 1 Sobre el Consumo de Grasa en la Lubricación Manual*

Elemento	Cantidad de rodamientos	Dosificación por rodamiento (kg)	Dosificación total por lubricación (kg/día)	Consumo mensual por equipo (kg/mes)	Consumo mensual total (6 equipos) (kg/mes)
Rodamientos de 4"	4	0.53	2.12	106.0	636.0
Rodamientos de 12"	2	5.96	11.91	595.5	3,573.0
Total	6	6.49	14.03	701.5	4,209.0

Figura 19*Consumo de Lubricación Manual*

Nota. Grafico del consumo de lubricante en el proceso Manual.

Sistema automatizado – Estrategia actual: Con la implementación del sistema automatizado, se diseñó una estrategia de dosificación basada en el principio de lubricación controlada y continua. Se determinó aplicar:

- 6 gramos de grasa por rodamiento de 4” cada 30 minutos
- 30 gramos de grasa por rodamiento de 12” cada 30 minutos
- Frecuencia total por día: 48 aplicaciones
- Total por rodamiento 4” /día: $6 \text{ g} \times 48 = 288 \text{ g} = 0.288 \text{ kg}$
- Total por rodamiento 12” /día: $30 \text{ g} \times 48 = 1440 \text{ g} = 1.44 \text{ kg}$
- Días de operación por mes: 25

Cálculos totales con dosificación automatizada por equipo:

- Rodamientos de 4” (4 unidades):
 $0.288 \text{ kg} \times 25 \text{ días} \times 4 \text{ rodamientos} = 28.8 \text{ kg/mes}$

- Rodamientos de 12” (2 unidades):
 $1.44 \text{ kg} \times 25 \text{ días} \times 2 \text{ rodamientos} = 72 \text{ kg/mes}$

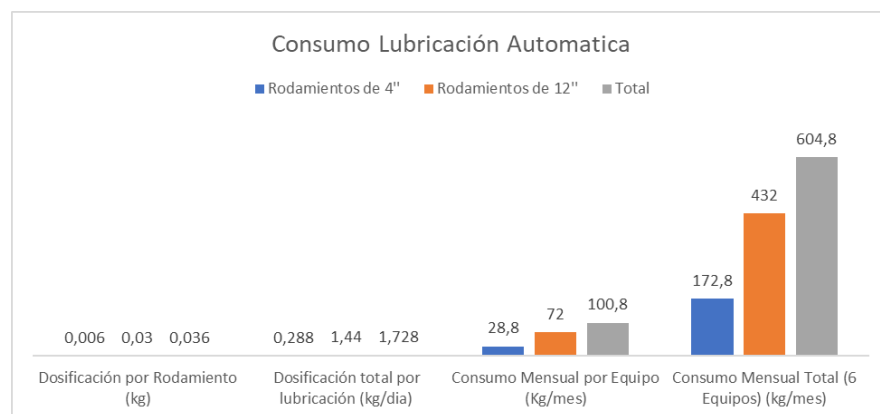
- Total por equipo:
 $28.8 \text{ kg} + 72 \text{ kg} = 100.8 \text{ kg/mes}$

Total mensual para los 6 equipos:

- Rodamientos de 4” (24 en total):
 $28.8 \text{ kg} \times 6 \text{ equipos} = 172.8 \text{ kg/mes}$
- Rodamientos de 12” (12 en total):
 $72 \text{ kg} \times 6 \text{ equipos} = 432 \text{ kg/mes}$
- Total mensual general: 604.8

Tabla 6*Sistema Automatizado – Estrategia Actual*

Elemento	Cantidad de rodamientos	Dosificación	Dosificación	Consumo	Consumo
		por rodamiento (kg)	total por lubricación (kg/día)	mensual por equipo (kg/mes)	mensual total (6 equipos) (kg/mes)
Rodamientos de 4"	4	0.006	0.288	28,8	172.8
Rodamientos de 12"	2	0.03	1.44	72	432
Total	6	0.036	1.728	100.8	604.8

Figura 20*Consumo Lubricación Automática*

Nota. Grafico del consumo de lubricante en el proceso Automático.

Teniendo en cuenta estos dos resultados, podemos concluir la siguiente reducción en la cantidad de grasa destinada a la lubricación mensual de los equipos:

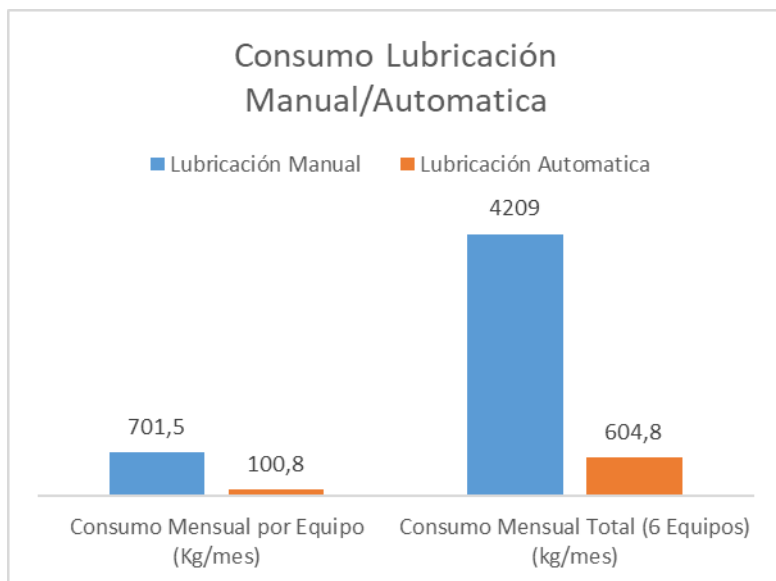
$$\% \text{ de reducción de grasa} = \left(\frac{\text{Valor original} - \text{Valor nuevo}}{\text{Valor Original}} \right) * 100$$

$$\% \text{ de reducción de grasa} = \left(\frac{4,209.0 \text{ kg} - 604.8 \text{ kg}}{4,209.0 \text{ kg}} \right) * 100 = \mathbf{85.6\%}$$

La automatización del sistema de lubricación en los Feeder Breakers permitió reducir en un 73% el tiempo de lubricación diaria y en un 85.6% el consumo mensual de grasa, manteniendo las mismas condiciones operativas. Esto demuestra una mejora significativa en eficiencia y uso de recursos.

Figura 21

Consumo Lubricación Manual /Automática



Nota. Grafico de comparación del consumo de lubricante en el proceso Manual y Automático.

Conclusiones

Se cumplió el objetivo general: la automatización del sistema de lubricación de los Feeder Breakers del Load Out permitió reducir drásticamente el tiempo de intervención y mejorar la eficiencia operativa del proceso.

Disminución del uso de recursos humanos: la automatización libera horas-hombre que antes se destinaban a una tarea repetitiva y de bajo valor agregado, permitiendo reasignar al personal técnico a actividades de mayor impacto en la confiabilidad y el mantenimiento predictivo.

Control y trazabilidad: la integración con SCADA incorporó alarmas, registros y visualización en tiempo real del ciclo de lubricación, cerrando la brecha de monitoreo detectada en el proceso manual y habilitando la trazabilidad histórica de cada inyección.

Mejora en la dosificación del lubricante: aunque no se cuantificó aún el porcentaje exacto de reducción, la transición a ciclos automáticos controlados eliminó el sobreconsumo por dosificación manual excesiva y homogeneizó la cantidad aplicada en cada punto, protegiendo los rodamientos críticos.

Base para el mantenimiento predictivo: el nuevo sistema estandariza los ciclos, registra eventos y genera alarmas por tiempos anómalos (>120 s), lo que habilita indicadores de desempeño (KPIs) y analítica histórica para evolucionar hacia estrategias de mantenimiento predictivo.

Riesgo operativo mitigado: se elimina la necesidad de intervenir manualmente en condiciones operativas, reduciendo la exposición del personal, los errores humanos y la posibilidad de contaminación externa (polvo/silicio) en los rodamientos

Recomendaciones

Integración con PeopleSoft: Registrar en el módulo de mantenimiento (PeopleSoft) las alarmas, eventos de lubricación y tiempos de cada ciclo, para llevar una trazabilidad digital y generar reportes automáticos de disponibilidad y confiabilidad.

Medición del consumo energético: Incorporar sensores o datos del SCADA para cuantificar el consumo eléctrico antes y después de la automatización, con el fin de verificar el impacto positivo en eficiencia energética y reducción de emisiones de CO₂.

Optimización del consumo de grasa: Monitorear durante al menos tres meses el consumo de lubricante por ciclo para confirmar la reducción en exceso de grasa aplicada, ajustar parámetros de inyección y calcular el ahorro económico anual.

Capacitación del personal: Capacitar a los operadores y técnicos en el uso del sistema SCADA, interpretación de alarmas, procedimientos de validación manual y registro en PeopleSoft, asegurando que el sistema se utilice de forma correcta y eficiente.

Incorporar indicadores clave (KPIs): Se sugiere implementar KPIs como:

Tiempo promedio por ciclo de lubricación (segundos).

Número de alarmas o fallos en el sistema automático.

Consumo de grasa por mes vs. consumo histórico.

Disponibilidad (%) del sistema de transporte (Load Out).

Referencias Bibliográficas

- Bloch, H. P., & Geitner, F. K. (2006). *Practical Lubrication for Industrial Facilities* (2nd ed.). CRC Press.
- Bolton, W. (2015). *Programmable Logic Controllers* (6th ed.). Newnes.
- Boyle, T. (2021). *SCADA Systems and Applications*. ISA Press.
- Carhuaricra M., Beatriz B. (2022). *Propuesta de aplicación del pilar mejora enfocada TPM para reducir los problemas del sistema de lubricación de un molino de barras, 2021*. Universidad Tecnológica del Perú.
https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/7056/B.Macuri_Tesis_Titulo_Profesional_2022.pdf?sequence=1
- Congreso de Colombia. (2001). *Ley 685 de 2001. Por la cual se expide el Código de Minas y se dictan otras disposiciones*. Diario Oficial No. 44.545.
- Egoávil Méndez, A. (2019). *Implementación de un sistema de lubricación centralizada para optimizar el mantenimiento de maquinaria pesada*. Universidad Nacional del Callao.
<https://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/20.500.12952/9033/1/TESIS%20-%20VENTURA-RAMOS.pdf>
- ExxonMobil. (2022). *Technical Datasheet: Mobil Grease XHP 462*.
- ExxonMobil. (2024). *Mobil Grease XHP™ 462 Product Data Sheet*. <https://www.mobil.com/>
- García, J., Vallejos, C., & Torres, R. (2020). Gestión eficiente de lubricantes en sistemas industriales. *Revista de Ingeniería Mecánica*, 12(3), 121-126.
- García, L., Torres, P., & Morales, J. (2020). Automated lubrication systems and their impact on equipment life in mining operations. *Journal of Mining Engineering*, 55(3), 120-130.

- Groover, M. P. (2016). *Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing* (4th ed.). Pearson.
- Groover, M.P. (2016). *Automation, production systems, and computer-integrated manufacturing*. Pearson.
- Guevara Ávalos, E. W., & Sánchez Parrales, L. V. (2025). Eficiencia y Seguridad en el Proceso Industrial: Automatización de bombas del sistema de transferencia de crudo. *Código Científico Revista De Investigación*, 6(E1), 1013–1033.
<https://doi.org/10.55813/gaea/ccri/v6/nE1/734>.
- Guillen Motalvo W. A. (2019). *Diseño e implementación de un sistema protección, control y monitoreo del sistema de lubricación del molino de bolas hardinge 14'x24' en planta concentradora de cia minera casapalca*. Universidad Nacional Del Altiplano.
https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/RNAP_4ee73b6acda28111f7409ebae7e903
- 39
- ICONTEC. (2011). *NTC 2050: Código Eléctrico Colombiano*. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.
- IEC (Comisión Electrotécnica Internacional). (2018). *IEC 60034-1: Rotating electrical machines — Rating and performance*. IEC.
- IEC. (2013). *IEC 61131-3: Programmable controllers – Part 3: Programming languages*. International Electrotechnical Commission.
- ISO. (2010). *ISO 12100:2010 - Safety of machinery – General principles for design – Risk assessment and risk reduction*. International Organization for Standardization.
- Jin, Z., et al. (2020). “Maintenance Scheduling and Energy Efficiency Improvement for Industrial Equipment.” *IEEE Access*. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.3049674

- López, M. y Pérez, A. (2020). Reducción del mantenimiento correctivo mediante lubricación automatizada en maquinaria pesada. *Revista de Ingeniería Minera*, 12(1), 45-60.
- Mobius Institute. (2020). *Fundamentals of Machine Lubrication and Predictive Maintenance*.
- Mobius Institute. (2020). *Fundamentals of Machine Lubrication and Predictive Maintenance*.
- Mobley, R. K. (2002). *An Introduction to Predictive Maintenance* (2nd ed.). Butterworth-Heinemann.
- Mogrovejo Espinoza, J. R. (2025). *Automatización del proceso de flotación en la empresa “GM Instrumentation” para incrementar la eficiencia operativa* [Trabajo de suficiencia profesional, Universidad Privada del Norte]. Repositorio de la Universidad Privada del Norte. <https://hdl.handle.net/11537/42514>
- Mypati, O., Xu, M., & Lee, H. (2023). Multi-objective-based intelligent lubrication system performance evaluation technology for construction machinery. *Applied Sciences*, 13(21), 11768. <https://doi.org/10.3390/app132111768>
- Neale, M. J. (2001). *Lubrication and Reliability Handbook*. Butterworth-Heinemann.
- Oliveira, M. V. M., Cunha, B. Z., & Daniel, G. B. (2021). A model-based technique to identify lubrication condition of hydrodynamic bearings using the rotor vibrational response. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 408(1), 012007. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/408/1/012007>
- Organización de las Naciones Unidas. (2015). *Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*. Nueva York: ONU. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>
- Petruzella, F. D. (2017). *Programmable Logic Controllers* (5th ed.). McGraw-Hill.
- Rockwell Automation. (2019). *Studio 5000 Logix Designer Help Files*.

- Rodríguez, F., & Pérez, A. (2019). *Mantenimiento predictivo en la industria minera: fundamentos y aplicaciones*. Editorial Técnica.
- Rodríguez, L., & Pérez, F. (2019). Estrategias de mantenimiento predictivo en equipos críticos. *Revista Latinoamericana de Mantenimiento Industrial*, 7(2), 55-64.
- Sánchez, C. y Torres, F. (2021). Implementación de mantenimiento predictivo en transportadores de minería. *Ingeniería y Minería*, 10(3), 220-238.
- Shao, Z., & Kumral, M. (2024). Implementing Gaussian process modelling in predictive maintenance of mining machineries. *Mining, Metallurgy & Exploration*, 41(2), 345-359.
<https://doi.org/10.1007/s42461-024-00967-9>
- Shevchenko, A. N., Kuznetsov, D., & Laktionov, I. (2020). Analysis of the roller bit lubrication system. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 408(1), 012007.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/408/1/012007>
- Simons, A., Wireko, R., & Addy, C. (2020). Optimisation of grease dispensation for heavy-duty mining excavators. *Mining Engineering*, 72(4), 58-67.
<https://doi.org/10.19150/me.2020.205>
- SME. (2011). *SME Mining Engineering Handbook* (3rd ed.). Society for Mining, Metallurgy, and Exploration.
- Smith, A., & Jones, B. (2018). Predictive maintenance and lubrication management in mining. *Industrial Equipment Journal*, 45(1), 33-40.
- Smith, R., & Jones, M. (2018). *Mining Equipment Reliability: Strategies and Case Studies*. Springer.

Zevallos Cobos, C. A. (2020). *Sistema de lubricación automático en el sector minero: una revisión sistemática entre los años 2011-2020* (Trabajo de investigación). Universidad Privada del Norte. Recuperado de <https://hdl.handle.net/11537/25175>

Zevallos Cobos, R. (2020). *Sistema de lubricación automático para mejorar la disponibilidad de equipos mineros*. Universidad Privada del Norte.
<https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/25175>