



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE
INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

Desarrollo de un plan de mantenimiento preventivo para incrementar la confiabilidad del conjunto freno de tambor de una grúa puente de 54 toneladas

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Mecánico Electricista

AUTOR:

Quijandria Jimenez, Genaro Alonso (orcid.org/0009-0007-8618-6166)

ASESOR:

Mg. Cuadros Camposano, Edwin Huber (orcid.org/0000-0001-6478-8130)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Sistemas y Planes de Mantenimiento

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo económico, empleo y emprendimiento

TRUJILLO – PERÚ

2024

Dedicatoria

Dirijo esta tesis a todos aquellos docentes que durante el paso de los años se encargaron de forjar y fortalecer mis habilidades, enseñándome a ser constante, resiliente y apasionado por mi carrera profesional.

Dedicatoria importante a mis compañeros de trabajo quienes impulsaron mi iniciativa al camino de la investigación y compartieron conmigo sus conocimientos como profesionales, aportando así a la iniciativa de progresar y alcanzar el éxito como profesional. De igual forma a todos los colaboradores que hicieron posible el logro de las metas planteadas durante este largo camino de investigación.

Agradecimiento

Deseo expresar mi gratitud en primer lugar a Dios quien me dio la fortaleza para superar cada uno de los obstáculos que se presentaron durante mi vida y supo guiarme por el buen camino, enseñándome que la fe y voluntad son las herramientas más importantes para alcanzar cada uno de nuestros objetivos y no desfallecer frente a las adversidades.

A mi familia por su constante e inquebrantable apoyo. Para mis padres por su consejo, enseñanzas, ejemplo y dedicación hacia mi formación como ser humano y profesional, por ayudarme con todos los recursos necesarios para estudiar y superarme día a día. Portando sus valores, principios y ejemplo de superación como la mejor enseñanza.

También a cada uno de mis compañeros y docentes, los cuales inculcaron en mi conocimiento, habilidad y recuerdos de experiencias llenas de felicidad y aprendizaje, las cuales guardo de manera especial en mis recuerdos.



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, CUADROS CAMPOSANO EDWIN HUBER, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - TRUJILLO, asesor de Tesis titulada: "

Desarrollo de un Plan de Mantenimiento Preventivo para Incrementar la Confiabilidad del Conjunto Freno de Tambor de una Grúa Puente de 54 Toneladas

", cuyo autor es QUIJANDRIA JIMENEZ GENARO ALONSO, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 8.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

TRUJILLO, 10 de Abril del 2024

| Apellidos y Nombres del Asesor: | Firma |
|--|---|
| CUADROS CAMPOSANO EDWIN HUBER DNI: 09599387 ORCID: 0000-0001-6478-8130 | Firmado electrónicamente por: EHCUADROS el 27- 06-2024 14:46:44 |

Código documento Trilce: TRI - 0742725





UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

Declaratoria de Originalidad del Autor

Yo, QUIJANDRIA JIMENEZ GENARO ALONSO estudiante de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - TRUJILLO, declaro bajo juramento que todos los datos e información que acompañan la Tesis titulada: "

Desarrollo de un Plan de Mantenimiento Preventivo para Incrementar la Confiabilidad del Conjunto Freno de Tambor de una Grúa Puente de 54 Toneladas

", es de mi autoría, por lo tanto, declaro que la Tesis:

1. No ha sido plagiada ni total, ni parcialmente.
2. He mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicada, ni presentada anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

| Nombres y Apellidos | Firma |
|---|--|
| QUIJANDRIA JIMENEZ GENARO ALONSO DNI: 75927895 ORCID: 0009-0007-8618-6166 | Firmado electrónicamente por: GAQUIJANDRIA el 14- 06-2024 11:36:35 |

Código documento Trilce: INV - 1613722



Índice de contenidos

| | |
|--|------|
| Carátula..... | i |
| Dedicatoria | ii |
| Agradecimiento | iii |
| Declaratoria de Autenticidad del Asesor..... | iv |
| Declaratoria de Originalidad del Autor | v |
| Índice de contenidos..... | vi |
| Índice de figuras | vii |
| Índice de tablas | viii |
| Resumen..... | ix |
| Abstract | x |
| I. INTRODUCCIÓN | 1 |
| II. MARCO TEÓRICO..... | 4 |
| III. METODOLOGÍA | 12 |
| 3.1 Tipo y diseño de investigación | 12 |
| 3.2 Variables y operacionalización..... | 12 |
| 3.3 Población, muestra y muestreo..... | 13 |
| 3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos..... | 15 |
| 3.5 Procedimientos | 15 |
| 3.6 Método de análisis de datos..... | 16 |
| 3.7 Aspectos éticos | 17 |
| 3.8 Aspecto económico..... | 17 |
| IV. RESULTADOS..... | 20 |
| V. DISCUSIÓN | 50 |
| VI. CONCLUSIONES | 57 |
| VII. RECOMENDACIONES..... | 59 |
| REFERENCIAS..... | 60 |
| ANEXOS..... | 63 |

Índice de tablas

| | |
|---|----|
| Tabla 1 Costos asociados | 18 |
| Tabla 2 Tiempo registrado de fallas de grúa puente en el año 2021 | 22 |
| Tabla 3 Tiempo promedio entre fallas (MTBF) de grúa puente en el año 2021 | 24 |
| Tabla 4 Tiempo promedio para reparar (MTTR) de grúa puente en el 2021 | 26 |
| Tabla 5 Confiabilidad del Conjunto de Freno Tambor en el 2021 | 29 |
| Tabla 6 AMEF: De proceso | 33 |
| Tabla 7 Programación de actividades del plan de mantenimiento preventivo para ser aplicado en el año 2022..... | 37 |
| Tabla 8 Tiempo registrado de fallas de grúa puente luego de implementar en plan de mantenimiento preventivo en el 2022 | 40 |
| Tabla 9 Tiempo promedio entre fallas (MTBF) luego de implementar en plan de mantenimiento preventivo en el 2022 | 43 |
| Tabla 10 Tiempo promedio para reparar (MTTR) de grúa puente luego de implementar en plan de mantenimiento preventivo en el 2022 | 46 |
| Tabla 11 Confiabilidad del Conjunto de Freno Tambor en el 2022..... | 49 |

Índice de figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1 Puente Grúa a estudiar en operación..... | 11 |
|---|----|

Resumen

Este estudio aborda la problemática de la confiabilidad en grúas puente de 54 toneladas, con énfasis en el conjunto de freno de tambor, resaltando la urgencia de mejorar la confiabilidad. Las fallas recurrentes generaban interrupciones no programadas debido a la falta de mantenimiento. Para solucionar esta problemática, se trazó como objetivo principal desarrollar un esquema de mantenimiento preventivo destinado a aumentar la confiabilidad del conjunto freno tambor de una grúa puente de 54 toneladas.

La metodología tipo aplicada, cuantitativa de diseño preexperimental, basada en la identificación de maneras y consecuencias de las fallas., demostró eficacia. Tras la implementación del plan, se logró como resultado un incremento del 7.7% en la confiabilidad. Comprobando así lo implementado por Idrogo Cruzado (2016), quien implementó un plan de mantenimiento enfocado en incrementar la fiabilidad y obtuvo una mejora del 8,31%.

En conclusión, el desarrollo del plan de mantenimiento preventivo contribuyó no solo al aumento de la confiabilidad del conjunto freno tambor en un 7.7%, al abordar específicamente los subsistemas críticos, marcando un avance notable en la eficacia del mantenimiento preventivo, además se puede destacar que la seguridad en operaciones aumento significativamente desde la ejecución del plan de mantenimiento.

Palabras clave: Grúas puente, Mantenimiento preventivo, Confiabilidad, Freno tambor.

Abstract

This study addresses the problem of reliability in 54-ton bridge cranes, with emphasis on the drum brake set, highlighting the urgency of improving reliability. Recurring failures generated unplanned downtime due to lack of maintenance. To solve this problem, the main objective was to develop a preventive maintenance plan to increase the reliability of the drum brake set of a 54-ton bridge crane.

The model methodology applied, quantitative pre-experimental design, based on the identification of fault modes and effects, proved effective. Following the implementation of the plan, a 7.7% increase in reliability was achieved. Testing the implementation by Idrogo Cruzado (2016), who implemented a maintenance plan focused on increasing reliability and achieved an improvement of 8.31%.

In conclusion, the development of the preventive maintenance plan contributed not only to the increase in the reliability of the drum brake set by 7.7%, by addressing specifically the critical subsystems, marking a notable advance in the effectiveness of preventive maintain, it can also be noted that the safety in operations increased significantly since the implementation of the maintenance plan.

Keywords: Bridge Cranes, Preventive Maintenance, Reliability, Drum Brake.

I. INTRODUCCIÓN

El mantenimiento preventivo es una parte vital de la ingeniería mecánica y electromecánica para prevenir fallos y optimizar la eficiencia operacional de los equipos industriales. Sin embargo, existe un problema real relacionado con el mantenimiento del conjunto de frenos de tambor, como es la situación de las grúas del tipo puente de gran tonelaje, lo que requiere investigaciones para abordar esta situación.

Las grúas puente de 54 toneladas son equipos de gran tonelaje que desempeñan un papel fundamental en diversas industrias, como la industrial, minera y de producción. Estas grúas están expuestas a un trabajo intensivo y a condiciones ambientales adversas, lo que genera desgaste acelerado en el conjunto de freno de tambor, especialmente en las zapatas de freno y el tambor.

Debido al uso continuo y las altas cargas a las que están sometidas, las zapatas de freno y el tambor de estas grúas puente experimentan fricción y calor, lo que provoca un desgaste gradual de los componentes. Además, la contaminación producida en el entorno industrial, como partículas y polución, se acumula en las superficies de fricción, comprometiendo aún más la efectividad del sistema de frenado.

La falta de mantenimiento adecuado y oportuno del conjunto de frenos de tambor puede tener consecuencias graves. El desgaste acelerado y la falta de intervenciones específicas pueden conducir a una reducción significativa de la capacidad de frenado de las grúas de puente, aumentando el riesgo de fallas del sistema pudiendo comprometer la seguridad de aquellos que participan en las operaciones.

Además, cada momento no planificado de inactividad causado por un fallo del sistema de frenado representa un costo significativo en términos de pérdida de producción y reparaciones urgentes. Los programas de mantenimiento preventivo basados en intervalos de tiempo establecidos no tienen en cuenta las condiciones de deterioro real y pueden resultar en intervenciones innecesarias y costosas, lo que resulta en una pérdida de tiempo y dinero.

Por lo tanto, es evidente que existe una realidad problemática en el mantenimiento del conjunto de freno de tambor de las grúas puente de 54 toneladas. La falta de un

enfoque preventivo específico impide una gestión eficiente de las actividades de mantenimiento, resultando el aumento de los periodos de para no programados, costos innecesarios y riesgos para la seguridad de las operaciones.

Ante esta realidad, es fundamental abordar el problema mediante una investigación que desarrolle un plan de mantenimiento preventivo adecuado con respecto al conjunto de freno de tambor de las grúas puente de 54 toneladas. Este enfoque basado en datos en tiempo real permitirá predecir y controlar el desgaste de las zapatas y el tambor, optimizando la seguridad operativa, disminuyendo los periodos de inactividad y mejorar los costos asociados con el mantenimiento de estos componentes críticos. Ante la situación problemática expuesta anteriormente, es inevitable formular de forma contundente el problema que se aborda en esta investigación: “El conjunto de freno de tambor en las grúas puente de 54 toneladas enfrenta un desgaste acelerado debido al trabajo intensivo y a las condiciones ambientales adversas a las que están expuestas. Este desgaste compromete la capacidad de frenado y aumenta el riesgo de fallas en el sistema, permitiendo la vulnerabilidad de riesgos en las operaciones y de las personas involucradas.” Además, los programas de mantenimiento preventivo basados en intervalos de tiempo fijos no consideran las condiciones reales de desgaste y pueden llevar a intervenciones innecesarias y costosas, desperdiciando recursos. La falta de un enfoque preventivo específico impide una gestión eficiente de las actividades de mantenimiento, lo que resulta en periodos de para no programados, costos innecesarios y riesgos para la seguridad de las operaciones.

Por lo tanto, el problema abordado en esta investigación es la falta de un plan específico de mantenimiento del tipo preventivo del conjunto de frenos de rueda de las torretas de 54 toneladas. Esta deficiencia impide el manejo efectivo de las actividades de mantenimiento, lo que resulta en más retrasos imprevistos, gastos innecesarios y riesgos de seguridad operativa.

El enfoque actual, que se basa en programas de mantenimiento preventivo, no tiene en cuenta las condiciones actuales de uso de zapatas y tambor, ni el requerimiento de intervenciones específicas. Esto resulta en un desperdicio de tiempo y dinero al reemplazar partes que pueden tener una vida útil adicional o realizar intervenciones innecesarias.

En resumen, la problemática a debatir en el estudio actual es la falta de un enfoque preventivo específico para el mantenimiento del conjunto de freno de tambor de las grúas puente de 54 toneladas, lo que resulta en periodos de para no programados, costos innecesarios y riesgos para la seguridad de las operaciones. Esta situación requiere de un plan de mantenimiento del tipo preventivo que considere el desgaste real de las zapatas y el tambor, y que permita tomar decisiones informadas sobre las actividades de mantenimiento necesarias. Finalmente se formula la pregunta de investigación: ¿Qué efecto produce el desarrollo de un plan de mantenimiento preventivo en el conjunto de freno de tambor de la grúa puente para incrementar de la confiabilidad?

Esta investigación se justifica por diversas razones. En primer lugar, se busca garantizar la seguridad operativa de las grúas puente al garantizar el buen funcionamiento de los componentes de freno. Además, se busca optimizar la eficacia de la operatividad al prevenir los periodos de para no programados y reducir los presupuestos económicos que están vinculados con el mantenimiento y las reparaciones. Asimismo, esta investigación promueve el avance tecnológico en la rama de la ingeniería mecánica, específicamente en el mantenimiento de equipos industriales.

El objetivo general de la presente investigación es elaborar un plan de mantenimiento preventivo para incrementar la confiabilidad del conjunto freno de tambor de una grúa puente de 54 toneladas. Los objetivos específicos que se han propuesto son: a) Evaluar la confiabilidad del conjunto freno tambor de la grúa puente de 54 toneladas; b) Estructurar el plan de mantenimiento preventivo para conjunto freno tambor de una grúa puente de 54 toneladas; c) Implementar el plan de mantenimiento preventivo para incrementar la confiabilidad del conjunto freno tambor de una grúa puente de 54 toneladas.

"Se espera que la realización del plan de mantenimiento del tipo preventivo para mejorar la confiabilidad del conjunto freno tambor d una grúa puente de 54 toneladas permita reducir los periodos de para no programados y mejorar los presupuestos económicos de mantenimiento asociados, mejorando así la seguridad operativa y la eficiencia en el funcionamiento de las grúas puente de 54 toneladas", dice la hipótesis.

II. MARCO TEÓRICO

La investigación actual se basa en estudios preliminares que han contribuido al tema en cuestión. Con el objetivo específico de evaluar la frecuencia de fallas de equipo y analizar su importancia para identificar aquellos considerados críticos, Quisintuña (2023), realizó una investigación que incluyó encuestas de operadores en el campo de la mecánica metalúrgica. Después, propusieron una herramienta para evaluar la confiabilidad de estos equipos esenciales. Además, propusieron la creación de un catálogo de fallos basado en el Modal Failure and Effect Analysis (AMFE), específico para cada equipo vital. Utilizando los datos recopilados, implementaron un modelo paramétrico Weibull para controlar la fiabilidad. Ellos demostraron a través del uso de programa de hoja de cálculo que el desarrollo de un inventario de fallos de acuerdo con el SAE JA1011 y otras normas de apoyo en la sistematización ese inventario.

De manera similar, la investigación realizada por Ortega y Verona (2004), enfatizó la importancia de implementar indicadores de mantenimiento. Para familiarizar a los empleados con ellos, propuso indicadores como la disponibilidad de equipamiento, la eficiencia y el tiempo promedio de corrección. La selección de los indicadores para implementar se basó en una tablilla que contenía varios tipos de indicadores y sus ventajas y desventajas. Después, cinco equipos fueron elegidos para evaluar los indicadores seleccionados, llegando finalmente a un marcador de estos indicadores. Los autores concluyeron que; los indicadores contribuyen al crecimiento de la empresa porque permiten la creación de un archivo histórico y brindan soluciones para cada falla de máquina.

En un artículo comparable, Campos López (2019), presento un mantenimiento basado en la fiabilidad que abordó el procedimiento de RCM. A lo largo del proceso de RCM, identificaron la necesidad de información detallada sobre el equipo para obtener respuestas. Para lograr esto, se propuso una técnica de mantenimiento basada en estándares como SAE JA1011, ISO 14224 y el archivo OREDA. El método propuesto se desarrolla a través de tres componentes clave: antes de la implementación de la RCM (recopilación de información y creación de taxonomía), durante la evaluación de la CCM (normalización y modos de falla, clasificación de efectos de falla),

posteriormente la evaluación de CMP (implementación de plan de mantenimiento, evaluación de recomendaciones y medición). Ellos llegaron a la conclusión de que la definición de taxonomía según ISO 14224 facilitó la aplicación de la metodología RCM. Estos estudios previos proporcionan un respaldo sólido para la presente investigación, ya que abordan aspectos clave relacionados con la confiabilidad de los equipos, la elaboración de catálogos de fallos, la metodología RCM y la implementación de indicadores de mantenimiento. Al aprovechar y construir sobre los conocimientos generados en estos estudios, esta investigación presenta como objetivo mejorar la percepción y aplicación de estrategias efectivas de mantenimiento en el área temática específica. Mediante la integración de los hallazgos y enfoques previos, se busca proporcionar aportes significativos que contribuyan al desarrollo y mejora continua de las prácticas de mantenimiento en ámbito empresarial.

Idrogo Cruzado (2016), encontró una pérdida de 8715 horas de producción en el primer diagnóstico del estado de mantenimiento de los propulsores eléctricos. La disponibilidad (90.45%), la durabilidad (7.19%) y la confiabilidad (90.4%) fueron los indicadores de mantenimiento registrados durante esta evaluación. Antes de crear los documentos FEMEA, se realizó una evaluación de crítica. Sin embargo, después de ejecutar la implementación del mantenimiento enfocado en la fiabilidad, los índices de mantenimiento mejoraron significativamente, alcanzando el 98.76% de disponibilidad, el 22.93% de durabilidad y el 98,13% de fiabilidad. El análisis comparativo entre las evaluaciones iniciales y finales mostró que la implementación de mantenimiento enfocado en la fiabilidad no solo aumentó los valores de indicadores, sino que también disminuyó los costes de mantenimiento, lo que tuvo un impacto óptimo en la economía de la empresa.

Además, Díaz Concepción (2016), crea un artículo en el que se desarrolla una herramienta de encuesta para analizar la factibilidad de la implementación de un plan de mantenimiento enfocado en la confiabilidad (RCM); como política de gestión de mantenimiento en una entidad de transmisión de electricidad. Validaron el instrumento, obteniendo un 92% de confiabilidad para la primera variable, que se consideró muy buena, y un 72% de confianza para la segunda variable que se clasificó como

aceptable. Después pusieron en práctica el instrumento y descubrieron que era efectivo y encontraron conexiones con expertos en el campo.

Sin embargo, Salazar Saldaña (2019), realizó una tesis en la que se implementó un plan de mantenimiento enfocado en la fiabilidad en la empresa Lesser S.A.C. El estudio comenzó con una encuesta de 98 preguntas para evaluar la situación actual de mantenimiento. La siguiente es una lista de todo el equipo utilizado en la producción de hielo que estaba completamente operativo para llevar a cabo una investigación de crítica utilizando operaciones matemáticas. Después, se llevó a cabo un diagnóstico de impacto del modo de falla (AMFE) y se utilizaron indicadores para determinar la disponibilidad de equipos cruciales. Una programación de mantenimiento se creó a partir de los datos de AMFE con el propósito de establecer el camino para llevar a la práctica el mantenimiento adecuado. Finalmente, se evaluó la disponibilidad del equipo y se llegó a la concluir que la propuesta de implementación era una solución viable.

Los estudios previos realizados por Díaz Concepción (2016), Idrogo Cruzado (2016) y Salazar Saldaña (2019), proporcionan pruebas significativas sobre la implementación y los resultados adquiridos al implementar estrategias de mantenimiento centradas en la confiabilidad. Encontraron que se necesitan enfoques basados en la confiabilidad y una gestión eficiente del mantenimiento en las organizaciones, con el propósito de incrementar la disponibilidad del equipo, optimizar la eficiencia de los procedimientos de producción y disminuir los gastos de mantenimiento. Estos estudios previos son esenciales para apoyar la relevancia y el impacto potencial de la presente investigación en el ámbito del mantenimiento industrial.

El presente estudio se basa en diversas teorías y conceptos relacionados con el mantenimiento enfocado en la fiabilidad (RCM) y el diagnóstico de criticidad, con la finalidad de optimizar la gestión de mantenimiento en una planta industrial de tejidos artesanales. Estos enfoques teóricos proporcionarán una base sólida para comprender y abordar los desafíos asociados con el mantenimiento de los equipos y la optimización de su funcionamiento.

La técnica de mantenimiento enfocado en la fiabilidad (RCM) establece las acciones necesarias para garantizar que un dispositivo continúe funcionando de acuerdo con las necesidades de los operadores. Se enfoca en evaluar los errores más significativos

del sector, analizar sus efectos y encontrar formas de evitarlos en el futuro. Además, se destacan términos importantes como la fiabilidad, la disponibilidad y el mantenimiento, que forman parte del mantenimiento diario y están estrechamente relacionados con la tarea de asegurar el funcionamiento fiable y de alta calidad de los equipos e instalaciones.

La administración del mantenimiento basada en RCM se basa en una variedad de métodos y herramientas, como las inspecciones de mantenimiento, evaluaciones de fallas probabilísticas, evaluaciones basadas en el riesgo (RBA), fiabilidad, disponibilidad y estudios de mantenimiento (RAM) y diagramas de fiabilidad de bloques (RBD). Estas técnicas proporcionan enfoques y metodologías estructuradas para evaluar y mejorar la confiabilidad del equipo, así como para implementar planes de mantenimiento eficaces.

Una parte crítica del mantenimiento es la evaluación de la crítica. El análisis de la crítica permite establecer un orden de prioridad en procedimientos y activos físicos, brindando facilidades en la toma de decisiones adecuadas y efectivas. Para llevar a cabo esta investigación, se utilizan métodos para identificar y organizar grupos según el grado de riesgo y su impacto en la seguridad, la economía y otros aspectos pertinentes. En este contexto, el modelo de crítica semicuantitativa "CTR" combina factores como el impacto operativo, la flexibilidad operativa, los costes de mantenimiento y el impacto en la seguridad, la higiene y el medio ambiente para determinar el riesgo crítico total.

Además, se hace hincapié en la importancia de las evaluaciones de formas de Fallo y Efecto (AMEF), que es un proceso sistemático para detectar y prevenir un fallo de un producto o proceso antes de que ocurra. Esta evaluación reduce los riesgos asociados y mejora la confiabilidad de los activos. Con AMEF, se examina en detalle la estructura del proceso, se identifican las formas de fallo, se analizan sus efectos y se determinan las causas fundamentales. El resultado es una estrategia preventiva que permite establecer controles y actividades para prevenir o reducir las fallas.

En resumen, la base teórica de esta investigación está respaldada por la investigación crítica, técnicas de evaluación de fallas como AMEF, y herramientas y conceptos relacionados con el mantenimiento en el sector. Estas bases teóricas proporcionarán

una estructura sólida de conocimientos para la realización de estrategias de mejora de la administración del mantenimiento de la planta industrial de tejidos artesanales, permitiendo optimizar la confiabilidad y el rendimiento del equipo.

Para garantizar una comprensión completa del estudio sobre análisis de crítica y mantenimiento enfocado en la confiabilidad en una fábrica de tela industrial, es fundamental establecer una serie de conceptos clave que se utilizarán durante el estudio. Una descripción reescrita de estos términos se presenta a continuación, brindando al lector una comprensión profunda de los conceptos involucrados.

La atención centrada en la fiabilidad (RCM): Es un enfoque metodológico que pretende definir las acciones necesarias para asegurar el funcionamiento óptimo de los equipos y sistemas, teniendo en cuenta sus necesidades operacionales. El RCM se basa en la evaluación de las fallas más pertinentes, la evaluación de sus efectos y la búsqueda de métodos para prevenir o reducir su impacto en el futuro. El objetivo principal es maximizar la fiabilidad, disponibilidad y durabilidad de los activos mientras se reducen los costes de mantenimiento.

La confiabilidad hace mención a la eficiencia de un componente, sistema o proceso para funcionar correctamente y sin averías en el transcurso del tiempo específico y en circunstancias específicas. La fiabilidad se mide mediante métricas como el tiempo promedio entre averías (MTBF) y el porcentaje de tiempo de operación efectiva (Uptime).

La disponibilidad es el grado en que un dispositivo o sistema es operativo y preparado para realizar sus funciones cuando sea necesario. La disponibilidad se puede calcular dividiendo la hora de operación actual por la hora total, que incluye las paradas planeadas y no planificadas.

La capacidad de un dispositivo o sistema para ser reparado eficiente y efectivamente se conoce como mantenimiento. Según Chávez Cadena (2020), la sostenibilidad se refiere a la sencillez y rapidez con la que se puede realizar la atención preventiva, correctiva o predictiva, así como el acceso de repuestos y materiales necesarios para llevar a término estas actividades.

Una herramienta para evaluar y mejorar la eficiencia del mantenimiento. Se compone de una revisión sistemática de las políticas, prácticas y procedimientos de

mantenimiento con el objetivo de detectar puntos a mejorar y optimizar la fiabilidad y eficiencia de las labores de mantener.

Análisis Probabilístico de Fallas: Es un enfoque que utiliza técnicas estadísticas y probabilísticas para evaluar la probabilidad de ocurrencia de fallas en equipos o sistemas. Este análisis considera factores como la frecuencia de falla, la gravedad de las consecuencias y la detección de las fallas, con el objetivo de identificar y priorizar las acciones de mantenimiento (Piqué y Cejalvo, 1998).

El análisis basado en el riesgo (RBA): es una técnica que busca evaluar y administrar los peligros relacionados con las operaciones y el mantenimiento de activos. RBA se basa en el reconocimiento de peligros potenciales, su análisis en términos de probabilidad e impacto, y la implementación de riesgos de mitigación o control para disminuir los riesgos a niveles aceptables (ISO 31000:2018).

Análisis de formas de fallo y efectos (AMEF): Es un método organizado empleado para analizar y diagnosticar las posibles formas de fallas en un componente o sistema, así como los efectos que estos fallos pueden tener en el rendimiento y la seguridad. El AMEF se basa en la asignación de índices de severidad, aparición y detección a cada modo de falla, lo que permite establecer prioridades para las acciones de mantenimiento y mejora. La evaluación de las formas de fallo y los efectos: FMEA desde la teoría hasta la ejecución.

Los sensores desempeñan un papel esencial en la implementación de un plan de mantenimiento preventivo para el conjunto de freno motor en las grúas puente de 54 toneladas. Estos dispositivos permiten monitorear continuamente el estado del conjunto de freno, especialmente el espesor de las zapatas y el tambor, proporcionando información precisa sobre su desgaste y permitiendo la detección temprana de posibles fallas.

Dentro del contexto de esta investigación, se exploran diversas opciones de sensores que pueden ser empleados para medir el espesor desgastado en el conjunto de freno motor. Uno de los sensores normalmente empleados es el sensor ultrasónico. Este tipo de sensor transmite pulsos ultrasónicos, midiendo el tiempo que demora en recibir el eco de vuelta después de rebotar en la superficie del material. La variación en el tiempo de vuelo del eco se correlaciona directamente con el espesor del material,

permitiendo estimar el desgaste de las zapatas y el tambor. Los sensores ultrasónicos son no invasivos y pueden ser instalados en áreas de difícil acceso, lo que los hace en una alternativa práctica para la monitorización en grúas puente.

Otra alternativa es el uso de sensores de sacrificio por contacto, a medida que el espesor de las zapatas y el tambor disminuye debido al desgaste, la distancia entre el tambor y el sensor disminuye, entrando en contacto con el sensor, el cual estaría instalado a una distancia menor que la de los remaches de las zapatas. Los sensores de sacrificio ofrecen una medición precisa cuando las zapatas alcanzan su máximo desgaste permitido antes de entrar en contacto el remache de estas con el tambor de freno, lo que permite una evaluación precisa del desgaste y una alerta. Se considera como prueba pre experimental el sensor SKU# SKWW-0190137.

Adicionalmente, los sensores magnéticos también pueden ser considerados en el monitoreo del conjunto de freno. Estos sensores detectan cambios en el campo magnético causados por el adelgazamiento del material. Al medir la fuerza magnética, se puede estimar el espesor restante y evaluar la necesidad de mantenimiento.

Es importante destacar que la selección del sensor adecuado dependerá de varios factores, incluyendo la ubicación de instalación, el acceso a la zona de medición y la precisión requerida. La combinación de diferentes tipos de sensores y su integración en un sistema de monitoreo completo puede brindar un panorama detallado y preciso de la situación del conjunto de freno motor.

Estos términos conceptuales sientan las bases necesarias para un enfoque sólido en el análisis de criticidad y el mantenimiento enfocado en la confiabilidad en una planta industrial de tejidos artesanales. Su comprensión profunda y precisa permitirá a los lectores familiarizarse con los conceptos clave y seguir eficazmente el desarrollo y los resultados de esta investigación.

Figura 1 Puente Grúa a estudiar en operación



Fuente: Obtenida de la unidad minera.

III. METODOLOGÍA

3.1 Tipo y diseño de investigación

3.1.1 Tipo de investigación

Esta investigación se adscribe a la categoría de investigación aplicada y sigue un diseño de investigación cuantitativo experimental. En este enfoque, se llevará a cabo una descripción detallada y una evaluación de las variables en un momento específico, sin realizar manipulaciones ni controles de variables independientes. En el marco de este estudio, se recopilarán datos procedentes de diversas grúas puente con una capacidad de carga de 54 toneladas, con el fin de evaluar la confiabilidad del conjunto de freno. Asimismo, se tiene como objeto determinar la efectividad de un plan de mantenimiento preventivo en la mejora de dicha fiabilidad. Adicionalmente, se efectuará un análisis comparativo con el propósito de establecer relaciones entre variables y realizar inferencias acerca de la relación existente entre implementar un plan de mantenimiento preventivo y la fiabilidad del conjunto de freno en las grúas puente seleccionadas.

3.2 Variables y operacionalización

3.2.1 Variable dependiente: confiabilidad del conjunto de freno de tambor

- **Definición Conceptual:** La variable "confiabilidad del conjunto de freno de tambor" hace referencia a la capacidad del sistema de frenado en las grúas puente de 54 toneladas para funcionar de manera consistente y eficiente durante su operación. Esta variable dependiente se evaluará considerando la incidencia y severidad de las fallas del conjunto de freno, así como el intervalo medio entre averías (MTBF) y el porcentaje de tiempo de operación efectiva (Uptime).
- **Definición Operacional:** La operacionalización de esta variable implica la recopilación de datos relacionados con las fallas del conjunto de freno de tambor. Esto incluye el registro del número de fallas que ocurren durante un período de tiempo especificado, la duración de las interrupciones asociadas a estas fallas y el tiempo promedio requerido para llevar a cabo las reparaciones necesarias. Además, se calcularán indicadores clave como el MTBF y el Uptime para cuantificar

la confiabilidad en términos numéricos. Estos indicadores proporcionarán una medida objetiva de la eficacia del plan de mantenimiento preventivo en aumentar la confiabilidad del conjunto de freno de tambor en las grúas puente de 54 toneladas seleccionadas.

3.2.2 Variable independiente: desarrollo de un plan de mantenimiento preventivo

- Definición conceptual: La variable "desarrollo de un plan de mantenimiento preventivo" hace referencia al proceso de concepción y elaboración de un plan detallado que establece las acciones y actividades de mantenimiento necesarias para prevenir fallos y maximizar la confiabilidad del conjunto de freno de tambor en las grúas puente de 54 toneladas. Este plan se basa en la evaluación de datos recopilados, evaluaciones de riesgo y consideración de las mejores prácticas y tecnologías disponibles.
- Definición operacional: La operacionalización de esta variable implica la creación de un plan de mantenimiento preventivo específico para el conjunto de freno de tambor en las grúas puente de 54 toneladas seleccionadas. Este plan incluye la identificación de actividades de mantenimiento preventivo, como inspecciones regulares, ajustes y sustitución programada de componentes. Además, establece criterios y umbrales para determinar el momento adecuado para desarrollar estas acciones. El plan de mantenimiento preventivo se desarrolla considerando los resultados del análisis de datos sobre el desgaste acelerado y la contaminación. Se centra en la mejora de la confiabilidad y el alargamiento de la durabilidad del conjunto de freno de tambor en las grúas puente de 54 toneladas.

3.3 Población, muestra y muestreo

3.3.1 Población

Todas las grúas de puente de 54 toneladas que utilizan un freno de tambor instalado en su sistema de frenado serán la población objetivo para este estudio. Estas grúas de puente se utilizan en entornos industriales y mineros, donde están expuestas a condiciones que aceleran el desgaste y la contaminación del conjunto de frenos del tambor. La selección de la población se basará en los criterios de inclusión. Estos

criterios incluyen grúas de puente con una capacidad de carga de 54 toneladas y un conjunto de frenos de disco. Por otro lado, las grúas de puente con cargas de más de 54 toneladas y sistemas de frenos de otro tipo estarán excluidas de la investigación.

3.3.2 Muestra

La muestra de este estudio consistirá en una selección representativa de grúas puente de 54 toneladas que satisfagan los criterios de inclusión establecidos. Dado que se emplea un enfoque de muestreo no probabilístico, se seleccionará una de las grúas puente de manera intencional, teniendo en cuenta tanto la disponibilidad de las ubicaciones industriales y mineras como la adecuación a los criterios de inclusión. Esta muestra permitirá obtener datos representativos y significativos para el análisis del desgaste y la contaminación del conjunto de freno de tambor, así como para la realización del plan de mantenimiento preventivo.

3.3.3 Muestreo

El muestreo en este estudio se llevará a cabo utilizando un enfoque no probabilístico. Se elegirán intencionalmente diferentes ubicaciones industriales y mineras donde se encuentren las grúas puente de interés. A continuación, se realizará un muestreo intencional para seleccionar la grúa puente de 54 toneladas que cumpla con los criterios de inclusión. Este enfoque de muestreo permitirá obtener una muestra representativa de grúas puente de 54 toneladas, maximizando la variedad de contextos operativos y asegurando la inclusión de equipos relevantes para el estudio. La combinación de muestreo intencional y la elección de ubicaciones permitirá la representatividad y la relevancia de la muestra en relación con los objetivos de investigación y los criterios establecidos.

3.3.4 Unidad de análisis

El enfoque de estudio se centra en una grúa puente de 54 toneladas que cumpla con los criterios de inclusión. Esta grúa puente será considerada como una unidad independiente para recopilar datos e información específica relacionada con el desgaste y la contaminación del conjunto de freno de tambor, así como para la realización de un plan de mantenimiento preventivo. Al centrarse en una grúa puente individualmente, se podrá obtener un análisis detallado y específico de las condiciones

de mantenimiento y los factores que afectan la confiabilidad del conjunto de freno. Esta unidad de análisis permitirá una evaluación exhaustiva de las características y el rendimiento de cada grúa puente vinculado con el objeto de estudio.

3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para realizar los objetos de este estudio y abordar la preocupación por la seguridad del personal en las operaciones y la confiabilidad del funcionamiento del conjunto de freno de tambor, se incorporará un enfoque crucial en la implementación de sensores de sacrificio en las zapatas del conjunto de freno. Estos sensores estarán diseñados para detectar el desgaste del espesor de las zapatas, lo que constituye un aspecto fundamental para prevenir situaciones de riesgo y optimizar la confiabilidad del sistema de frenado. Los sensores serán calibrados con precisión para monitorear el desgaste y, cuando se alcance el espesor mínimo seguro, enviarán una señal de advertencia a la cabina de operación. Esta señal será manifestada mediante una luz de advertencia, alertando a los operadores sobre el requerimiento de realizar acciones en el sistema de frenado. La implementación de estos sensores busca abordar los desafíos inherentes al uso intensivo y a las demandas operativas del conjunto de freno de tambor. Esto permitirá prevenir el desgaste excesivo de las zapatas, que, si no se atiende a tiempo, podría llevar al daño de los remaches y, en última instancia, a la fisuración o ruptura del tambor de freno. Esta medida preventiva se alinea con un enfoque de mantenimiento preventivo, donde se prioriza la seguridad y la integridad del equipo.

3.5 Procedimientos

Para lograr un enfoque progresivo y coherente en el desarrollo del plan de mantenimiento preventivo, se establecerán los siguientes pasos:

1. Identificación de Requisitos Específicos:

Se realizará una revisión exhaustiva de los requisitos y demandas operativas de las grúas puente de 54 toneladas. Esto incluirá un análisis de las condiciones de trabajo, cargas y frecuencia de uso, así como las especificaciones del conjunto de freno de tambor y las zapatas.

2. Selección y Calibración de Sensores:

Se identificarán los sensores adecuados para medir el desgaste en las zapatas. Los sensores serán calibrados con precisión para asegurar mediciones confiables y precisas del espesor de las zapatas.

3. Diseño del Sistema de Alerta:

Se diseñará y establecerá el sistema de alerta que transmitirá la señal de desgaste desde los sensores a la cabina de operación. Esto incluirá la instalación de luces de advertencia y sistemas de visualización.

4. Desarrollo del Plan de Mantenimiento Preventivo:

En base a los datos recaudados por los sensores y el sistema de alerta, se creará un plan detallado de mantenimiento tipo preventivo. Este plan definirá las acciones de mantenimiento tipo preventivo específicas, incluyendo inspecciones, ajustes y reemplazos programados, y establecerá umbrales de intervención.

5. Capacitación de Operadores:

Los operadores serán entrenados para interpretar y responder a las señales de alerta emitidas por el sistema. Esto garantizará una respuesta efectiva y oportuna ante la necesidad de mantenimiento.

3.6 Método de análisis de datos

El método sobre el análisis de datos ejecutado en la presente investigación es cuantitativo preexperimental se fundamenta en la identificación de diferentes tipos de fallas, así como en el procesamiento de datos cuantitativos recaudados en el transcurso de la indagación científica. Al implantar el plan de mantenimiento tipo preventivo para el conjunto de freno de tambor en grúas puente de 54 toneladas requirió un método sistemático estructurado en la evaluación de los subsistemas clave. En una primera fase del análisis, se llevó a cabo la identificación de “modos y efectos de fallas” (AMEF), que consistió en un estudio exhaustivo de los posibles modos de falla en el conjunto de freno de tambor. Este proceso implicó la revisión de la operación de la grúa puente, la determinación de las formas de fallos potenciales, la evaluación de los efectos de esas fallas y la asignación de puntajes de severidad, ocurrencia y detección.

Posteriormente, se continuó con el procedimiento de datos cuantitativos recopilados de la grúa puente seleccionada, la cual sirvió como muestra representativa. Este procesamiento incluyó la recopilación de información sobre la frecuencia de averías, promedio temporal entre averías (MTBF) y el promedio temporal para la reparación llamado MTTR en los subsistemas críticos identificados previamente.

La evaluación de la confiabilidad y eficiencia operativa se llevó a cabo mediante técnicas especializadas respaldadas por una revisión teórica exhaustiva. Los resultados obtenidos permitieron identificar patrones, tendencias y áreas críticas que fundamentaron la formulación de estrategias específicas en el plan de mantenimiento preventivo.

Este enfoque analítico riguroso garantizó una comprensión profunda de la problemática, ofreciendo una base estructura para la toma de acuerdos determinados al implantar el plan de mantenimiento tipo preventivo.

3.7 Aspectos éticos

Este estudio se realizará con estricto respeto a los principios éticos y consideraciones de confidencialidad. Se obtendrá el consentimiento informado de los operarios y demás trabajadores incluidos para la recopilación de datos y la implementación de los sensores. Además, se garantizará la protección y privacidad de los datos recopilados, utilizando métodos seguros de almacenamiento y análisis. La información y los datos recolectados se utilizarán exclusivamente para los fines de la investigación. Cualquier información que pueda identificar a las grúas puente o a la organización en estudio no será compartida sin previo consentimiento. Los resultados se presentarán en forma agregada y anónima para resguardar la confiabilidad de los participantes y de la organización.

3.8 Aspecto económico

En cuanto al aspecto económico del plan de mantenimiento del tipo preventivo, se realizó una evaluación exhaustiva de los presupuestos involucrados en la implementación de este. Los costos considerados incluyen horas hombre, repuestos, herramientas, equipo de protección personal (EPP) y consumibles, como se visualiza en el cuadro:

Tabla 1*Costos asociados*

| | ÍTEM | COSTO (S/) | CANTIDAD | TOTAL (s/) |
|--------------|----------------------------|-------------------|-----------------|-------------------|
| | HORAS HOMBRE | 20 | 20 | 440 |
| REPUESTOS | ZAPATAS | 600 | 2 | 1200 |
| | PERNOS | 20 | 4 | 80 |
| HERRAMIENTAS | COMPARADOR DE SUPERFICIES | 300 | 1 | 300 |
| | VERNIER | 200 | 1 | 200 |
| EPP | RESPIRADOR | 100 | 1 | 100 |
| | LENTES HERMÉTICOS | 50 | 1 | 50 |
| CONSUMIBLES | WD40 | 30 | 1 | 30 |
| | AEROSOL LIMPIA SUPERFICIES | 35 | 2 | 70 |
| | TOTAL | | | 2470 |

*Total 2,470.00 nuevos soles.

Fuente: Elaborada con datos propios de la unidad minera.

En la tabla 1, se analizan los presupuestos asociados a la implementación de dicho plan, incluyendo horas hombre, repuestos, herramientas, equipo de protección personal (EPP) y consumibles. Por ejemplo, se considera que las horas hombre representan un gasto significativo, con un total de 440 nuevos soles asignados para esta partida. Asimismo, se incluyen los costos de repuestos como zapatas y pernos, fundamentales para la ejecución de las labores de mantenimiento.

Es importante destacar que estos costos son aproximados y pueden variar según el tipo y la extensión de las inspecciones realizadas. Sin embargo, el análisis económico va más allá de estos costos directos. Se sugiere que al implantar el plan de mantenimiento de tipo preventivo puede generar un ahorro significativo para la empresa al evitar pérdidas asociadas a paradas no programadas de las grúas y a la interrupción en la producción de cobre. Por ejemplo, considerando el valor de una olla de cobre líquido, que puede superar los 400,000 nuevos soles, se evidencia el potencial impacto económico positivo de mantener la confiabilidad operativa de las grúas mediante un plan preventivo adecuado (Torres, 2005).

Este análisis económico respalda la inversión en el plan de mantenimiento del tipo preventivo como una medida rentable y estratégica para la empresa, al tiempo que subraya la importancia de considerar no solo los costos directos, sino también las ventajas a tiempo prolongado en cuanto a la disponibilidad operativa y producción.

IV. RESULTADOS

En este apartado del índice, se destacan los resultados obtenidos de la muestra siendo elegida la grúa número 3 de la sala norte 1 luego de implementar una metodología preexperimental para desarrollar un plan de mantenimiento preventivo con el propósito de aumentar la confiabilidad del conjunto de freno de tambor en una de las 3 grúas puente de 54 toneladas ubicadas en la sala norte 1. A pesar de que la población comprende tres grúas puente de convertidores en una instalación industrial, se tomó una de ellas como muestra representativa para ser evaluada, esto por la disponibilidad de la misma. Las otras dos grúas servirán para realizar comparaciones posteriores y determinar si el plan de mantenimiento tipo preventivo realmente beneficia a la empresa.

4.1 Evaluación de la confiabilidad del conjunto freno tambor de la grúa puente de 54 toneladas

Los resultados obtenidos revelaron un nivel de confiabilidad inquietantemente bajo del conjunto de freno tambor, que se situó en un 6.31%. Esta baja confiabilidad es un indicador claro de las dificultades experimentadas debido a las fallas recurrentes en subsistemas críticos. La raíz de este problema puede rastrearse a la falta de mantenimiento preventivo efectivo. Esta revelación es significativa, ya que presenta la urgencia de implantar un plan de mantenimiento tipo preventivo para contrarrestar las fallas recurrentes y mejorar la confiabilidad del conjunto de freno tambor en la grúa puente.

4.1.1 Tiempo registrado de fallas de grúa puente

El estudio incluyó un registro detallado del tiempo en que ocurrieron las fallas en la grúa puente, siendo este periodo en el año 2021, dividiendo la grúa en varios subsistemas clave. Esta estructuración permitió analizar la distribución temporal de las fallas, destacando patrones mensuales y señalando aquellos subsistemas que experimentaron una mayor frecuencia de problemas. La Tabla 2 resume este registro y brinda una visión completa del rendimiento de la grúa puente durante el año examinado. El estudio incorporó un detallado registro temporal de las fallas ocurridas

en la grúa puente durante el año 2021. La división de la grúa en subsistemas clave permitió un análisis específico de cada componente.

Tabla 2*Tiempo registrado de fallas de grúa puente en el año 2021*

| NÚMERO DE FALLAS | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------------------|-------|-------|
| SUBSISTEMAS DE CONJUNTO DEL FRENO TAMBOR | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SET | OCT | NOV | DIC | TOTAL | % del | Total |
| | 1. Subsistema principal de motor eléctrico | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 4 | 11.1% |
| 2. Subsistema de acoplamientos mecánicos | 0 | 0 | 2 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 7 | 19.4% | |
| 3. Subsistema de pistón electrohidráulico | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 5.55% | |
| 4. Subsistema de estructura articulada | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 2.77% | |
| 5. Subsistema de tambor de freno | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2.77% | |
| 6. Subsistema de zapatas de freno | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 20 | 55.6% | |
| 7. Subsistema de reductor de eje motriz | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2.77% | |
| | | | | | | | | | | | | | Total, de fallas/año | 36 | 100% |

Total de fallas registradas en un año 36.Fuente: Elaborada con datos propios de la unidad minera.*

Los resultados revelaron diferencias significativas en cuanto a la frecuencia y criticidad de las fallas en estos subsistemas. El subsistema de zapatas de freno emergió como el más crítico, con un total de 20 fallas registradas por año. Estas 20 fallas representaron el 55.6% del total de las fallas registradas en la grúa puente utilizada como muestra, lo que indica una alta incidencia y una gran importancia en términos de impacto en la operación. En segundo lugar, en términos de criticidad, se ubicó el subsistema de acoplamientos mecánicos, con un total de 7 fallas registradas por año, lo que representó el 19.4% del total de fallas anuales. Este resultado destaca la necesidad de prestar una atención significativa a este subsistema, dado su impacto en la operatividad. Finalmente, el subsistema principal de motor eléctrico se ubicó en la tercera posición en cuanto a criticidad. Se registraron un total de 4 fallas en este subsistema, lo que representó el 11.1% del total de fallas anuales. Aunque menos frecuente en comparación con los otros subsistemas, la criticidad de las fallas en el motor eléctrico destaca su importancia y la necesidad de un mantenimiento cuidadoso. Estos hallazgos proporcionan una visión clara de la distribución de fallas en la grúa puente, lo que será fundamental para desarrollar un plan de mantenimiento tipo preventivo eficaz que priorice los subsistemas críticos y reduzca las interrupciones no planificadas en la operación de la empresa.

4.1.2 Tiempo promedio entre fallas (MTBF) de grúa puente

El estudio incluyó un registro detallado del tiempo promedio entre fallas de la grúa puente, siendo este periodo en el año 2021, dividiendo la grúa en varios subsistemas clave. Esta información detallada es esencial para comprender la confiabilidad individual de cada componente y orientará las estrategias de mantenimiento futuro. La Tabla 3, incorporada en este análisis, brinda una estructura sólida para la toma de acuerdos informados en la gestión y mejora continua del mantenimiento de la grúa puente. El estudio abordó una evaluación exhaustiva del tiempo promedio entre fallas (MTBF) de la grúa puente durante el año 2021, centrándose en los diferentes subsistemas que componen el conjunto de freno tambor. La Tabla 3 presenta detalladamente los MTBF mensuales y anuales para cada subsistema clave, ofreciendo una visión integral del rendimiento de la grúa.

Tabla 3

Tiempo promedio entre fallas (MTBF) de grúa puente en el año 2021

| TIEMPO PROMEDIO DE FALLAS O "MTBF" | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------------------|------------------|------------|
| SUBSISTEMAS DE CONJUNTO DEL FRENO TAMBOR | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SET | OCT | NOV | DIC | H. TOTAL, TRABAJADAS | NUMERO DE FALLAS | MTBF ANUAL |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2. Subsistema de acoplamientos mecánicos | 744 | 672 | 741 | 719 | 740 | 720 | 744 | 744 | 720 | 742 | 717 | 744 | 8747 | 7 | 1250 |
| 3. Subsistema de pistón electrohidráulico | 739 | 672 | 744 | 720 | 744 | 720 | 744 | 741 | 720 | 744 | 720 | 744 | 8752 | 2 | 4376 |
| 4. Subsistema de estructura articulada | 744 | 672 | 744 | 720 | 744 | 720 | 744 | 744 | 720 | 738 | 720 | 744 | 8754 | 1 | 8754 |
| 5. Subsistema de tambor de freno | 744 | 672 | 744 | 720 | 744 | 720 | 744 | 737 | 720 | 744 | 720 | 744 | 8753 | 1 | 8753 |
| 6. Subsistema de zapatas de freno | 740 | 668 | 740 | 716 | 740 | 717 | 740 | 740 | 717 | 741 | 717 | 740 | 8716 | 20 | 436 |
| 7. Subsistema de reductor de eje motriz | 744 | 672 | 744 | 720 | 744 | 720 | 744 | 736 | 720 | 744 | 720 | 744 | 8752 | 1 | 8752 |
| | | | | | | | | | | | | | Total / Año | 36 | |

**MTBF total/año: 34507*

Fuente: Elaborada con datos propios de la unidad minera

El análisis de estos datos reveló diferencias significativas en la frecuencia y criticidad de las fallas en estos subsistemas. Destacando entre ellos, el subsistema de zapatas de freno emergió como el más crítico, con un total de 436 horas promedio entre fallas de la grúa puente seleccionada.

En segundo lugar, en términos de criticidad, se situó el subsistema de acoplamientos mecánicos, con un total de 1250 horas promedio entre fallas de la grúa puente elegida. Este hallazgo subraya la necesidad de otorgar una atención significativa a este subsistema debido a su impacto directo en la confiabilidad del equipo.

Finalmente, el subsistema principal de motor eléctrico se posicionó en tercer lugar en cuanto a criticidad. Se registraron un total de 2186 horas promedio entre fallas de la grúa puente seleccionada. A pesar de que las fallas en este subsistema son menos frecuentes en comparación con otros, su criticidad resalta su relevancia y subraya la urgencia de implantar un plan de mantenimiento adecuado para mantener su rendimiento óptimo.

Estos hallazgos proporcionan una visión clara de la distribución de las fallas en la grúa puente y ayudarán en la toma de acuerdos fundamentales para el mantenimiento preventivo y preventivo, priorizando los subsistemas críticos para optimizar la confiabilidad y eficiencia del equipo.

4.1.3 Tiempo promedio para reparar (MTTR) de grúa puente

El estudio incluyó un registro detallado del tiempo promedio para reparar la grúa puente, siendo este periodo en el año 2021, dividiendo la grúa en varios subsistemas clave. El análisis detallado del tiempo promedio de reparación (MTTR) para los distintos subsistemas de la grúa puente, presentado en la Tabla 4, ofrece una visión integral del rendimiento en términos de tiempo de inactividad asociado a las fallas. Este análisis proporciona información valiosa sobre la eficiencia en la gestión de reparaciones, permitiendo identificar áreas de mejora y optimización de los pasos de mantenimiento y reparación de la grúa puente.

Tabla 4*Tiempo promedio para reparar (MTTR) de grúa puente en el 2021*

| TIEMPO PROMEDIO DE REPARACION (MTTR) (HORAS) | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---------------------------|--------------|------|
| SUBSISTEMAS DE CONJUNTO DEL FRENO TAMBOR | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SET | OCT | NOV | DIC | TOTAL HORAS EN REPARACION | REPARACIONES | MTTR |
| | 1. Subsistema principal de motor eléctrico | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 8 | 0 | 0 | 16 | 4 |
| 2. Subsistema de acoplamientos mecánicos | 0 | 0 | 3 | 1 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 3 | 0 | 13 | 7 | 1.85 |
| 3. Subsistema de pistón electrohidráulico | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 2 | 4 |
| 4. Subsistema de estructura articulada | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 0 | 0 | 6 | 1 | 6 |
| 5. Subsistema de tambor de freno | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 1 | 7 |
| 6. Subsistema de zapatas de freno | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 4 | 4 | 3 | 3 | 3 | 4 | 44 | 20 | 2.2 |
| 7. Subsistema de reductor de eje motriz | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 1 | 8 |
| Total / Año | | | | | | | | | | | | | 102 | 36 | |

Total de horas en reparaciones 102.Fuente: Elaborada con datos propios de la unidad minera*

El análisis de estos datos reveló diferencias significativas en cuanto a la frecuencia y criticidad de las fallas en estos subsistemas. De manera destacada, el subsistema de reductor de eje motriz surgió como el más crítico en términos de promedio temporal de reparación o llamado “MTTR”. Se requirieron en promedio 8 horas para reparar las fallas en la grúa puente en este subsistema. Este hallazgo subraya la alta incidencia de fallas y la importancia crítica de este subsistema, ya que las demoras en la reparación pueden tener un impacto significativo en la operación. En segundo lugar, en cuanto a criticidad se situó el subsistema de tambor de frenos, con un tiempo promedio de 7 horas para reparar las fallas. Este resultado resalta la necesidad de otorgar una atención considerable a este subsistema debido a su impacto en la operatividad.

Finalmente, el subsistema de estructura articulada ocupó la tercera posición en cuanto a criticidad, con un promedio de 6 horas para reparar las fallas en la grúa puente. A pesar de que las fallas en este subsistema son menos frecuentes en comparación con otros, su criticidad subraya su importancia y la necesidad de un mantenimiento cuidadoso.

Estos hallazgos ofrecen una visión clara de la distribución de las fallas en la grúa puente y servirán como el inicio crucial para la formulación de un plan de mantenimiento del tipo preventivo efectivo. Este plan deberá priorizar los subsistemas críticos identificados en este estudio, lo que contribuirá significativamente a reducir las interrupciones no planificadas en la operación de la empresa.

4.1.4 Confiabilidad del conjunto de freno tambor

El estudio incluyó un registro detallado de la confiabilidad del conjunto de freno tambor de la grúa puente, siendo este periodo en el año 2021, dividiendo la grúa en varios subsistemas clave. Este análisis permite identificar los subsistemas que impactan significativamente en la confiabilidad general del conjunto de freno tambor, sirviendo como guía para implementar estrategias de mejora y buen funcionamiento. La Tabla 5 presenta un análisis detallado de la confiabilidad de los distintos subsistemas del conjunto de freno tambor de la grúa puente durante el año 2021. La confiabilidad se

expresa como un porcentaje y se calcula mediante el tiempo de operación exitosa (MTBF) en relación con el tiempo total observado.

Tabla 5*Confiabilidad del Conjunto de Freno Tambor en el 2021*

| CONFIABILIDAD DEL CONJUNTO DE FRENO TAMBOR | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---------------|------------|
| SUBSISTEMAS DE CONJUNTO DEL FRENO TAMBOR | | | | | | | | | | | | | CONFIABILIDAD | MTBF ANUAL |
| | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SET | OCT | NOV | DIC | | |
| 1.Subsistema principal de motor eléctrico | 740 | 672 | 744 | 720 | 744 | 716 | 744 | 744 | 720 | 736 | 720 | 744 | 1.83% | 2186 |
| 2.Subsistema de acoplamientos mecánicos | 744 | 672 | 741 | 719 | 740 | 720 | 744 | 744 | 720 | 742 | 717 | 744 | 0.12% | 1250 |
| 3.Subsistema de pistón electrohidráulico | 739 | 672 | 744 | 720 | 744 | 720 | 744 | 741 | 720 | 744 | 720 | 744 | 14% | 4376 |
| 4.Subsistema de estructura articulada | 744 | 672 | 744 | 720 | 744 | 720 | 744 | 744 | 720 | 738 | 720 | 744 | 36.78% | 8754 |
| 5.Subsistema de tambor de freno | 744 | 672 | 744 | 720 | 744 | 720 | 744 | 737 | 720 | 744 | 720 | 744 | 36.78% | 8753 |
| 6.Subsistema de zapatas de freno | 740 | 668 | 740 | 716 | 740 | 717 | 740 | 740 | 717 | 741 | 717 | 740 | 0 | 436 |
| 7.Subsistema de reductor de eje motriz | 744 | 672 | 744 | 720 | 744 | 720 | 744 | 736 | 720 | 744 | 720 | 744 | 36.78% | 8752 |
| | | | | | | | | | | | | | Total/año | 6.31% |

Confiabilidad Total/año 6.31%Fuente: Elaborada con datos propios de la unidad minera*

Los resultados obtenidos revelaron un nivel de confiabilidad inquietantemente bajo del conjunto de freno tambor, que se situó en un 6.31%. Esta baja confiabilidad es un indicador claro de las dificultades experimentadas debido a las fallas recurrentes en subsistemas críticos. La raíz de este problema puede rastrearse a la falta de un mantenimiento preventivo efectivo.

Esta revelación es significativa, debido a que subraya la importancia de establecer un programa de mantenimiento preventivo para contrarrestar las fallas recurrentes y mejorar la confiabilidad del conjunto de freno tambor en la grúa puente. El estudio proporciona una base sólida para este enfoque, ya que identifica claramente los subsistemas más críticos y las áreas que requieren una atención inmediata. La implementación de un mantenimiento preventivo respaldado por la metodología PMO será esencial para elevar la confiabilidad y garantizar un funcionamiento más eficiente de la grúa puente.

4.2 Estructuración del plan de mantenimiento preventivo para incrementar la confiabilidad del conjunto freno tambor de una grúa puente de 54 toneladas

4.2.1 AMEF del conjunto freno tambor

La evaluación de Modo y Efecto de Averías del conjunto freno tambor representa una fase crucial en esta investigación. El propósito de esta evaluación es detectar y evaluar minuciosamente los modos de falla que pueden afectar el conjunto de freno tambor de las grúas puente de 54 toneladas.

Para llevar a cabo este proceso, se ha aplicado un enfoque sistemático y estructurado que implica la descomposición de los componentes del conjunto de freno tambor, la identificación de las posibles formas de falla asociados a cada elemento y un análisis del nivel de gravedad, la frecuencia y la capacidad de reconocimiento de cada modo de falla. Estos tres factores, conocidos como puntajes de gravedad, ocurrencia y detección, se multiplican para calcular el puntaje de Riesgo (RPN), lo que permite priorizar los modos de falla en función de su impacto potencial.

Este análisis detallado ha revelado los modos de falla más críticos que pueden poner en peligro la confiabilidad del conjunto de freno tambor. Además, brinda información valiosa para el desarrollo de un programa de mantenimiento preventivo efectivo. El

AMEF se basa en datos históricos de fallas, inspecciones técnicas y revisiones exhaustivas de la literatura científica y técnica relacionada con sistemas de frenado en grúas puente.

El resultado del AMEF proporciona una estructura sólida para el diseño de métodos de mantenimiento del tipo correctivo y preventivo, ya que permite centrar los esfuerzos en los modos de falla con el mayor potencial de impacto negativo. Además, esta evaluación contribuye significativamente a la mejora de la confiabilidad del conjunto de freno tambor en las grúas puente de 54 toneladas y, por ende, a la eficiencia operativa en entornos industriales.

La Tabla 6 presenta La evaluación de Modo y Efecto de Averías (AMEF) centrado en el proceso del conjunto de freno tambor de la grúa puente número 3, ubicada en la sala norte. La evaluación tiene como objetivo principal identificar y analizar posibles modos de falla, sus efectos potenciales, y determinar las medidas de mitigación adecuadas. Este AMEF fue elaborado por Genaro Quijandria Jiménez, con la participación del área responsable, el Encargado del Proceso, y revisado por el Encargado de Inspección.

La tabla 6 detalla varios ítems clave relacionados con el proceso de mantenimiento del conjunto de freno tambor, incluyendo:

- Revisión de Zapatas de Freno: Se analiza el riesgo medio de pérdida del efecto de frenado progresivo, con posibles consecuencias como el mal traslado y caída de la carga. Las causas potenciales incluyen baja calidad del material de las zapatas y falta de limpieza e inspección de espesor.
- Inspección de Tambor de Freno: Este ítem aborda el riesgo medio de bloqueo del equipo en funcionamiento, con efectos potenciales como choques entre grúas y averías en las estructuras. Las causas potenciales están vinculadas a problemas por sobre temperatura, ralladuras por remache de las zapatas y falta de mantenimiento preventivo.
- Revisión de Estructura de Conjunto de Freno Tambor: Se evalúa el riesgo bajo de desbalance y vibraciones al operar, con posibles consecuencias de causar

fallas en otros componentes. Las causas potenciales incluyen falta de ajuste en uniones mecánicas y deformación por torsión.

- Revisión de Pistón Hidráulico de Accionamiento: Abordando un riesgo medio de des calibración del freno de la grúa, con efectos potenciales como dificultad en la operación. Las causas potenciales involucran falla de señal eléctrica, falla de resortes y baja carga del pistón hidráulico.
- Este AMEF proporciona una base sólida para la identificación y gestión proactiva de riesgos asociados al conjunto de freno tambor, permitiendo la implementación de medidas preventivas y predictivas. La elaboración propia asegura una adaptación específica a las condiciones y necesidades de la grúa puente analizada.

Tabla 6

AMEF: De proceso

| AMEF: De proceso | | Lugar: Grúa puente N°3 – Sala norte | | | | Fecha: | | | |
|--|--|---|---|-----------|--|-------------|---|-----------|--|
| Objetivo de análisis: Evaluación de conjunto de freno tambor de la grúa puente nr3 | | | | | Elaborado por: Genaro Quijandria Jiménez | | | | |
| Área responsable: Encargado del proceso | | | | | Revisado por: Encargado de inspección | | | | |
| Ítem | Operación | Formas de averías potencial | Efecto potencial de avería | Severidad | Causa potencial de avería | Continuidad | Control actual | Detección | NPR Numero Prioritario de Riesgo (SxOxD) |
| 1 | Revisión de zapatas de freno | Perdida del efecto de frenado progresivo. | Mal traslado y caída de la carga | 9 | Baja calidad del material de las zapatas. Falta de limpieza e inspección de espesor. | 7 | Seguimiento del plan de mantenimiento preventivo e inspecciones programadas | 2 | 126 (Riesgo de falla medio) |
| 2 | Inspección de tambor de freno | Bloqueo del equipo en funcionamiento | Choque entre grúas y averías en las estructuras | 10 | Problemas por sobre temperatura. Ralladuras por remache de las zapatas. Falta de mantenimiento preventivo. | 6 | Mediciones y calibraciones según manual | 3 | 180 (Riesgo de falla medio) |
| 3 | Revisión de estructura de conjunto de freno tambor | Desbalance y vibraciones al operar | Causa fallas en los demás componentes | 7 | Falta de ajuste en uniones mecánicas. Deformación por torsión | 4 | Evaluación de deformidad de materiales y tipo de desgaste | 4 | 112 (Riesgo de falla bajo) |
| 4 | Revisión de pistón hidráulico de accionamiento | Des calibración de freno de la grúa | Dificultad en la operación de la grúa puente | 6 | Falla de señal eléctrica. Falla e resortes y baja carga del pistón hidráulico. | 5 | Pruebas en vacío de pistones y su funcionamiento con cargas | 5 | 150 (Riesgo de falla medio) |

Fuente: Elaborada con datos propios de la unidad minera

La tabla 6 de la evaluación de Modo y Efecto de Averías “AMEF”; es una técnica esencial que puede identificar y enfatizar los posibles modos de falla en el conjunto de freno tambor de la grúa puente número 3 en un entorno industrial específico. Cada uno de los cuatro ítems analizados destaca un modo de falla potencial, su efecto en la operación de la grúa y su nivel de severidad. Lo más relevante de esta tabla es la revelación de los riesgos asociados a estos modos de falla y las causas potenciales detrás de cada uno de ellos. Además, se evalúa la ocurrencia, el control actual y la detección de estos modos de falla, lo que contribuye a determinar el "Número Prioritario de Riesgo (NPR)" que proporciona una clasificación del riesgo, ayudando a enfocar los esfuerzos de mantenimiento y prevención donde son más necesarios. El AMEF resalta que la revisión de zapatas de freno y la inspección de tambor de freno presentan un riesgo de falla medio debido a su alto nivel de severidad y ocurrencia, y requieren una atención inmediata. Por otro lado, la revisión de la estructura del conjunto de freno tambor presenta un riesgo de falla bajo, pero, aun así, es esencial mantener un control efectivo. La revisión del pistón hidráulico de accionamiento también muestra un riesgo de falla medio. En resumen, esta tabla brinda una visión general de los peligros y los aspectos críticos que deben considerarse al desarrollar un plan de mantenimiento del tipo preventivo para garantizar la confiabilidad y la seguridad de la grúa puente en este contexto industrial.

4.3 Implementar el plan de mantenimiento preventivo para incrementar la confiabilidad del conjunto freno tambor de una grúa puente de 54 toneladas

En este punto, se detalla el proceso de "Implementación del Plan de Mantenimiento tipo Preventivo" que aumenta la fiabilidad del conjunto de freno de tambor en una grúa puente de 54 toneladas. Esta implementación se realizó en la grúa puente de la sala norte 1, en el año 2022 y se eligió específicamente esta ubicación debido a su disponibilidad para desarrollar el programa de mantenimiento tipo preventivo. En esta parte, se enfrentaron desafíos clave relacionados con la capacitación de operadores y técnicos, ya que el desarrollo efectivo del plan de mantenimiento tipo preventivo precisa una comprensión sólida y una ejecución precisa.

Una de las dificultades destacadas es la programación de actividades preventivas, que varía según el subsistema y su criticidad. Se establecieron cronogramas tanto semanales como quincenales, diseñados para garantizar la realización de inspecciones y acciones preventivas en el momento adecuado. Este enfoque programado permitirá evaluar continuamente el estado del conjunto de freno de tambor y tomar medidas proactivas de acuerdo a la información adquirida. El implementar el programa de mantenimiento tipo preventivo tiene como objeto primordial incrementar la fiabilidad del conjunto de freno de tambor, reduciendo el riesgo de fallas y, en segundo plano, mejorando la seguridad y eficiencia operativa de la grúa puente. Los resultados de esta implementación se analizarán posteriormente para evaluar su impacto en la confiabilidad y rendimiento del sistema de frenado.

4.3.1 Elaboración el plan de mantenimiento preventivo

En este apartado se presenta la "Elaboración del Plan de Mantenimiento Preventivo" que representa un elemento esencial de la investigación y se centra en el diseño detallado de un plan específico destinado a mejorar la confiabilidad del conjunto de freno de tambor en las grúas puente de 54 toneladas seleccionadas. Este plan se desarrolló utilizando la información recopilada en el análisis AMEF, que previamente identificó los modos potenciales de falla y su severidad. Siendo este plan propuesto para ser aplicado en el año 2022 de manera semanal, siguiendo lo descrito en la tabla 7 y así poder realizar un seguimiento continuo y evaluar el cambio en la confiabilidad. Además, se consideraron las variables previamente definidas en cuanto a modos de falla potenciales y su gravedad.

La Tabla 7 detalla la programación detallada de actividades del plan de mantenimiento preventivo diseñado para ser aplicado durante el año 2022 en el conjunto de freno tambor de la grúa puente. Estas actividades programadas buscan asegurar el rendimiento óptimo y la confiabilidad continua del sistema. La fuente de esta tabla es la elaboración propia, lo que garantiza una adaptación específica a las características y necesidades particulares de la grúa puente analizada.

La programación incluye actividades específicas para cada subsistema del conjunto de freno tambor, distribuidas a lo largo de la semana:

- Lunes: Subsistema principal de motor eléctrico: Inspección de accionamiento y carga de energía eléctrica.
- Martes: Subsistema de acoplamientos mecánicos: Inspección de pernos y tuercas de acoplamiento y deformaciones de bases sólidas.
- Miércoles: Subsistema de pistón electrohidráulico: Revisión y calibración de pistón hidráulico.
- Jueves: Subsistema de estructura articulada: Inspecciones de pines pasantes de acoplamientos móviles y estructuras metálicas.
- Viernes: Subsistema de tambor de freno: Revisión de medida del espesor del tambor de freno, inspección de fracturas y ralladuras en el material.
- Sábado: Subsistema de zapatas de freno: Medición de espesor de las zapatas de freno y limpieza de bases de zapata y pernos sujetadores.
- Domingo: Subsistema de reductor de eje motriz: Supervisión de nivel de aceite de reductor y pernos de acoplamiento.

Esta planificación semanal asegura una cobertura completa y regular de todas las áreas críticas del conjunto de freno tambor, minimizando los riesgos de falla y optimizando la confiabilidad del equipo. La asignación de horas hombre necesarias y la frecuencia establecida para cada actividad contribuyen a la gestión eficiente del mantenimiento.

Tabla 7

Programación de actividades del plan de mantenimiento preventivo para ser aplicado en el año 2022

| DÍA | SUBSISTEMA DE CONJUNTO DE FRENO TAMBOR | ACTIVIDAD PREVENTIVA PROGRAMADA | HORAS HOMBRE NECESARIAS | FRECUENCIA |
|-----------|---|---|-------------------------|-----------------|
| Lunes | Subsistema principal de motor eléctrico | Inspección de accionamiento y carga de energía eléctrica | 4 | Todos lunes |
| Martes | Subsistema de acoplamiento mecánicos | Inspección de pernos y tuercas de acoplamiento y deformaciones de bases solidas | 2 | Todos martes |
| Miércoles | Subsistema de pistón electrohidráulico | Revisión de altura del pistón, rango de trabajo y calibración de pistón hidráulico | 4 | Todos miércoles |
| Jueves | Subsistema de estructura articulada | Inspecciones de pines pasantes de acoplamiento móviles y estructuras metálicas | 2 | Todos jueves |
| Viernes | Subsistema de tambor de freno | Revisión de medida del espesor del tambor de freno, inspección de fracturas y ralladuras en el material. | 2 | Todos viernes |
| Sábado | Subsistema de zapatas de freno | Medición de espesor de las zapatas de freno y limpieza de bases de zapata y pernos sujetadores, indicador del sensor SKU# SKWW-0190137. | 4 | Todos sábados |
| Domingo | Subsistema de reductor de eje motriz | Supervisión de nivel de aceite de reductor y pernos de acoplamiento | 2 | Todos domingos |

Fuente: Elaborada con datos propios de la unidad minera

Consideración 1: En caso de cumplir con los estándares de trabajo, se prosigue a desbloquear la máquina y se da pase para su funcionamiento y actividades de rutina, informando al operador y encargado del estado actual de la máquina y de su próximo mantenimiento preventivo, preparándose con el análisis para un futuro mantenimiento correctivo de acuerdo con las mediciones y observaciones tomadas de cada subsistema.

Consideración 2: En el caso que no cumpla con los parámetros establecidos se procede a informar la situación del subsistema afectado y a la reparación del caso para proseguir con las actividades rutinarias de la máquina.

La elaboración de este plan se basó en las mejores prácticas y tecnologías disponibles en el ámbito del mantenimiento industrial. Asimismo, se tuvieron en cuenta los datos recopilados en el análisis AMEF, que arrojaron información relevante sobre el desgaste acelerado y la contaminación del conjunto de freno de tambor. El plan de mantenimiento tipo preventivo se centra en la identificación y aplicación de acciones preventivas y correctivas específicas para mitigar los riesgos de falla identificados. Se establecieron umbrales y criterios para determinar cuándo llevar a cabo inspecciones regulares, ajustes y reemplazos programados de componentes del conjunto de freno de tambor.

El objetivo fundamental es aumentar la confiabilidad del sistema de frenado, disminuir las horas inactivas no programados y mejorar la eficiencia operativa de las grúas puente. Este enfoque exhaustivo en el desarrollo del plan de mantenimiento tipo preventivo se basó en la evaluación de datos cuantitativos y cualitativos y se respaldó con herramientas de análisis especializadas y una revisión teórica completa. La creación de este plan presenta gran impacto en la garantía de la fiabilidad y la seguridad de las grúas puente en el contexto industrial en el que se desenvuelven.

4.4 Evaluación del sistema de freno luego de implementar el plan de mantenimiento preventivo para incrementar la confiabilidad del conjunto freno tambor

4.4.1 Tiempo registrado de fallas de grúa puente

En este punto, se presenta una descripción de los resultados adquiridos, posterior a la implementación del plan de mantenimiento tipo preventivo en la grúa puente de 54 toneladas. La data se recopiló en la tabla 8 "Número de Fallas en los Subsistemas del Conjunto de Freno Tambor" a lo largo del año. Se visualiza una reducción determinante en la cantidad de fallas en varios subsistemas clave, lo que refleja el impacto positivo del plan de mantenimiento tipo preventivo en la fiabilidad del conjunto de freno.

Se destaca que el subsistema de zapatas de freno, que anteriormente registró una alta incidencia de fallas, mostró una disminución en el número de fallas a lo largo del año, lo que indica una mejora en su confiabilidad. Similarmente, el subsistema principal de motor eléctrico, que también experimentó fallas previas, redujo su número de fallas. Estos resultados indican que el plan de mantenimiento preventivo ha sido eficaz en la reducción de fallas y, en última instancia, ha contribuido a una mayor confiabilidad de la grúa puente.

El estudio incluyó un registro detallado del tiempo en que ocurrieron las fallas en la grúa puente, siendo este periodo en el año 2022, dividiendo la grúa en varios subsistemas clave.

La Tabla 8 presenta el número de fallas registradas en los diferentes subsistemas del conjunto de freno tambor de la grúa puente posterior al implementar el programa de mantenimiento preventivo en el año 2022. Este registro resulta fundamental para valorar la efectividad del plan y determinar áreas de mejora continua. Esta tabla permite una evaluación detallada de la distribución de fallas en los subsistemas clave de la grúa puente posterior a la implementación del plan de mantenimiento tipo preventivo, proporcionando información valiosa para ajustar y aumentar estrategias de mantenimiento específicas.

Tabla 8

Tiempo registrado de fallas de grúa puente luego de implementar en plan de mantenimiento preventivo en el 2022

| NÚMERO DE FALLAS | | | | | | | | | | | | | | |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|----------------|
| SUBSISTEMAS DE CONJUNTO DEL FRENO TAMBOR | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SET | OCT | NOV | DIC | TOTAL | % del Total |
| 1. Subsistema principal de motor eléctrico | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 3 | 15% |
| 2. Subsistema de acoplamientos mecánicos | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 4 | 20% |
| 3. Subsistema de pistón electrohidráulico | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 10% |
| 4. Subsistema de estructura articulada | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 5% |
| 5. Subsistema de tambor de freno | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 5% |
| 6. Subsistema de zapatas de freno | 1 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 2 | 8 | 40% |
| 7. Subsistema de reductor de eje motriz | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 5% |
| Total, de fallas/año | | | | | | | | | | | | | 20 | 100% |

*Total fallas/año: 20

Fuente: Elaborada con datos propios de la unidad minera.

Los resultados reflejan diferencias significativas en la concurrencia y severidad de los fallos en los subsistemas del conjunto de freno tambor de la grúa puente de 54 toneladas. Destacando en primer lugar, el subsistema de zapatas de freno, que se identifica como el más crítico, registrando un total de 8 fallas a lo largo del año. Estas 8 fallas constituyen aproximadamente el 40% del total de fallas anuales en la grúa puente, lo que subraya la alta incidencia y la significativa influencia en la operación de la máquina.

En la segunda posición, en términos de criticidad, se encuentra el subsistema de acoplamientos mecánicos, con un total de 4 fallas anuales, representando el 20% del total de fallas. Este resultado enfatiza la necesidad de enfocarse en la atención a este subsistema, dada su influencia en la operatividad de la grúa puente.

Por último, el tercer subsistema en términos de criticidad es el subsistema principal de motor eléctrico, con 3 fallas anuales que corresponden al 15% del total de fallas. A pesar de que las fallas en este subsistema son menos frecuentes en comparación con otros, su criticidad resalta su relevancia y subraya la urgencia de implantar un mantenimiento minucioso.

Estos hallazgos proporcionan una visión clara de la distribución de las fallas en la grúa puente, lo que será crucial para desarrollar un plan de mantenimiento preventivo efectivo que priorice los subsistemas críticos y contribuya significativamente a la reducción de interrupciones no planificadas en la operación de la empresa.

4.4.2 Tiempo promedio entre fallas o MTBF de grúa puente

Luego de la implementación exitosa del plan de mantenimiento preventivo en la grúa puente de 54 toneladas, se presentan los resultados que revelan mejoras significativas en el promedio temporal entre fallas o MTBF para los subsistemas del conjunto de freno tambor, como se detalla en la tabla adjunta. Estos datos resaltan la efectividad del plan de mantenimiento en incrementar la fiabilidad y reducir la frecuencia de fallas, lo que impacta directamente en la operatividad de la grúa.

El subsistema de pistón electrohidráulico muestra la mayor mejora en su MTBF anual, registrando 4,372 horas de operación promedio entre fallas. Esta mejora es sustancial en comparación con los resultados anteriores y demuestra la eficacia de las

intervenciones preventivas aplicadas en este componente. Le sigue el subsistema de acoplamientos mecánicos con un MTBF anual de 2,185 horas, lo que también indica una mejora significativa en la confiabilidad. Estos resultados son indicativos de un plan de mantenimiento del tipo preventivo exitoso y su impacto positivo en la operación de la grúa puente. El estudio incluyó un registro detallado del tiempo promedio entre fallas de la grúa puente, siendo este periodo en el año 2022, dividiendo la grúa en varios subsistemas clave.

La Tabla 9 presenta el tiempo intermedio entre averías (MTBF) para los diferentes subsistemas del conjunto de freno tambor de la grúa puente posteriormente a la implementación del programa de mantenimiento tipo preventivo en el año 2022. Este indicador es crucial para evaluar la eficacia del plan y medir la confiabilidad de los subsistemas clave. La tabla proporciona una visión detallada de cómo la implementación del plan de mantenimiento tipo preventivo ha impactado positivamente en el tiempo promedio entre fallas de cada subsistema, contribuyendo a una mayor confiabilidad operativa de la grúa puente.

Tabla 9

Tiempo promedio entre fallas (MTBF) luego de implementar en plan de mantenimiento preventivo en el 2022

| TIEMPO PROMEDIO ENTRE FALLAS (MTBF) | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|-------------------------|------------------|------------|
| SUBSISTEMAS DE CONJUNTO DEL FRENO TAMBOR | | | | | | | | | | | | | TOTAL, HORAS TRABAJADAS | NUMERO DE FALLAS | MTBF ANUAL |
| | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SET | OCT | NOV | DIC | | | |
| 1. Subsistema principal de motor eléctrico | 740 | 672 | 744 | 720 | 744 | 716 | 744 | 744 | 720 | 736 | 720 | 744 | 8744 | 3 | 2913 |
| 2. Subsistema de acoplamientos mecánicos | 744 | 672 | 741 | 719 | 740 | 720 | 744 | 744 | 720 | 742 | 717 | 744 | 8747 | 4 | 2185 |
| 3. Subsistema de pistón electrohidráulico | 739 | 672 | 744 | 720 | 744 | 720 | 744 | 741 | 720 | 744 | 720 | 744 | 8752 | 2 | 4372 |
| 4. Subsistema de estructura articulada | 744 | 672 | 744 | 720 | 744 | 720 | 744 | 744 | 720 | 738 | 720 | 744 | 8754 | 1 | 8748 |
| 5. Subsistema de tambor de freno | 744 | 672 | 744 | 720 | 744 | 720 | 744 | 737 | 720 | 744 | 720 | 744 | 8753 | 1 | 8746 |
| 6. Subsistema de zapatas de freno | 740 | 668 | 740 | 716 | 740 | 717 | 740 | 740 | 717 | 741 | 717 | 740 | 8716 | 8 | 1087 |
| 7. Subsistema de reductor de eje motriz | 744 | 672 | 744 | 720 | 744 | 720 | 744 | 736 | 720 | 744 | 720 | 744 | 8752 | 1 | 8744 |
| Total/año | | | | | | | | | | | | 61218 | 20 | | |

**Total de horas trabajadas/año 61218.*

Fuente: Elaborada con datos propios de la unidad minera.

Los resultados adquiridos de la tabla revelan una notable diferencia en la frecuencia y criticidad de las fallas en los subsistemas del conjunto del freno tambor de la grúa puente. En primer lugar, el subsistema de zapatas de freno emergió como el más crítico, con un MTBF anual de 1,087 horas, lo que indica una alta incidencia de fallas y un impacto significativo en la operación. Estos datos resaltan la relevancia de enfrentar este subsistema con un enfoque de mantenimiento preventivo para mejorar su confiabilidad.

En segundo lugar, en términos de criticidad, el subsistema de acoplamientos mecánicos presentó un MTBF anual de 2,185 horas, lo que subraya su importancia en la operatividad de la grúa puente. Aunque la frecuencia de fallas es menor en comparación con las zapatas de freno, la criticidad de las fallas en este subsistema destaca la necesidad de prestar una atención significativa y aplicar un mantenimiento preventivo efectivo.

Finalmente, el subsistema principal de motor eléctrico se posicionó en tercer lugar en cuanto a criticidad, con un MTBF anual de 2,913 horas. Aunque las fallas en este subsistema son menos frecuentes en comparación con otros, su criticidad resalta su importancia y subraya la necesidad de mantener su rendimiento óptimo a través de un mantenimiento adecuado.

Estos hallazgos ofrecen una visión clara de la distribución de las fallas en la grúa puente y brindan una buena estructura para tomar las decisiones determinantes con respecto a la implementación de un plan de mantenimiento preventivo y preventivo, priorizando los subsistemas críticos para optimizar la confiabilidad y eficiencia del equipo.

4.4.3 Tiempo promedio para reparar (MTTR) de grúa puente

Posteriormente de implementar del plan de mantenimiento preventivo, se adquirieron resultados actualizados que se presentan en la tabla adjunta. Estos resultados se centran en el tiempo promedio para reparar (MTTR) de los subsistemas del conjunto del freno tambor de la grúa puente. El MTTR es un indicador crítico que refleja la eficiencia de las reparaciones realizadas en caso de fallas y contribuye a la disponibilidad del equipo. El análisis de la tabla revela que el subsistema de zapatas

de freno experimentó el MTTR más bajo con un valor de 2.25 horas. Esto indica que las reparaciones en este subsistema se llevaron a cabo de manera eficiente y se logró un tiempo mínimo de inactividad. El MTTR más bajo en las zapatas de freno es un resultado positivo y sugiere una mejora en la capacidad de respuesta a las fallas en este subsistema.

En contraste, el subsistema de acoplamientos mecánicos mostró un MTTR de 1.75 horas. Aunque este valor es más bajo que otros subsistemas, sugiere la urgencia de incrementar la eficacia en las reparaciones de este componente. Es fundamental abordar este aspecto para menorar las horas de inactividad del equipo y garantizar una operación más eficiente. En resumen, estos resultados de MTTR son esenciales para evaluar la eficiencia de las reparaciones posteriores a la implementación del plan de mantenimiento preventivo. Proporcionan información relevante para la toma de decisiones y las garantías de las actividades de mantenimiento en los subsistemas críticos de la grúa puente. El estudio incluyó un registro detallado del tiempo promedio para reparar la grúa puente, siendo este periodo en el año 2022, dividiendo la grúa en varios subsistemas clave.

La Tabla 10 detalla el tiempo promedio de reparación (MTTR) de los subsistemas del conjunto de freno tambor de la grúa puente posterior a la implementación del plan de mantenimiento preventivo en el año 2022. Este indicador es fundamental para evaluar la eficiencia en la reparación de los subsistemas clave y entender la rapidez con la que se abordan las fallas. La tabla proporciona información detallada sobre la eficiencia en los procesos de reparación posterior a la implementación del plan de mantenimiento tipo preventivo, contribuyendo a una pronta recuperación operativa de la grúa puente.

Tabla 10

Tiempo promedio para reparar (MTTR) de grúa puente luego de implementar en plan de mantenimiento preventivo en el 2022

| TIEMPO PROMEDIO DE REPARACIÓN (MTTR) (HORAS) | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---------------------------|--------------|------|
| SUBSISTEMAS DE CONJUNTO DEL FRENO TAMBOR | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SET | OCT | NOV | DIC | TOTAL HORAS EN REPARACION | REPARACIONES | MTTR |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1. Subsistema principal de motor eléctrico | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 6 | 3 | 2 |
| 2. Subsistema de acoplamientos mecánicos | 0 | 0 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 0 | 7 | 4 | 1.75 |
| 3. Subsistema de pistón electrohidráulico | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 2 | 4 |
| 4. Subsistema de estructura articulada | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 0 | 0 | 6 | 1 | 6 |
| 5. Subsistema de tambor de freno | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 1 | 7 |
| 6. Subsistema de zapatas de freno | 4 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 2 | 0 | 2 | 2 | 0 | 4 | 18 | 8 | 2.25 |
| 7. Subsistema de reductor de eje motriz | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 1 | 8 |
| Total/año | | | | | | | | | | | | 60 | 20 | | |

**Total de horas para reparar/año: 60*

Fuente: Elaborada con datos propios de la unidad minera.

Luego del análisis de la tabla proporcionada, se han identificado importantes diferencias en lo que respecta al tiempo promedio para reparar (MTTR) en los subsistemas del conjunto del freno tambor de la grúa puente de 54 toneladas. De manera destacada, el subsistema de reductor de eje motriz surgió como el más crítico, con un tiempo promedio de reparación de 8 horas. Este hallazgo subraya la alta incidencia de fallas y la importancia crítica de este subsistema, ya que las demoras en la reparación pueden tener un impacto significativo en la operación y la confiabilidad de la grúa puente.

En segundo lugar, en cuanto a criticidad, se situó el subsistema de tambor de frenos, con un tiempo promedio de 7 horas para reparar las fallas. Este resultado resalta la necesidad de otorgar una atención considerable a este subsistema debido a su impacto en la operatividad.

Finalmente, el subsistema de estructura articulada ocupó la tercera posición en cuanto a criticidad, con un promedio de 6 horas para reparar las fallas en la grúa puente. A pesar de que las fallas en este subsistema son menos frecuentes en comparación con otros, su criticidad subraya su importancia y la necesidad de un mantenimiento cuidadoso.

Estos hallazgos ofrecen una visión clara de la distribución de las fallas en la grúa puente y servirán como punto de inicio crucial para la formulación de un plan de mantenimiento preventivo efectivo. Este plan deberá priorizar los subsistemas críticos identificados en este estudio, lo que contribuirá significativamente a reducir las interrupciones no planificadas en la operación de la empresa y mejorar la confiabilidad del conjunto de freno tambor de la grúa puente de 54 toneladas.

4.4.4 Confiabilidad del conjunto de freno tambor

Tras la implementación del plan de mantenimiento preventivo y el análisis de los datos presentados en la tabla 11, se han obtenido resultados significativos que reflejan la confiabilidad del conjunto de freno tambor en los diferentes subsistemas de la grúa puente de 54 toneladas. Estos resultados se han calculado mediante la fórmula de confiabilidad $e^{-(T/MTBF)}$, donde "e" representa la base del logaritmo natural, "T" es el tiempo total de observación (en horas) y "MTBF" corresponde al tiempo promedio entre

fallas. Estos resultados son un indicativo claro del impacto positivo del plan de mantenimiento del tipo preventivo en la fiabilidad del conjunto de freno tambor de la grúa puente de 54 toneladas. Estas mejoras contribuyen significativamente a la operatividad y seguridad en entornos industriales, lo que respalda la justificación de esta investigación y su objetivo de aumentar la confiabilidad y eficiencia operativa de estas grúas puente.

El estudio incluyó un registro detallado de la confiabilidad del conjunto de freno tambor de la grúa puente, siendo este periodo en el año 2022, dividiendo la grúa en varios subsistemas clave.

La Tabla 11 presenta la confiabilidad del conjunto de freno tambor de la grúa puente durante el año 2022, después de la implementación del plan de mantenimiento preventivo. Este indicador es esencial para evaluar la efectividad del plan en mejorar la confiabilidad de los subsistemas clave. La tabla proporciona una visión detallada de la confiabilidad de los subsistemas posterior a la implementación del plan de mantenimiento preventivo, demostrando la efectividad del plan en mejorar la confiabilidad global del conjunto de freno tambor de la grúa puente.

Tabla 11*Confiabilidad del Conjunto de Freno Tambor en el 2022***CONFIABILIDAD DEL CONJUNTO DE FRENO TAMBOR**

| SUBSISTEMAS DE CONJUNTO DEL FRENO TAMBOR | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SET | OCT | NOV | DIC | CONFIABILIDAD | MTBF ANUAL |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---------------|------------|
| | | | | | | | | | | | | | | |
| 1.Subsistema principal de motor eléctrico | 740 | 672 | 744 | 720 | 744 | 716 | 744 | 744 | 720 | 736 | 720 | 744 | 4.98% | 2913 |
| 2.Subsistema de acoplamientos mecánicos | 744 | 672 | 741 | 719 | 740 | 720 | 744 | 744 | 720 | 742 | 717 | 744 | 1.83% | 2185 |
| 3.Subsistema de pistón electrohidráulico | 739 | 672 | 744 | 720 | 744 | 720 | 744 | 741 | 720 | 744 | 720 | 744 | 14% | 4372 |
| 4.Subsistema de estructura articulada | 744 | 672 | 744 | 720 | 744 | 720 | 744 | 744 | 720 | 738 | 720 | 744 | 36.78% | 8748 |
| 5.Subsistema de tambor de freno | 744 | 672 | 744 | 720 | 744 | 720 | 744 | 737 | 720 | 744 | 720 | 744 | 36.78% | 8746 |
| 6.Subsistema de zapatas de freno | 740 | 668 | 740 | 716 | 740 | 717 | 740 | 740 | 717 | 741 | 717 | 740 | 0.03% | 1087 |
| 7.Subsistema de reductor de eje motriz | 744 | 672 | 744 | 720 | 744 | 720 | 744 | 736 | 720 | 744 | 720 | 744 | 36.78% | 8744 |
| | | | | | | | | | | | | | TOTAL | 14% |

Confiabilidad/año: 14%Fuente: Elaborada con datos propios de la unidad minera.*

En primer lugar, el subsistema de pistón electrohidráulico se destacó por su alta confiabilidad, registrando un valor del 14%. Esto indica que este subsistema ha experimentado un notable incremento en su confiabilidad después de la aplicación del plan de mantenimiento.

Por otro lado, el subsistema de zapatas de freno, que en el pasado presentaba problemas críticos, ha mejorado significativamente su confiabilidad, mostrando una tasa extremadamente baja del 0.03%. Esta mejora refleja los efectos positivos del plan de mantenimiento preventivo implementado.

Por último, el subsistema principal de motor eléctrico y el subsistema de acoplamientos mecánicos exhibieron niveles de confiabilidad del 4.98% y 1.83% respectivamente. Aunque estos valores son menores en comparación con los mencionados anteriormente, indican una mejora significativa en la confiabilidad a diferencia del estado previo a la implementación del plan de mantenimiento.

En contraste, los subsistemas de estructura articulada, tambor de freno y reductor de eje motriz, aunque experimentaron mejoras, aún presentan confiabilidades relativamente más bajas del 36.78%. Estos resultados sugieren que, a pesar de la implementación del plan de mantenimiento preventivo, estos subsistemas requieren una atención adicional para mejorar aún más su confiabilidad.

Estos hallazgos son cruciales para tomar decisiones informadas sobre la operación y el mantenimiento de la grúa puente de 54 toneladas y respaldan la eficacia del plan de mantenimiento preventivo en el aumento de la confiabilidad del conjunto de freno tambor.

V. DISCUSIÓN

La confiabilidad del conjunto de frenos de tambor de la grúa de puente era del 6,31% antes de que se ejecutara el plan de mantenimiento, lo que es muy bajo. Esto demostró los retos planteados por las fallas recurrentes de los subsistemas críticos y la urgencia de ejecutar acciones. La confiabilidad aumentó significativamente posterior a que el plan de mantenimiento preventivo se puso en práctica; este aumento fue del 14% al final, lo que significa que la confiabilidad se aumentó en un 7,7% posterior a la puesta a prueba el plan de mantenimiento preventivo en 2022. Usando el modelo propuesto por Idrogo Cruzado (2016), que realizó una evaluación rigurosa y descubrió una disponibilidad del 90.45%. Sin embargo, los indicadores de mantenimiento mejoraron considerablemente con el despliegue del mantenimiento enfocado en la confiabilidad, alcanzando un 98,76% de disponibilidad, una mejora del 8,31% tras la implementación de un plan de mantenimientos centrados en la fiabilidad.

A través del análisis de datos se encontraron variaciones significativas en la frecuencia y la criticalidad de fallos en diversos subsistemas. Entre estos, el subsistema del calzado de freno se destacó como el más crucial, con un promedio de 436 horas entre las fallas de la gruesa de puente elegida. Con un MTBF anual de 1.087 horas, el subsistema del calzado de freno sigue siendo el más esencial después de que se aplique el plan de mantenimiento tipo preventivo, lo que hace hincapié en la necesidad de tratar este subsistema con una estrategia de mantenimiento preventivo. De conformidad con la metodología de Díaz Concepción (2016), escribe un artículo en el que se diseña un instrumento de encuesta para determinar si sería factible para una empresa de transmisión eléctrica adoptar un programa de Mantenimiento enfocado en la fiabilidad (RCM) como estrategia de administración de mantenimiento. Después de validar el instrumento, encontraron que su confiabilidad original del 86% había aumentado al 92%. El resultado fue un aumento del 6% que se consideró aceptable. Después de utilizar el instrumento, pudieron establecer relaciones con expertos sobre el tema y concluyeron que era beneficioso. Los subsistemas del conjunto de frenos de tambor de la grúa de puente de 54 toneladas mostraron variaciones notables en el tiempo promedio de reparación (MTR) antes de que se ejecutara el plan de

mantenimiento. Curiosamente, en términos de MTTR, el subsistema de reductor de eje-drive resultó ser el más importante. Se necesitaron ocho horas en promedio para corregir los malos funcionamientos de la grúa de puente en este subsistema. Esto dio lugar a una alta tasa de fallos y subrayó la importancia vital de este subsistema, ya que los retrasos en el mantenimiento podrían afectar seriamente la confiabilidad y el funcionamiento de la grúa de puente. El subsistema del tambor de freno fue el segundo componente más importante, que requería un promedio de siete horas de reparación. Este resultado demostró claramente que, debido a su influencia en el desempeño operacional, este subsistema requiere una consideración cuidadosa.

En la evaluación del Análisis de Modo y Efecto de Falla (AMEF) centrado en el conjunto de freno tambor de la grúa puente N°3 en la sala norte, se identificaron y analizaron varios modos potenciales de falla que podrían afectar significativamente el rendimiento y la seguridad operativa del equipo. En primer lugar, se observó que la revisión de las zapatas de freno, en caso de no llevarse a cabo de manera adecuada, podría resultar en la pérdida progresiva del efecto de frenado, lo que aumentaría el riesgo de mal traslado y caída de la carga. Este riesgo se clasificó como medio, con una severidad de 9. La causa potencial de esta falla se atribuye a la baja calidad del material de las zapatas y la falta de limpieza e inspección de su espesor. Actualmente, el seguimiento del plan de mantenimiento preventivo y las inspecciones programadas se implementan como controles, con un NPR de 126. En cuanto a la inspección del tambor de freno, se identificó el riesgo de bloqueo del equipo en funcionamiento, lo que podría resultar en choques entre grúas y averías en las estructuras. Este riesgo se considera medio, con una severidad de 10. Las causas potenciales incluyen problemas por sobre temperatura, ralladuras por remache de las zapatas y falta de mantenimiento preventivo. Las medidas actuales de medición y calibración según el manual actúan como controles, con un NPR de 180. La metodología empleada en este estudio ha demostrado su eficacia en la recaudación y evaluación de la data vinculada con el mantenimiento preventivo del conjunto de freno tambor en grúas puente de 54 toneladas, lo que refuerza la calidad de los resultados presentados en esta tesis. Al adoptar un enfoque de mantenimiento preventivo, se ha logrado identificar de manera precisa los subsistemas críticos y planificar las actividades de mantenimiento acorde

a los resultados obtenidos. Esto se ha revelado fundamental para comprender la confiabilidad de las grúas puente en el contexto industrial, aspecto central en el desarrollo de esta investigación. Es importante destacar la capacidad de la metodología para identificar y priorizar los subsistemas que presentan un mayor riesgo de fallos y, por consiguiente, un mayor impacto en la operación. Esta característica ha permitido que el plan de mantenimiento preventivo se centre en áreas críticas, lo que en última instancia contribuirá a mejorar la eficiencia y la confiabilidad del equipo. Estos hallazgos se presentan como un sólido aporte a la tesis, respaldando la relevancia de la investigación.

En cuanto a las fortalezas, destaca el enfoque metodológico robusto aplicado. La implementación exitosa del plan de mantenimiento preventivo, respaldado por el análisis de modos y efectos de fallas (AMEF), ha proporcionado una base sólida para la identificación y priorización eficiente de modos de falla. Esta fortaleza ha permitido intervenciones focalizadas y eficaces, contribuyendo a la mejora del conjunto freno tambor en las grúas puente. Sin embargo, se han identificado debilidades a lo largo del proceso investigativo. En primer lugar, la limitación en el acceso a datos históricos completos ha representado una restricción significativa. Esta carencia ha afectado la capacidad de realizar un análisis retrospectivo más exhaustivo, lo que habría permitido identificar tendencias y patrones de fallas de manera más detallada.

En cuanto a la relevancia del contexto científico social estos aspectos brindan una estructura sólida para futuras investigaciones y mejoras en la metodología de mantenimiento preventivo, lo cual enriquecerá aún más el campo del mantenimiento industrial y fortalecerá las bases del conocimiento en esta área. La implementación de un plan de mantenimiento preventivo en el contexto de las grúas puente de 54 toneladas se presenta como un importante aporte a la investigación y a la industria en general. Los resultados de este estudio proporcionan una visión profunda de cómo el mantenimiento preventivo puede influir positivamente en la eficiencia operativa y la confiabilidad de equipos críticos, como las grúas puente. En el ámbito de la investigación científica, este estudio agrega un análisis exhaustivo sobre la confiabilidad de los subsistemas clave de las grúas puente y cómo estos subsistemas se ven afectados por fallas recurrentes. Los datos y el análisis elaborados en este

trabajo enriquecen significativamente el conocimiento existente en el campo del mantenimiento preventivo industrial. Además, la metodología utilizada para identificar y priorizar subsistemas críticos puede servir de modelo para investigaciones futuras en campos relacionados. En el contexto industrial, esta investigación es de suma importancia. La implementación exitosa de un plan de mantenimiento preventivo en las grúas puente contribuirá a una operación más eficiente y segura, reduciendo en gran medida el riesgo de fallas no planificadas. Esto se resalta en una mayor productividad y en la disminución de horas de inactividad, factores críticos en la industria. Además, la aplicación del plan de mantenimiento preventivo no solo beneficia a la empresa en términos de eficiencia operativa, sino que también tiene un impacto positivo en la seguridad laboral. La disminución de fallas no planificadas conlleva una disminución de los riesgos asociados con la operación de las grúas puente, lo que beneficia directamente al personal involucrado en dichas operaciones.

La investigación sobre mantenimiento y confiabilidad de grúas puente, con énfasis en el conjunto freno tambor, tiene una importancia crucial en el ámbito científico y social actual. Este estudio no solo contribuye a mejorar la eficiencia industrial al optimizar la operación de grúas puente, sino que también aporta al avance del mantenimiento preventivo, destacando la utilidad del Análisis de Modo y Efecto de Falla (AMEF) en estrategias proactivas. Además, la investigación tiene impactos significativos en la seguridad laboral al prevenir fallas críticas en estos equipos, promoviendo la sostenibilidad al reducir reemplazos innecesarios y contribuyendo al conocimiento científico en el mantenimiento industrial. En este contexto, los resultados obtenidos no solo abordan desafíos específicos en el mantenimiento de grúas puente, sino que también ofrecen valiosas perspectivas para la eficiencia, seguridad y sostenibilidad de las operaciones industriales. La aplicación exitosa de un plan de mantenimiento preventivo específico no solo tiene beneficios inmediatos en la disponibilidad operativa, sino que también enriquece el conocimiento científico en estrategias de mantenimiento preventivo, marcando un avance significativo en el ámbito industrial.

Esta investigación es relevante más allá de la corporación que es el objeto del estudio y puede utilizarse como modelo para otras empresas que se ocupan de problemas comparables con equipos vitales. Otras empresas podrían utilizar y modificar las

conclusiones y sugerencias del estudio para mejorar sus procedimientos de mantenimiento y, como resultado, llegar a ser más competitivas en el mercado. En resumen, este estudio es importante desde el punto de vista industrial y científico. Más productividad, mayor seguridad de los trabajadores y la capacidad de actuar como modelo para otras empresas que buscan maximizar el mantenimiento de equipos vitales son todos posibles resultados del plan de mantenimiento preventivo. Este trabajo se ha llevado a cabo cuidadosamente, ya que estaba destinado a ser investigación para una tesis, pero sus deficiencias deben abordarse con el rigor académico que necesitan. Una restricción importante es la falta de datos históricos completos sobre las grúas de puente que se están estudiando. La incapacidad de obtener estos datos históricos habría permitido realizar un examen más exhaustivo y preciso del rendimiento a lo largo del tiempo y de los fallos. Es crucial subrayar que la ausencia de estos datos no pone en duda, sin embargo, la confiabilidad de las conclusiones y conclusiones alcanzadas hasta ahora. Más bien, proporciona un camino para un estudio futuro que puede tener un acceso más profundo a los datos históricos. Las limitaciones de los recursos son una restricción adicional importante de nuestro estudio. El tiempo y los recursos necesarios para la recopilación de datos y la ejecución del plan de mantenimiento preventivo pueden haber influido en la exhaustividad del estudio. Esto cubre el potencial de ventanas de mantenimiento planificado extendido además del precio de la compra de componentes de reemplazo y hardware de vigilancia. La confiabilidad de grúas de puente para tareas de mantenimiento puede haber sido limitada por limitaciones de recursos, lo que a su vez puede haber tenido un efecto en el rendimiento de la producción. También vale la pena señalar que sólo una de las tres grúas de puente de la instalación industrial estaba sujeta a la ejecución del plan de mantenimiento preventivo. Aunque esta elección se hizo teniendo en cuenta consideraciones de logística y recursos, plantea dudas sobre la amplitud en que pueden aplicarse las conclusiones. Los resultados obtenidos del funcionamiento de una grúa pueden no representar con exactitud las actividades de todas las grúas de puente en la instalación. Esta restricción se reconoce, sin embargo, como una oportunidad para más estudio que examina muestras más grandes e incorpora una gama más amplia de grúas de puente en diversos entornos industriales.

En conclusión, existen límites inherentes a esta investigación, que se llevó a cabo como un estudio académico para una tesis. Estas limitaciones se relacionan principalmente con la implementación en una única grúa de puente, restricciones de recursos y acceso a datos históricos. Por lo tanto, se subraya que las conclusiones y conclusiones siguen siendo válidas y pertinentes. La investigación futura puede abordar estas limitaciones y avanzar nuestra comprensión del mantenimiento preventivo en el contexto de las grúas de puente abordando cuestiones como los horarios de mantenimiento planificados, los costos de reemplazo y la necesidad de la disponibilidad del equipo.

VI. CONCLUSIONES

1. Este estudio se centró en el desarrollo de un Plan de Mantenimiento preventivo para Aumentar la fiabilidad del Conjunto Freno de Tambor de una Grúa Puente de 54 Toneladas. Este desarrollo fue posible luego de evaluar el tiempo registrado de fallas, el MTBF, el MTTR y la confiabilidad durante el año 2021; estas evaluaciones junto al AMEF y la implementación semanal del plan de mantenimiento preventivo, según lo detallado en la Tabla 7, demostró ser clave para intervenciones oportunas y planificadas. Después de su ejecución en 2022, se observó un notable aumento en la confiabilidad, pasando del 6.31% al 14%. Este incremento del 7.7% con respecto a los datos de 2021 valida de manera concluyente la efectividad de la estrategia preventiva en la prevención y mitigación de fallas, contribuyendo así a un funcionamiento más confiable y eficiente de las grúas puente.
2. La implementación del plan de mantenimiento preventivo para el conjunto freno tambor de las grúas puente de 54 toneladas ha tenido un impacto notable en el Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF), reflejando una mejora sustancial en la confiabilidad operativa. Antes de la aplicación del plan en el año 2021, el MTBF anual promedio para el conjunto freno tambor se situaba en 4,929 horas. Esta cifra indicaba una frecuencia relativamente alta de fallas y periodos no planificados. En contraste, tras la ejecución del plan de mantenimiento preventivo en el año 2022, se observó un aumento significativo en el MTBF anual promedio, alcanzando las 5,265 horas. Este incremento nos indica una notable mejora en la confiabilidad del conjunto freno tambor. Estos resultados respaldan de manera concluyente la eficacia del enfoque preventivo implementado, confirmando su capacidad para prevenir y mitigar fallas de manera proactiva, contribuyendo así a un funcionamiento más fiable y eficiente de las grúas puente de 54 toneladas.
3. La implementación del plan de mantenimiento preventivo para el conjunto freno tambor de las grúas puente de 54 toneladas ha tenido un impacto significativo en el Tiempo Medio para Reparar (MTTR), evidenciando una mejora notable en la eficiencia de las intervenciones de mantenimiento. Antes de la aplicación del plan en el año 2021, el MTTR promedio para el conjunto freno tambor se situaba en 4.67 horas. Esta

cifra indicaba un tiempo relativamente extenso necesario para abordar y reparar las fallas, contribuyendo a tiempos de inactividad prolongados. En contraste, tras la ejecución del plan de mantenimiento preventivo en el año 2022, se observó una disminución significativa en el MTTR promedio, reduciéndose a 2.5 horas. Este descenso representa un incremento de la eficacia de las intervenciones de mantenimiento, indicando una respuesta más rápida y efectiva ante las fallas del conjunto freno tambor. Estos resultados respaldan de manera concluyente la eficacia del enfoque preventivo implementado, confirmando su capacidad para optimizar los tiempos de reparación y, por ende, minimizar los tiempos de inactividad no planificados de las grúas puente de 54 toneladas.

4. El cumplimiento del objetivo enfocado desarrollar un plan de mantenimiento preventivo se llevó a cabo mediante el cumplimiento del objetivo de realizar un detallado Análisis de Modo y Efecto de Falla (AMEF). Este enfoque no solo permitió la identificación precisa de los modos de falla y sus efectos, sino que también facilitó la priorización de intervenciones, estableciendo un plan preventivo sólido. En resumen, el AMEF detallado y la aplicación sistemática del plan de mantenimiento influyeron de manera significativa en el aumento del 7.7% en la confiabilidad de las grúas puente en comparación con 2021. Estos hallazgos subrayan la importancia crítica de un enfoque estructurado y preventivo en el mantenimiento de grúas puente, específicamente en el conjunto freno tambor. Este enfoque garantiza la confiabilidad y confiabilidad operativa a lo largo del tiempo, consolidando la eficacia del plan desarrollado y aplicado.

VII. RECOMENDACIONES

Con base en las problemáticas identificadas y la imperiosa necesidad de mejorar el sistema de mantenimiento preventivo, se formulan las siguientes recomendaciones con miras al futuro desarrollo y perfeccionamiento del plan de mantenimiento preventivo:

Primero, se sugiere la formulación de un nuevo plan de mantenimiento preventivo minucioso y bien estructurado, enfocándose especialmente en los componentes críticos, tales como el conjunto freno tambor. Este plan debe derivarse de los resultados obtenidos del Análisis de Modo y Efecto de Falla (AMEF) y abordar intervenciones regulares y preventivas para minimizar la probabilidad de fallas.

Adicionalmente, se propone la incorporación de tecnologías de monitoreo continuo, como sensores y sistemas de telemetría, para recopilar datos operativos en tiempo real. Este enfoque permitiría una supervisión constante del rendimiento de los equipos, posibilitando la detección temprana de posibles problemas y mejorando la capacidad preventiva del mantenimiento.

En cuanto a la gestión de datos, se recomienda establecer un sistema centralizado y seguro para almacenar información relacionada con mantenimiento, fallas y operación. La implementación de plataformas de gestión de activos o mantenimiento facilitaría el acceso, análisis y seguimiento de datos históricos, propiciando una toma de decisiones informada.

En el ámbito de las prácticas operativas, se sugiere fomentar una cultura de mejora continua en el departamento de mantenimiento. Esto implica realizar revisiones periódicas del plan y de los procedimientos, incorporar retroalimentación del personal técnico y actualizar estrategias en función de la evolución tecnológica y las experiencias acumuladas.

Otras recomendaciones incluyen la capacitación continua del personal en las nuevas tecnologías implementadas y las mejores prácticas de mantenimiento, la definición de indicadores clave de rendimiento (KPI) específicos y la promoción de la colaboración estrecha entre los departamentos de operaciones y mantenimiento.

REFERENCIAS

- Baraton, M. I., & Girgis, E. (2017). Temperature Sensors: Types, Techniques, and Applications. In *Thermal Sensors* (pp. 1-17). Springer.
- Belloví, M. B., Ma, R., Ramos, O., & Técnico, I. (2020). Redactores: Carles Mata París.
- Bestratén Bellovi, M. (2004). NTP 679: Análisis modal de fallos y efectos. AMFE.
- Ben-Daya, M., Duffuaa, S. O., & Raouf, A. (2000). *Maintenance Management and Engineering: The Evolution*. Editorial.
- Borro Yágüez, D. (2023). Colisiones en estudios de mantenibilidad con restitución de esfuerzos sobre maquetas digitales masivas y compactadas. Universidad de Navarra.
- Campos-López, O., Tolentino-Eslava, G., Toledo-Velázquez, M. y Tolentino-Eslava, R. (2019). Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, base de datos y criticidad de efectos. *Científica*, 23(1), 51-59.
- Campos L., J. A., Arroyo Martínez, D., & Camargo Pacheco, E. (2019). Metodología RCM aplicada a sistemas de lubricación de aerogeneradores. *Revista EIA*, 16(31), 83-97.
- Díaz-Concepción, A., Villar-Ledo, L., Cabrera-Gómez, J., Gil-Henríquez, AS, Mata-Alonzo, R., & Rodríguez Piñeiro, AJ (2016). Implementacion del Mantenimiento Centrado en la confiabilidad en empresas de trasmision electrica. *Ingeniería Mecánica* , 19 (3), 137-142.
- Díaz C., J. M., García Pérez, C., & Hernández, L. R. (2016). Instrumento para evaluar la viabilidad de implementar un sistema de mantenimiento centrado en la confiabilidad en una entidad de transmisión eléctrica. *Ingeniería Eléctrica*, 37(3), 76-84.
- Garcia, M. R. (2011). *Effective Corrective Maintenance: Best Practices for Industry Professionals*. Editorial.
- Gudonis, E., Sliteris, R., & Mazeika, L. (2017). Non-Contact Laser Displacement Sensor Calibration for Measurement of Shrouded Blade Tip Clearance. *Measurement Science Review*, 17(1), 17-22.
- Higgins, L. R. (2001). *Maintenance Engineering Handbook*. Editorial.
- Huerta Mendoza, R. (2015)Mantenimiento mantenimiento-centralizado-en-la-confiabilidad-1.

- Idrogo Cruzado, W. F.(2016). Estudio de un sistema de mantenimiento centrado en la confiabilidad para aumentar la disponibilidad de los motores sincronos trifasicos de la empresa Cogorno S.A. – Trujillo.
- Idrogo C., C. (2016). Implementación de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para el mejoramiento de la disponibilidad en los equipos de la empresa AZUCARERA CARTAVIO. Tesis de maestría, Universidad Nacional de Trujillo.
- ISO 31000:2018. Risk management—Guidelines. International Organization for Standardization.
- Kumar, A., & Srivastava, M. (2016). Ultrasonic Sensor: A Review. *Materials Today: Proceedings*, 3(2), 703-708.
- Lee, J. D., Han, K. H., & Kim, K. S. (2014). *Handbook of Maintenance Management and Engineering*. Editorial.
- Libuy, Marcela H., Szita C., Paola, Hermosilla P., Juan, Arellano S., Daniel, Rodríguez-Núñez, Iván, & Báez R., Claudio. (2017). Validez y confiabilidad de las escalas de evaluación funcional en pacientes críticamente enfermos. Revisión sistemática. *Revista médica de Chile*, 145(9), 1137-1144. <https://dx.doi.org/10.4067/s0034-98872017000901137>
- Liyanage, J. P. (2012). *Equipment Management in the Post-Maintenance Era: A New Alternative to Total Productive Maintenance (TPM)*. Editorial.
- Mesa Grajales, D.H., Ortiz Sánchez, Y., Pinzón, M. (2006). La confiabilidad, la disponibilidad, disciplinas modernas aplicadas al mantenimiento. Dialnet-LaConfiabilidadLaDisponibilidadYLaMantenibilidadDi-4830901.
- Moubray, J. (1997). *Reliability-Centered Maintenance*. Editorial.
- Nakajima, S. (1989). *Total Productive Maintenance*. Editorial.
- Olarte, W., Botero, M., & Cañon, B. (2010). *Scientia et Technica* Año XVI, 45.
- OLARTE C., W., BOTERO A., M., & CAÑON A., B. (2010). TÉCNICAS DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO UTILIZADAS EN LA INDUSTRIA. *Scientia et Technica* , XVI (45), 223-226.
- Ortega Lora, M. E.; Verona Ortega, E. (2004). Implementación de indicadores de mantenimiento en el taller industrial ADIFE LTDA.
- Palmer, D. (1999). *Maintenance Planning and Scheduling Handbook*. Editorial.
- Peñafiel, J., Arteaga, Á., & Daquinta-Gradaille, A. (2021). Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) caso de aplicación máquina empacadora de atún en latas. *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología e Investigación*, 4(8 Edición especial diciembre), 43–57. <https://doi.org/10.46296/ig.v4i8edespdic.0050>

- Pereira, E. R., & Avila, S. J. (2019). Magnetic Induction Sensors: A Comprehensive Review. *Sensors*, 19(13), 2975.
- Polivio Llanos-Marín, C., Campoverde-Molina, M.(2021). Análisis de riesgos del departamento de tecnologías de la información y comunicación del registro de la propiedad de la ciudad de Cuenca, Ecuador. Dialnet- AnalisisDeRiesgosDelDepartamentoDeTecnologiasDeLaI-8219383
- Quisintuña Chimborazo, F. B. (2023) Diseño e implementación de un plan de mantenimiento preventivo, para la maquinaria en el área de metalmeccanica de la empresa ECUATRAN de la ciudad de AMBATO. Ecuador.
- Salazar Saldaña, L.S.(2019). Mantenimiento Centrado en la confiabilidad para mejorar la disponibilidad de equipos criticos del proceso de produccion de hielo en la empresa Lesser S.A.C.
- Schneider, H. (1996). Análisis de modo y efecto de falla: FMEA desde la teoría hasta la ejecución. Limusa.
- Sánchez Gómez, A. M. (2017). TÉCNICAS DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO. METODOLOGIA DE APLICACIÓN EN LAS ORGANIZACIONES UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL ALTERNATIVA VISITA TÉCNICA INTERNACIONAL BOGOTÁ 2017 CORE Metadata, citation and similar papers at core.ac.uk Provided by Repositorio Institucional Universidad Católica de Colombia.
- Sebastián, S., & Yágüez, D. B. (2003). ESCUELA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES COLISIONES EN ESTUDIOS DE MANTENIBILIDAD CON RESTITUCIÓN DE ESFUERZOS SOBRE MAQUETAS DIGITALES MASIVAS Y COMPACTAS M E M O R I A que para optar al Grado de Doctor presenta.
- Torres, L. (2005). Mantenimiento, su implementación y su gestión. Universitas, Primera Edición, Libro Electrónico
- Torres-Goyes, S. A., Rodriguez-Borges, C. G. (2021). Método AMEF: estrategias para su empleo en el mantenimiento en plantas purificadoras de agua. Dialnet- MetodoAMEF-8016979.
- Vásquez Giler, M. (2018). Auditoria-de-la-gestion: Una herramienta de mejora continua. Ecuador.
- Vásquez G., S., & Pinargote Vásquez, K. (2018). Auditoría de gestión al mantenimiento de flota vehicular. *Revista Ciencias Estratégicas*, 26(37), 133-146.
- Yañez Medina Hernando Gómez de la Vega Genebelín Valbuena Chourio, M. (2004). INGENIERÍA DE CONFIABILIDAD Y ANÁLISIS PROBABILÍSTICO DE RIESGO
- Zapata, C. J. (2011). Confiabilidad en Ingeniería.

ANEXOS

Anexo:

Tabla de operacionalización

| Variables | Definición Conceptual | Definición Operacional | Dimensiones | Indicadores | Escala de medición |
|---|---|--|----------------------------------|--|--------------------|
| Variable Independiente | Diseño y elaboración de un plan estructurado que establece acciones y actividades preventivas para mejorar la confiabilidad y prolongar la vida útil del conjunto de freno de tambor en grúas puente de 54 toneladas. (Baraton, 2017) | Diseño de un plan específico que incluye tareas de mantenimiento preventivo, inspecciones de fallas regulares y establecimiento de umbrales para intervenciones, basado en análisis de datos sobre desgaste y contaminación. (Campos, 2019) | Inspección de registro de fallas | Numero de fallas | Razón |
| Desarrollo de un plan de mantenimiento preventivo | | | Registro de mantenimientos | Análisis de modos y efectos de fallas. | De intervalo |
| Variable Dependiente | Capacidad del sistema de frenado de grúas puente de 54 toneladas para operar de manera efectiva y confiable durante su funcionamiento, evitando fallas y asegurando la seguridad de las operaciones. (Baraton, 2017) | Medición numérica que incluye indicadores como el porcentaje de tiempo de operación efectiva frecuencia de fallas (mtbf) y tiempo de reparación(mttr), para evaluar la eficacia del plan de mantenimiento preventivo en mejorar la confiabilidad. (Peñafiel, 2021) | Valores de Mantenibilidad | MTBF | De intervalo |
| Confiabilidad del conjunto de freno de tambor | | | Valores de Confiabilidad | MTTR | |

• Fuente: Elaboración propia.

Anexo:

Matriz de consistencia

| | Problema | Objetivos | Hipótesis |
|-------------|--|--|--|
| GENERAL | Falta de un plan de mantenimiento preventivo para incrementar la confiabilidad del conjunto freno de tambor de una grúa puente de 54 toneladas | Desarrollar un plan de mantenimiento preventivo para incrementar la confiabilidad del conjunto freno de tambor de una grúa puente de 54 toneladas | Un plan de mantenimiento preventivo incrementara la confiabilidad del conjunto freno de tambor de una grúa puente de 54 toneladas |
| ESPECÍFICOS | <p>a) No se sabe el valor de la confiabilidad del conjunto freno tambor de la grúa puente de 54 toneladas.</p> <p>b) No se cuenta con una estructura de un plan de mantenimiento preventivo para conjunto freno tambor de una grúa puente de 54 toneladas.</p> <p>c) No se realiza mantenimiento preventivo al conjunto freno tambor de una grúa puente de 54 toneladas.</p> | <p>a) Evaluar la confiabilidad del conjunto freno tambor de la grúa puente de 54 toneladas.</p> <p>b) Estructurar el plan de mantenimiento preventivo para conjunto freno tambor de una grúa puente de 54 toneladas.</p> <p>c) Implementar el plan de mantenimiento preventivo para incrementar la confiabilidad del conjunto freno tambor de una grúa puente de 54 toneladas.</p> | <p>a) La evaluación de la confiabilidad del conjunto freno tambor de la grúa puente de 54 toneladas revelará los modos de falla críticos.</p> <p>b) La estructuración del plan de mantenimiento preventivo permitirá incrementar la confiabilidad del conjunto de freno tambor de una grúa puente de 54 toneladas.</p> <p>c) La implementación de un plan de mantenimiento preventivo permitirá incrementar la confiabilidad del conjunto freno tambor de una grúa puente de 54 toneladas.</p> |

- Fuente: Elaboración propia.

Anexo: Instrumentos

| Instrumento | Definición | Propósito |
|--|--|--|
| Inspección de Registro de Fallas | Llevar un registro detallado y sistemático de todas las fallas ocurridas en el conjunto freno de tambor. | Identificar patrones recurrentes de fallas y puntos críticos que requieren atención prioritaria en el plan de mantenimiento. |
| Mantenimiento Según Fabricante | Adherencia a las recomendaciones y pautas de mantenimiento proporcionadas por el fabricante del equipo. | Asegurar que las actividades de mantenimiento preventivo se realicen conforme a los estándares y especificaciones del fabricante para prolongar la vida útil del equipo. |
| Análisis de Causa Raíz (ACR) | Técnica utilizada para identificar las causas fundamentales de fallas o problemas. | Desarrollar soluciones efectivas que eliminen las causas raíz, evitando la recurrencia de las fallas. |
| Análisis de Modos y Efectos de Fallas (AMEF) | Metodología sistemática para identificar modos de falla potenciales, sus causas y efectos, y priorizar las acciones correctivas. | Evaluar y mejorar la confiabilidad del conjunto freno de tambor mediante la identificación y mitigación de riesgos críticos. |
| Indicadores de Mantenimiento | Métricas utilizadas para evaluar el desempeño del mantenimiento, tales como el tiempo medio entre fallas (MTBF) y el tiempo medio para reparar (MTTR). | Medir la efectividad del plan de mantenimiento preventivo y su impacto en la confiabilidad del equipo. |
| Análisis Económico | Herramientas de análisis económico utilizadas para evaluar la viabilidad y rentabilidad de las inversiones en el plan de mantenimiento. | Justificar económicamente la implementación del plan de mantenimiento preventivo al comparar los costos de implementación con los beneficios económicos derivados de la reducción de fallas y paradas no planificadas. |

Anexo: Aprobación de los Jueces expertos



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN

Yo ... JOSÉ PAULO VALENCIA CANALES... con DNI N° ...70197133... CIP N° 300349 ... de profesión ... INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO ... desempeñándome como ... INGENIERO SUPERVISOR ... en ... SOLDESP SAC...

Por medio de la presente hago constar que he revisado con fines de Validación los Instrumentos:

- REGISTRO DE NUMERO DE FALLAS DEL EQUIPO Y TIEMPO PROMEDIO DE REPARACIÓN
- REGISTRO DE MTTR Y MTBF
- REGISTRO DE AMEF

Del trabajo de PLAN DE TESIS titulado: "Desarrollo de un Plan de Mantenimiento Predictivo para el Conjunto de Freno de Tambor de una Grúa Puente de 54 Toneladas". Elaborado y presentado por los estudiantes:

- APELLIDOS NOMBRES: QUIJANDRIA JIMÉNEZ GENARO ALONSO

| INDICADORES | DEFICIENTE | ACEPTABLE | BUENO | MUY BUENO | EXCELENTE |
|--------------------|------------|-----------|-------|-----------|-----------|
| 1. Claridad | | | | X | |
| 2. Objetividad | | | | | X |
| 3. Actualidad | | | | | X |
| 4. Organización | | | X | | |
| 5. Suficiencia | | | | X | |
| 6. Intencionalidad | | | | | X |
| 7. Consistencia | | | | X | |
| 8. Coherencia | | | | X | |
| 9. Metodología | | | | X | |

En señal de conformidad firmo la presente en la ciudad de ... ILO ... el día ... 17... del mes de ... JUNIO ... del año ... 2024 ...

Mg. : JOSÉ PAULO VALENCIA CANALES
DNI : 70197133
Especialidad : INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA
E-mail : jvalencia412@gmail.com



FIRMA

CONSTANCIA DE VALIDACIÓN

Yo **LEONARDO MANUEL SARAVIA LUQUE** con DNI N° 73171716 y CIP N° 305035 de profesión **INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA** desempeñándome como **SUPERVISOR DE CALIDAD MECÁNICO** en **CORPACE INGENIERIA Y SERVICIOS GENERALES SRL**.

Por medio de la presente hago constar que he revisado con fines de Validación los Instrumentos:

- REGISTRO DE NUMERO DE FALLAS DEL EQUIPO Y TIEMPO PROMEDIO DE REPARACIÓN
- REGISTRO DE MTTR Y MTBF
- REGISTRO DE AMEF

Del trabajo de PLAN DE TESIS titulado: "Desarrollo de un Plan de Mantenimiento Predictivo para el Conjunto de Freno de Tambor de una Grúa Puente de 54 Toneladas". Elaborado y presentado por los estudiantes:

- APELLIDOS NOMBRES: QUIJANDRIA JIMÉNEZ GENARO ALONSO

| INDICADORES | DEFICIENTE | ACEPTABLE | BUENO | MUY BUENO | EXCELENTE |
|--------------------|------------|-----------|-------|-----------|-----------|
| 1. Claridad | | | | X | |
| 2. Objetividad | | | | | X |
| 3. Actualidad | | | | | X |
| 4. Organización | | | X | | |
| 5. Suficiencia | | | | X | |
| 6. Intencionalidad | | | | | X |
| 7. Consistencia | | | | X | |
| 8. Coherencia | | | | X | |
| 9. Metodología | | | | X | |

En señal de conformidad firmo la presente en la ciudad de ... ILO ... el día ... 17... del mes de ... JUNIO ... del año ... 2024 ...

Mg. : -
 DNI : 73171716
 Especialidad : INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA
 E-mail : leo.sar.luq.00@gmail.com



FIRMA

CONSTANCIA DE VALIDACIÓN

Yo **Joao Martín Cardosa Ortega** con DNI N° 47489929 CIP N° 330844 de profesión ... **INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO** desempeñándome como **INGENIERO RESIDENTE** en la empresa **ANROTEC S.A.C.**

Por medio de la presente hago constar que he revisado con fines de Validación los instrumentos:

- **REGISTRO DE NÚMERO DE FALLAS DEL EQUIPO Y TIEMPO PROMEDIO DE REPARACIÓN**
- **REGISTRO DE MTTR Y MTBF**
- **REGISTRO DE AMEF**

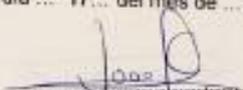
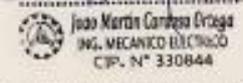
Del trabajo de PLAN DE TESIS titulado: "**Desarrollo de un Plan de Mantenimiento Predictivo para el Conjunto de Freno de Tambor de una Grúa Puente de 54 Toneladas**". Elaborado y presentado por los estudiantes:

- **APELLIDOS NOMBRES: QULJANDRIA JIMÉNEZ GENARO ALONSO**

| INDICADORES | DEFICIENTE | ACEPTABLE | BUENO | MUY BUENO | EXCELENTE |
|--------------------|------------|-----------|-------|-----------|-----------|
| 1. Claridad | | | | X | |
| 2. Objetividad | | | | | X |
| 3. Actualidad | | | | | X |
| 4. Organización | | | X | | |
| 5. Suficiencia | | | | X | |
| 6. Intencionalidad | | | | | X |
| 7. Consistencia | | | | X | |
| 8. Coherencia | | | | X | |
| 9. Metodología | | | | X | |

En señal de conformidad firmo la presente en la ciudad de ... **ILO** ... el día ... **17** ... del mes de ... **JUNIO** del año 2024.

Ing. : Joao Martín Cardosa Ortega
 DNI : 47489929
 Especialidad : Mecánico Eléctrico
 E-mail : jmcardosao@gmail.com

FIRMA

Anexo: Carta de autorización de la empresa

CARTA DE AUTORIZACION



Mediante la presente yo HERNAN GONZALO LUNA HUAJARDO, Jefe de Mantenimiento autorizo a Genaro Quijandria Jiménez mecánico de mantenimiento en el área, realizar la investigación y uso de los datos recopilados para el plan de mantenimiento planteado, basándose en la seguridad y el desarrollo del área.

Sin otro fin me despido.

DNI: 29414577

Fax: 5152 – 58352

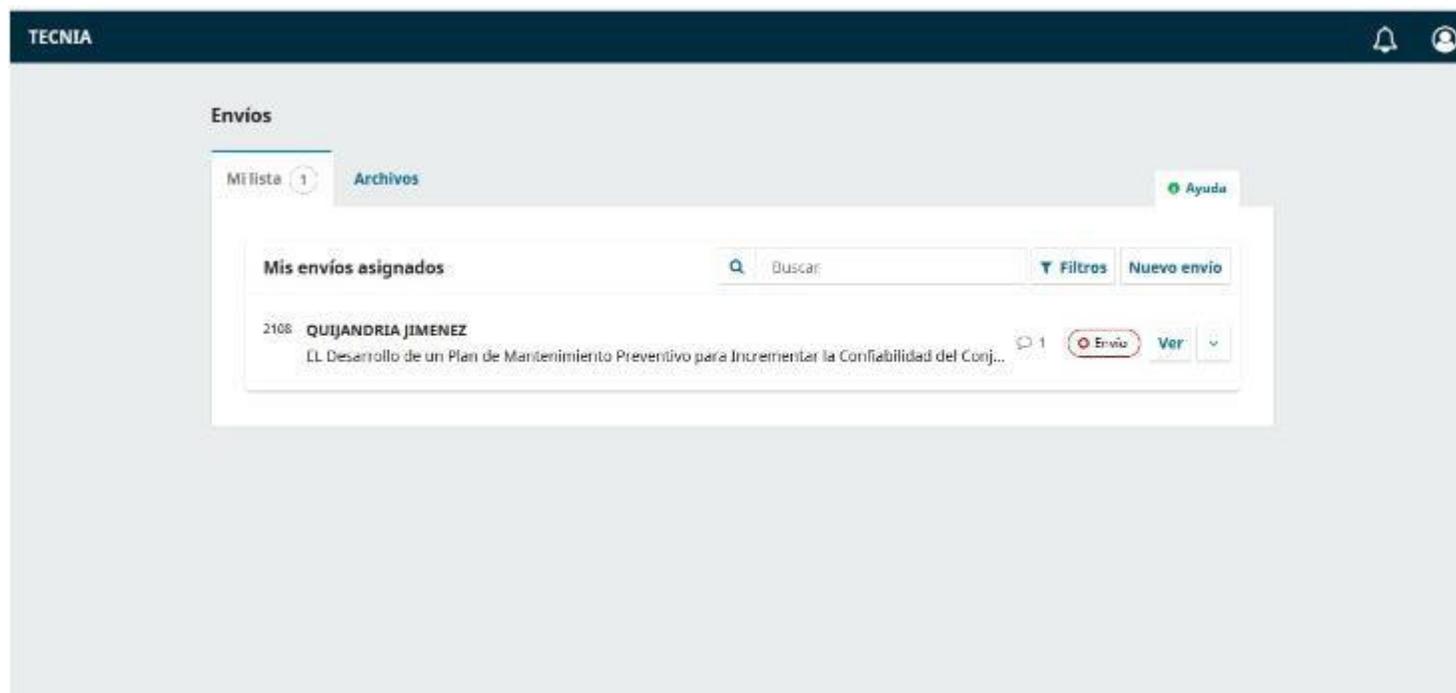
Correo: Hluna@Southern.com.pe

Ilo- PERÚ - 06 de Marzo del 2024



FIRMA

Anexo: Evidencia del envío de su art. Científico a una revista



[Inicio](#) / [Registrarse](#)

Registrarse

 [Cree o conecte su identificador ORCID](#) [¿Qué es ORCID?](#)

Perfil

Nombre *

Apellidos

Afiliación *

País *

Entrar

Correo electrónico *

Nombre usuario *

Contraseña *

Repita la contraseña *

[Enviar un artículo](#)

[Open Journal Systems](#)

Idioma

[English](#)

[Español \(España\)](#)

Acceso directo

[Descargar formato TECNIA](#)

[Ver tutorial sobre el sistema OJS](#)

<https://www.revistas.uni.edu.pe/index.php/tecnia/authorDashboard/submission/2108>

Anexo: Imágenes de la grúa puente





