



UNIVERSIDAD **DE ATACAMA**

Facultad tecnológica

Sede Vallenar

Diseñar un plan de mantenimiento preventivo al alternador modelo AR-6 de la locomotora GT46AC en la empresa FERRONOR Vallenar

Trabajo de titulación presentado en conformidad a los requisitos para obtener el título de técnico en mantención mecánica de equipos industriales

Profesor guía: Luis Alejandro Castillo Carvajal

José Gustavo Iriarte Ramírez

Vicente Servando Molina Alvarado

Cristhian René Valenzuela Zuleta

Vallenar; Chile 2025

Índice

Resumen	5
Abstract	7
1 Capítulo I: Marco de introducción	9
1.1 Introducción	9
1.2 Objetivo general	11
1.3 Objetivo específico	11
1.4 Planteamiento de problema	11
1.5 Antecedentes	12
1.6 Justificación	12
1.7 Alcances	13
1.8 Limitaciones del proyecto	13
2 Capítulo II: Marco teórico	14
2.1 Ferronor	14
2.2 Sistema de generación de electricidad	14
2.3 Ciclo de trabajo de alternador	15
2.4 Sistema de bancos de rectificación	16
2.5 Sistema de refrigeración	16
2.6 ¿Qué es el mantenimiento?	16
2.7 Proyecto de mantenimiento	17
2.8 Tipos de mantenimiento	17
2.9 Análisis de causa raíz	18
2.10 Análisis de criticidad	18
2.10.1 Objetivo de del análisis de criticidad	18
2.10.2 pasos para realizar análisis de criticidad	19
2.11 análisis de modo y efectos de la falla (AMFE)	19
2.12 Objetivos principales del AMFE	19
2.13 ¿Cómo funciona el AMFE?	19
2.14 Análisis de modos de falla, efectos y criticidad.	20
3 Capítulo III: Metodología	21
3.1 Investigación	21
3.2 Diseño de la investigación	21
3.3 población y muestra	21
3.4 Métodos de recolección de datos	21
3.5 Tabla de AMFE	22
3.6 Resultado de encuesta	23
3.6.1 Pregunta 1	23
3.6.2 Pregunta 2	24

3.6.3 Pregunta 3	25
3.6.4 Pregunta 4	26
3.6.5 Pregunta 5	27
3.6.6 Pregunta 6	28
3.7 Análisis e interpretación de resultados de la encuesta	28
4 Capítulo IV: Análisis e interpretación de resultados	29
4.1 Tabla de análisis de criticidad	30
4.2 Análisis de criticidad	31
4.3 Tabla de AMFEC	32
4.4 Resultado AMFEC	33
4.5 Resultados de encuesta	34
4.6 Propuesta de pauta de mantenimiento	35
4.7 Bases para creación de pauta de mantenimiento	36
5 Capítulo V: Discusión de resultados	37
5.1 Implicaciones y recomendaciones	37
5.2 Análisis de resultado del objetivo general	38
5.3 Implicaciones y recomendaciones	39
6 Capítulo VI: conclusiones	40
6.1 Conclusión	40
6.2 Bibliografía	41

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Diseño de locomotora GL	10
Ilustración 2 Tabla de comparación de mantenimientos	12
Ilustración 3 Tabla de AMFE	17
Ilustración 4 Pregunta 1 de encuesta	18
Ilustración 5 Pregunta 2 de encuesta	19
Ilustración 6 Pregunta 3 de encuesta	20
Ilustración 7 Pregunta 4 de encuesta	21
Ilustración 8 Pregunta 5 de encuesta	22
Ilustración 9 Pregunta 6 de encuesta	23
Ilustración 10 Tabla de análisis de criticidad	26
Ilustración 11 Tabla de AMFEC	28
Ilustración 12 Pauta de mantenimiento	31

Resumen

En el presente trabajo, titulado “Diseñar un plan de mantenimiento preventivo al alternador modelo AR-6 de la locomotora GT46AC en la empresa FERRONOR Vallenar”, tuvo como propósito aumentar la confiabilidad operativa y reducir la recurrencia de fallas que afectan la continuidad del servicio ferroviario. Este estudio se originó a partir de una necesidad detectada en terreno, donde se identificó que el alternador presentaba intervenciones frecuentes asociadas al sobrecalentamiento, desgaste mecánico y fallas eléctricas, lo que generaba detenciones no programadas y un aumento de trabajos correctivos.

Para abordar esta problemática, se inició un proceso de recopilación de información técnica y operacional que permitió conocer la estructura y función de los componentes principales del alternador. El diagnóstico inicial fue muy importante para identificar las zonas más sensibles del equipo y saber cómo las condiciones de operación influyen en la aparición de fallas recurrentes. Además, se revisó el historial de intervenciones realizado por el personal técnico, lo que evidenció patrones claros en la frecuencia y el tipo de falla, reflejando la ausencia de un esquema preventivo formal y sostenido en el tiempo.

Posteriormente, se aplicó un análisis de criticidad y metodología AMFEC para identificar, evaluar y jerarquizar los modos de falla presentes en el alternador AR-6. Estos métodos permitieron cuantificar la severidad, ocurrencia y capacidad de detección de cada falla, obteniendo así un valor de NPR que facilitó determinar qué componentes debían ser priorizados dentro del mantenimiento. Los resultados mostraron que el sistema de rodadura, el estator y el banco de rectificación representan los riesgos operativos más altos, debido al impacto que generan sus fallas y a lo difícil que resulta detectarlas tempranamente. Este análisis entregó una visión clara y ordenada de cómo se comporta el equipo, permitiendo guiarnos hacia los puntos donde la intervención tendría un mayor efecto.

Con bases a esos resultados, se elaboró un plan de mantenimiento preventivo orientado a disminuir la probabilidad de ocurrencia de fallas críticas y mejorar la continuidad operativa del alternador. El plan incluye inspecciones periódicas, controles térmicos, revisión del aislamiento eléctrico, verificación del sistema de rodadura y chequeos del banco de rectificación. Al aplicar estas acciones en la evaluación AMFEC, se observó una disminución en los valores de ocurrencia y una reducción del NPR en las fallas más relevantes, demostrando que las medidas propuestas son efectivas y coherentes con las expectativas reales del equipo.

Finalmente, las encuestas aplicadas al personal de mantenimiento reforzaron la validez del diagnóstico técnico, ya que los trabajadores identificaron las mismas las fallas críticas señaladas en el análisis estructurado. Esto evidencia que la propuesta responde tanto a la información técnica como también a la experiencia de los realizan las mantenciones en terreno.

En conclusión, la investigación permitió identificar las causas principales del bajo rendimiento del alternador AR-6, cuantificar y desarrollar una propuesta de mantenimiento preventivo fundamentada en datos y metodologías reconocidas. La aplicación de este plan tiene el potencial de reducir significativamente las fallas recurrentes, optimizar los recursos de mantenimiento y mejorar la confiabilidad del alternador dentro de las operaciones ferroviarias. Esta propuesta cumple el objetivo planteado y tiene las herramientas que son de utilidad para fortalecer la gestión de mantenimiento de la flota de locomotoras GT46C.

Abstract

The present work, titled “*Designing a Preventive Maintenance Plan for the AR-6 Alternator of the GT46AC Locomotive at FERRONOR Vallenar*”, aimed to increase operational reliability and reduce the recurrence of failures that affect the continuity of railway service. This study originated from a need detected in the field, where it was identified that the alternator required frequent interventions due to overheating, mechanical wear, and electrical failures, which resulted in unscheduled downtime and an increase in corrective work.

To address this issue, a process of gathering technical and operational information was carried out, allowing for a thorough understanding of the structure and function of the alternator’s main components. The initial diagnosis was crucial for identifying the most sensitive areas of the equipment and understanding how operating conditions influence the onset of recurring failures. In addition, a review of the intervention history conducted by technical personnel revealed clear patterns in the frequency and type of failures, reflecting the absence of a formal and consistent preventive maintenance scheme.

Subsequently, a criticality analysis and FMECA methodology were applied to identify, assess, and rank the failure modes present in the AR-6 alternator. These methods made it possible to quantify the severity, occurrence, and detection capacity of each failure, thus obtaining an RPN value that facilitated determining which components should be prioritized within the maintenance plan. The results showed that the bearing system, the stator, and the rectifier bank represent the highest operational risks due to the impact of their failures and the difficulty of detecting them early. This analysis provided a clear and structured understanding of the equipment’s behavior, allowing us to focus on the points where intervention would have the greatest effect.

Based on these results, a preventive maintenance plan was developed to reduce the likelihood of critical failures and improve the operational continuity of the alternator. The plan includes periodic inspections, thermal monitoring, electrical insulation checks, verification of the bearing system, and rectifier bank assessments. When applying these actions in the FMECA evaluation, a decrease in occurrence values and a reduction in the RPN of the most relevant failures were observed, demonstrating that the proposed measures are effective and consistent with the equipment's real needs.

Finally, the surveys administered to maintenance personnel supported the validity of the technical diagnosis, as the workers identified the same critical failures highlighted in the structured analysis. This shows that the proposal aligns with both technical information and the hands-on experience of those performing field maintenance.

In conclusion, this research made it possible to identify the main causes of the AR-6 alternator's low performance, quantify them, and develop a preventive maintenance proposal based on recognized data and methodologies. The implementation of this plan has the potential to significantly reduce recurring failures, optimize maintenance resources, and improve the reliability of the alternator within railway operations. This proposal fulfills the stated objective and provides useful tools to strengthen the maintenance management of the GT46AC locomotive fleet.

1. Capítulo I: Marco de introducción

1.1 Introducción

El transporte de materiales vía ferrocarril es fundamental en el desarrollo económico de un país, ya que permite satisfacer las necesidades de transporte de diversos materiales desde los sectores productivos hasta su punto de embarque. En este contexto, los servicios ferroviarios tienen un papel importante en el transporte al recorrer grandes distancias con un coste relativo menor que otros medios.

La característica principal de estos equipos se centra en su alternador, que es el que genera junto a un motor Diesel la energía eléctrica, que luego se transforma en movimiento, sin embargo, el sistema del alternador presenta detenciones no programadas impactando negativamente al negocio.

Para analizar estas problemáticas debemos mencionar sus causas. Una de ellas es la falla en el sistema de rodadura del alternador la cual requiere un desarme mayor. Esta situación es altamente perjudicial para la empresa ya que genera pérdidas de producción que se traduce como pérdidas financieras.

La investigación de esta problemática surge de la necesidad de encontrar una solución a las recurrentes fallas en el equipo alternador, estas fallas suponen una gran pérdida tanto financiera como en su continuidad operativa, y esto debido a que se detectó que no existe un plan de mantenimiento preventivo para este equipo por lo cual el equipo limita su vida útil

En este contexto, se propone la creación de un plan de mantenimiento preventivo orientado hacia anticiparse a la falla y reducir los tiempos de inactividad, esto nos ayudara a tomar mejores decisiones con respecto al mantenimiento lo que se traduce como mayor confiabilidad y mayor aprovechamiento económico.

La finalidad de este trabajo de investigación es proponer un plan de mantenimiento dirigido al componente crítico, garantizando su funcionamiento en óptimas condiciones buscando tener mínimas interrupciones operativas, con ello se busca lograr una generación de electricidad constante y segura para el equipo.

Este trabajo se dirige a la empresa FERRONOR desarrollada por la empresa TECMIN como una mejora en su gestión de mantenimiento esto para elevar su desempeño tanto económico como operacional, también se busca comprender su funcionamiento, los principales fallos y determinar una frecuencia de mantenimiento adecuada.

1.2 Objetivo general

Realizar un plan de mantenimiento preventivo al alternador AR-6 de la flota de locomotoras con el fin de aumentar confiabilidad.

1.3 Objetivo específico

- Recopilar información técnica detallada sobre los componentes del equipo.
- Analizar historial de fallas para evaluar indicadores.
- Identificar causa a raíz de las principales fallas.
- Realizar propuesta de plan de mantenimiento preventivo.

1.4 Planteamiento de problema

El problema se presenta en la ausencia de un plan de mantenimiento preventivo para el generador AR-6, el cual es un componente fundamental en la operación de la locomotora. Esta falta de planificación provoca daños significativos en el equipo e impacta negativamente en la empresa generando pérdidas económicas.

1.5 Antecedentes

La empresa de transporte ferroviario FERRONOR, fundada en 1988, es una compañía chilena con una de sus principales sedes en la ciudad de Vallenar, ubicada en la Región de Atacama. Con más de 35 años de trayectoria en el transporte de carga ferroviaria en el norte del país, se ha consolidado como una de las principales compañías en la cadena logística de la zona. Su actividad ha estado históricamente vinculada a la minería, sector que constituye uno de los pilares productivos de la región y que exige soluciones eficientes para el traslado de grandes volúmenes de mineral hacia centros de procesamiento y exportación. Desde sus inicios, la empresa ha operado locomotoras y equipos de tracción basados en sistemas electromagnéticos.

La compañía Servicios de Equipos Mineros (TECMIN), fundada en 1998, es una empresa chilena con sede en la ciudad de Vallenar, también en la Región de Atacama. Con aproximadamente 25 años de experiencia, se ha especializado en el mantenimiento y reparación de motores de locomotora, maquinaria pesada y camiones industriales de gran capacidad utilizados en faenas mineras.

TECMIN es una compañía de gran importancia para FERRONOR, ya que se encarga del mantenimiento y reparación de los generadores AR-6, uno de los componentes más esenciales en las flotas de locomotoras.

1.6 Justificación

La justificación de este estudio se fundamenta en la necesidad de abordar las fallas recurrentes del alternador AR-6, componente crítico en la locomotora. Su reparación exige desarmes mayores que generan tiempos de inactividad prolongados y, en consecuencia, pérdidas económicas relevantes.

Por lo anterior, resulta de vital importancia implementar un plan de mantenimiento preventivo que permita incrementar la eficiencia operativa de las locomotoras, optimizar la gestión de los recursos y minimizar los tiempos improductivos.

1.7 Alcances

La propuesta tiene como alcance garantizar que el alternador de la locomotor se mantenga en óptimas condiciones de operación, minimizando interrupciones necesarias para su mantenimiento, lo que permitirá asegurar la continuidad de la operación ferroviaria evitando las pérdidas económicas para la empresa y contribuyendo a ofrecer un servicio confiable y seguro.

1. Desde el punto de vista técnico el plan se orienta específicamente en el alternador de la locomotora.
2. Este estudio es una propuesta dirigida a la empresa FERRONOR y TECMIN planteando una metodología de mantenimiento preventivo que reduzca costos asociados a reparaciones correctivas.

1.8 Limitaciones del proyecto

- Baja accesibilidad pública a datos relevantes del componente.
- Escasez sobre datos de mantenimiento de las empresas.
- Tiempo acotado para generar la propuesta.

2 Capítulo II: Marco teórico

2.1 Ferronor

Es una empresa chilena dedicada al transporte ferroviario de carga en la zona norte del país, específicamente desde la primera hasta la cuarta región. Desde 1998 opera líneas férreas que conectan minas, plantas y puertos tanto en el valle del Huasco como en la cuarta y primera región del país, transportando principalmente cobre y hierro. Al tener locomotoras de alta capacidad permite trasladar altos volúmenes de carga. Su rol es estratégico para la minería y exportación de la zona, clave en logística para sostener parte de la economía nacional.

Actualmente cuenta con una flota de 14 locomotoras que en conjunto con 40 vagones se transportan cerca de 60 toneladas en cada carro, lo que permite movilizar 240 toneladas en cada recorrido para su entrega en el puerto de Guacolda.

2.2 Sistema de generación de electricidad

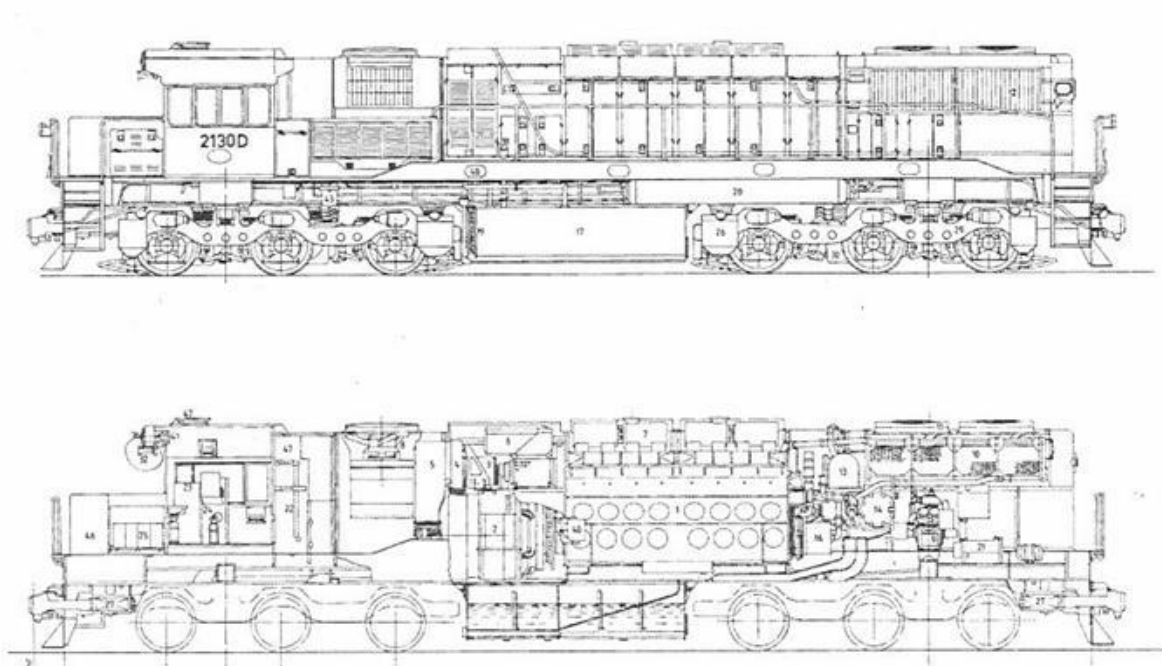
El proceso de generación comienza desde el motor Diesel ubicado en el centro de la locomotora GT46AC, este motor cuenta con 4.300 HP de potencia, que mediante un acople apernado une los volantes de inercia de salida del motor Diesel y el volante de entrada del alternador AR-6, esta unión permite la conversión de energía mecánica a energía eléctrica mediante el movimiento del rotor que en conjunto con el estator permiten esta conversión.

El alternador genera electricidad cuando el rotor con 10 polos magnéticos induce corriente alterna trifásica en el estator esto gracias al movimiento mecánico, el alternador en su fase de trabajo genera una potencia nominal de 3.3 MW, la corriente alterna generada pasa por los bancos de rectificación y fusibles que rectifican la corriente alterna y la transforman en corriente continua, la que se redirige hacia los sistemas de control de la locomotora en el que se divide cabina, sistemas auxiliares y de potencia, en donde se controla la aceleración y frenado de la locomotora mediante los motores de tracción D29.

2.3 Ciclo de trabajo de alternador

El ciclo comienza cuando el motor Diesel se pone en marcha y empieza a girar el alternador, antes de generar energía el alternador necesita una excitación eléctrica externa para ponerse en marcha. Esta energía externa se extrae desde un alternador auxiliar cuando el rotor gira a alta velocidad dentro de las bobinas estáticas, se induce corriente alterna de alta tensión para luego ser producida. La energía pasa por una serie de filtros hasta que llega a la sección de regulación y control donde el maquinista, en conjunto de la computadora a bordo, modula la corriente entregada a los motores de tracción controlando con precisión la potencia de salida, para optimizar la eficiencia de combustible y no sobre exigir los sistemas innecesariamente.

Ilustración 1 Diseño de locomotora GL



(Locomotive service manual)

2.4 Sistema de bancos de rectificación

El banco de rectificado tiene como función transformar la energía alterna trifásica que produce el alternador y convertirla en energía continua esto se produce gracias a que cada fase que sale del alternador pasa por pares de diodos rectificadores conectados en polaridad opuesta en esta configuración los diodos permiten el paso de corriente en solo un sentido bloqueando el semiciclo opuesto a si se obtiene una señal de corriente continua a su vez cada par de diodos está protegido con fusibles entre 400 a 650 A en conjunto de los pares de diodos se instalan condensadores y resistencias para proteger el circuito de sobretensiones o picos generados por los diodos al finalizar el proceso sale corriente continua directo hacia los mandos y finalmente hacia los motores de tracción.

2.5 Sistema de refrigeración

El alternador usa un sistema de refrigeración por aire forzado el aire es empujado por un ventilador centrífugo acoplado directamente en el rotor el cual redirige el aire a través de los conductos internos y externos manteniendo una temperatura de trabajo ideal.

El banco de rectificado en si no cuenta con sistema de refrigeración independiente pero sus pares de diodos están montados sobre disipadores metálicos que trabajan en conjunto con la masa de aire movilizada por el alternador y ventiladores principales propios de la locomotora esto mantiene una temperatura estable de trabajo sobre los diodos y demás componentes propios de esta.

2.6 ¿Qué es el mantenimiento?

Es el conjunto de actividades y procesos estratégicos realizados para conservar y/o restablecer infraestructuras, sistemas, equipos y dispositivos (ISED) a una condición que les permita cumplir con las funciones requeridas dentro de un marco económico óptimo y de acuerdo a las normas técnicas y procedimientos de seguridad establecidos.

2.7 Proyecto de mantenimiento

Son las actividades de todo tipo encaminadas a tratar de eliminar la necesidad de mantenimiento, corrigiendo la causa raíz de la falla de manera integral. Las acciones más comunes que realiza son: modificaciones de elementos de máquinas, modificaciones de alternativas de proceso, cambios de especificaciones, ampliaciones, revisión de elementos básicos de mantenimiento y conservación, mediante la elaboración de un proyecto. (CARTER, 1986)

Tipos de mantenimiento

Ilustración 2 Tabla de comparación de mantenimientos

Tipos	Descripción	Ventajas	Desventajas
Correctivo	Se realiza después de que ocurre algún tipo de falla.	Bajo costo inicial. No requiere planificación.	Detenciones imprevistas. Daños mayores.
Preventivo	Se ejecuta periódicamente, según un plan o tiempo de uso.	Reduce fallas antes de que ocurran. Reduce paradas innecesarias.	Requiere planificación. Se puede cambiar piezas aun útiles.
Predictivo	Se basa en mediciones o monitoreos del estado de la maquinaria.	Mejora continua. Disminuya el número total de fallas.	Alto costo inicial. Requiere personal capacitado.
Proactivo	Busca eliminar fallas de raíz antes de que sucedan.	Involucra al personal. Mejora la detección temprana de fallas.	Requiere análisis detallado y tiempo. Complejo de implementar

(Elaboración propia , 2025)

2.8 Análisis de causa raíz

La definición de análisis de la causa raíz gira en torno al proceso de identificar el origen de un problema y buscar una solución de forma que el problema se trate en su raíz. De este modo, las organizaciones y los profesionales pueden mirar más allá de los síntomas del problema y trabajar sobre la causa real.

Tres tipos básicos de causa raíz

Causas físicas: Pueden surgir debido a problemas con cualquier componente físico de un sistema, como fallos de hardware y mal funcionamiento del equipo.

Causas humanas: Puede ocurrir debido a un error humano, causado por la falta de habilidades y conocimientos para realizar una tarea.

Causas organizativas: Puede ocurrir cuando las organizaciones utilizan un sistema o proceso defectuoso o insuficiente, en situaciones como dar instrucciones incompletas, tomar decisiones equivocadas y manejar mal al personal y los bienes (Análisis RAM manual, 2025)

2.9 Análisis de criticidad

El análisis de criticidad es el proceso que ordena todos los activos basándose en que tan propenso son a fallar considerando todas las formas posibles en que los activos pueden fallar y los efectos que la falla puede tener en el sistema y la operación.

Los equipos que presentan mayor probabilidad de fallar o que poseen un historial de fallas más recurrentes son ubicados en los niveles más altos de la tabla de criticidad, indicando que tienen que ser los primeros en intervenir en un mantenimiento.

2.9.1 Objetivo de del análisis de criticidad

Clasificar los activos según su importancia en la operación y Utilizar los fondos de mantenimientos de forma más eficiente en conjunto Priorizar mantenimiento (tiempo, personal).

2.9.2 Pasos para realizar análisis de criticidad

- Identificar el activo a realizar el análisis.
- Recopilación de información del activo.
- Evaluar la probabilidad de falla.
- Evaluar la consecuencia de la falla.
- Clasificación y orden de los activos.

2.10 Análisis de modo y efectos de la falla (AMFE)

- Identificar evaluar y clasificar las fallas potenciales de un sistema o equipo.
- Priorizar los modos de falla para enfocarse en los de mayor riesgo o impacto.
- Definir acciones correctivas o preventivas para eliminar o reducir fallas.

2.11 Objetivos principales del AMFE

- Detectar modos de falla potenciales antes de que ocurran.
- Evaluar el impacto o efecto que cada falla podría tener sobre el equipo.
- Priorizar los modos de falla para enfocarse en los que representan mayor riesgo o impacto.
- Definir acciones correctivas o preventivas para eliminar o reducir la probabilidad de fallas o mitigar sus efectos.

2.12 ¿Cómo funciona el AMFE?

El AMFE se desarrolla generalmente en varias etapas

1. Identificación de modos de falla: Se listan todas las formas en que un componente o sistema puede fallar.
2. Análisis de efectos: se describe qué impacto o defecto tiene cada modo de falla sobre el sistema.
3. Evaluación de la severidad, ocurrencia y detección: Se describe que impacto o efecto tiene cada modo de falla sobre el sistema
4. Priorización: Según los valores asignados, se priorizan las fallas para implementar acciones preventivas y correctivas.

2.13 Análisis de modos de falla, efectos y criticidad.

El análisis FMECA es una ampliación del AMFE. Además de identificar modos de falla y sus efectos, el FMECA introduce un análisis de criticidad, lo cual permite valorar la gravedad y riesgo de cada modo de falla, facilitando la toma de decisiones en el mantenimiento.

Este método comenzó como una herramienta cualitativa (AMFE) y evolucionó al incorporar aspectos cuantitativos como la frecuencia, severidad y detectabilidad del fallo, permitiendo calcular el número de prioridad de riesgo (NPR).

3 Capítulo III: Metodología

3.1 Investigación

Este estudio corresponde como a una investigación aplicada, ya que su propósito fundamental es desarrollar una propuesta técnica que dé solución al problema generado por las fallas del alternador AR/6 de la locomotora GT46.

3.2 Diseño de la investigación

Se adopta un diseño de investigación no experimental de alcance descriptivo y propositivo al desarrollar la estructura del plan de mantenimiento.

3.3 población y muestra

La población objeto de estudio está compuesta por los alternadores AR/6 de las locomotoras GT46A de Ferronor específicamente unidades utilizadas entre 2024 y 2025.

3.4 Métodos de recolección de datos

Las fuentes primarias de información serán recolectadas a través de la observación directa del activo y entrevistas en profundidad con el personal técnico que opera y repara el activo.

3.5 Tabla de AMFE

Ilustración 3 Tabla de AMFE

Descripción de la fase	Modo/s potencial/es de fallo	Efecto/s potencial/es del fallo	Gravidad	Causa(s) potencial(es) del fallo(s)	Ocurrencia	Verificación(es) y/o control(es) actual(es)	Detección	NPR
Rotor	Falla en embobinado	Pérdida de campo	5	Sobrecalentamiento	8	Pruebas de aislamiento	2	80
		Caída en Generación de energía	5	Humedad	6	Inspección visual interna al desmontar	3	90
	Desbalanceo	Daño a rodamientos	6	Desgaste irregular	7	Análisis vibracional	4	168
		Riesgo estructural	6	Suciedad en el sistema	9	Inspección visual	5	270
	Falla de diodos	Pérdida total de excitación	5	Envejecimiento	4	Revisión de sistema de excitación	6	120
		Desgaste acelerado	6	Sobrecorriente	5	Prueba eléctrica individual	7	210
	Daño o bloqueo en el ventilador del rotor	sobrecalentamiento	7	Paletas rotas	4	Inspección visual diaria	8	224
		Deformación de componentes por calor	7	Suciedad	9	Cambio de marca de componentes	9	567
	Pérdida de magnetización	Dificultad para generar energía	5	Vibración prolongada	3	Verificar voltaje de arranque	10	150
		generación errática de energía	6	Golpes	3	Pauta de mantenimiento	11	198
Estator	Desgaste en aislamiento	Cortocircuito entre espiras	6	Sobrecarga	4	Pruebas de aislamiento	12	288
		Caída de voltaje	5	Envejecimiento del barniz	3	Mantener limpieza y ventilación	13	195
	Fallo en conexiones	Posibles chispazos	7	Vibración constante	3	Reapriete y limpieza	14	294
		Calentamiento en terminales	6	Conexiones deficientes	3	Inspección visual	15	270
	Contaminación interna	Riesgo de arcos eléctricos	7	Ambiente sucio	9	Limpieza programada	16	1008
		Pérdida de aislamiento	9	Aceite/diesel en alternador	5	Revisión de filtros	17	765
	Cortocircuito entre fases del estator	Calentamiento severo	9	Sobrecorriente	7	Inspección física interna	18	1134
		Pérdida de generación	7	Degradación del aislamiento	4	Análisis de corriente	19	532
	Sobrecalentamiento	Alta temperatura en el estator	7	Filtro tapado	4	Capacitación de personal	20	560
		Degradación del bobinado	6	Conductos de ventilación obstruidos	5	Compra de componentes con garantía	21	630

(Elaboración propia, 2025)

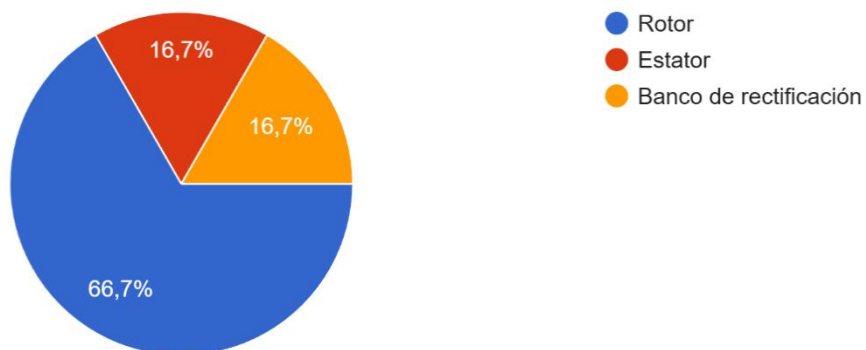
3.6 Resultado de encuesta

3.6.1 Pregunta 1

Ilustración 4 Pregunta 1 de encuesta

Según su experiencia, ¿Cuál es el componente con mas alta criticidad?

6 respuestas



(Elaboración propia, 2025)

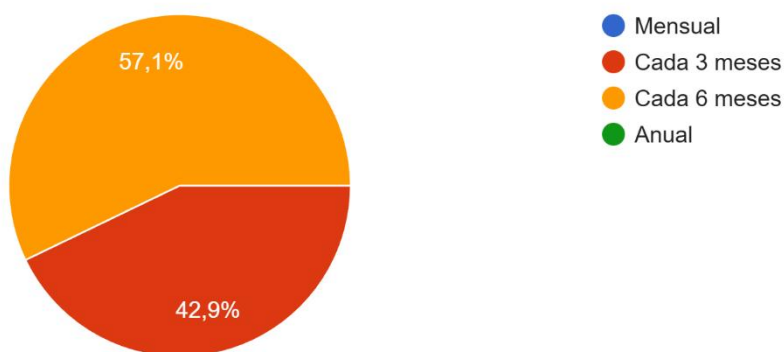
Esta pregunta tiene como objetivo recopilar información directa de los trabajadores para establecer qué componentes son considerados más críticos esto para diseñar un plan de mantenimiento más eficiente y focalizado

3.6.2 Pregunta 2

Ilustración 5 Pregunta 2 de encuesta

¿Con qué frecuencia intervienes en tareas críticas de alternadores?

7 respuestas



(Elaboración propia, 2025)

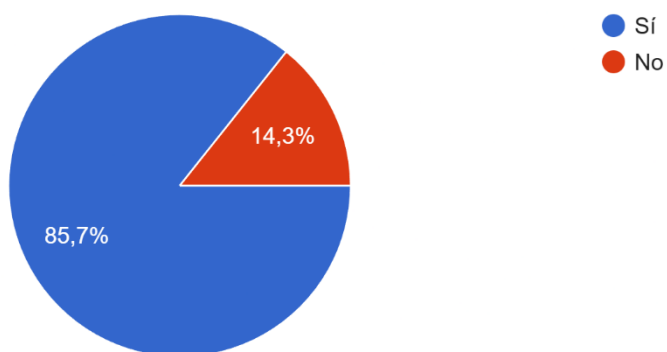
El objetivo de esta pregunta es identificar si el alternador presenta altos índices de intervención esto para determinar si se debe ajustar la organización o estrategia de mantenimiento

3.6.3 Pregunta 3

Ilustración 6 Pregunta 3 de encuesta

¿La empresa cuenta con un plan de mantenimiento preventivo para los alternadores?

7 respuestas



(Elaboración propia , 2025)

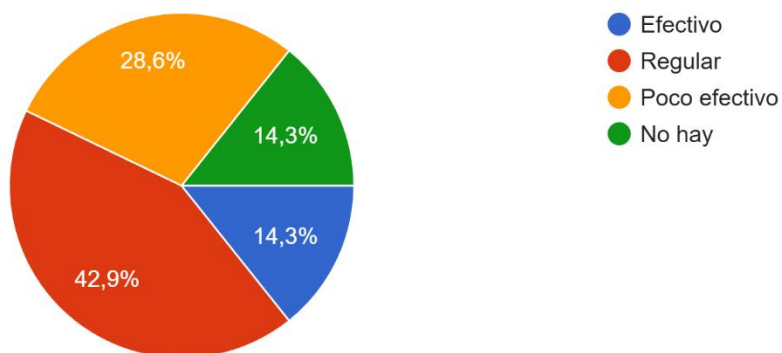
El objetivo de esta pregunta es evaluar el grado de estructura y planificación del área de mantenimiento para determinar si existen procedimientos establecidos y mejorarlos

3.6.4 Pregunta 4

Ilustración 7 Pregunta 4 de encuesta

Si tu respuesta anterior fue "Sí", ¿Qué tan efectivo consideras ese plan?

7 respuestas



(Elaboración propia, 2025)

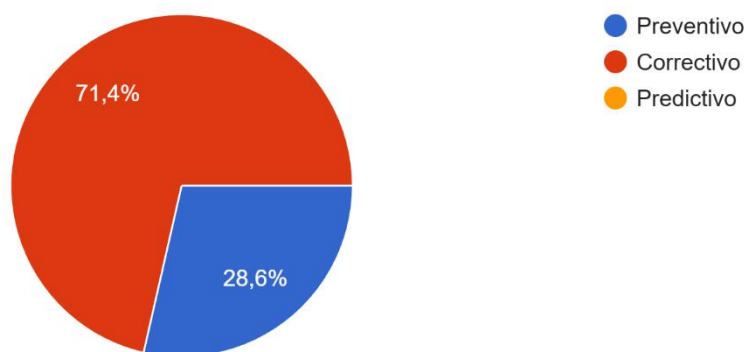
El objetivo de esta pregunta fue conocer la opinión de los trabajadores respecto al plan de mantenimiento actual aplicado al alternador AR-6 y evaluar su efectividad

3.6.5 Pregunta 5

Ilustración 8 Pregunta 5 de encuesta

¿Qué tipo de mantenimiento se realiza con mayor frecuencia?

7 respuestas



(Elaboración propia , 2025)

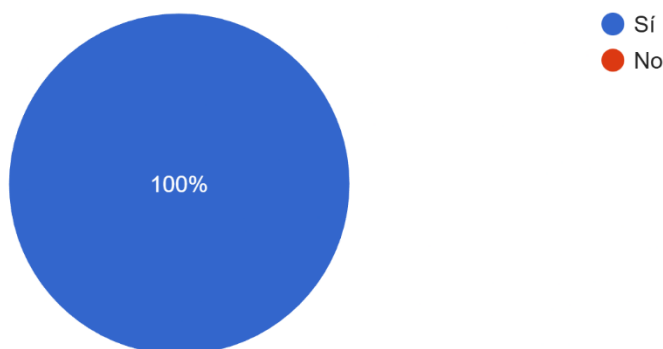
Esta pregunta tiene como objetivo determinar la modalidad de mantenimiento mas frecuente para evaluar la estrategia de mantenimiento predominante y detectar posibles áreas donde se requiere mejorar la planificación

3.6.6 Pregunta 6

Ilustración 9 Pregunta 6 de encuesta

¿Cree usted que se deba implementar una mejora en el el plan de mantenimiento de los alternadores?

7 respuestas



(Elaboración propia, 2025)

Esta pregunta tiene como objetivo recopilar información clave directamente desde los trabajadores para determinar si es necesario implementar una mejora al plan actual.

3.7 Análisis e interpretación de resultados de la encuesta

A partir de los resultados obtenidos, se puede concluir que el plan de mantenimiento actual, presenta problemas en su efectividad, ya que los trabajadores lo perciben como poco eficiente y orientado a acciones correctivas antes que preventivas. También se identifica una alta criticidad en componentes clave como el rotor, y una frecuencia de mantención que no se ajusta a las necesidades operacionales del equipo. Estos datos evidencian la necesidad de implementar mejoras en el plan de mantenimiento de los alternadores, con un enfoque más preventivo y estructurado, capaz de reducir fallas recurrentes y garantizar la continuidad operativa de los equipos.

4 Capítulo IV: Análisis e interpretación de resultados

En este capítulo se presentan e interpretan los resultados obtenidos a partir del análisis técnico realizado sobre el alternador AR-6, en el cual el objetivo principal es evaluar si los datos recopilados permiten validar la propuesta de mantenimiento preventivo presentada.

Los resultados se interpretan en función del cumplimiento del objetivo general y de los objetivos específicos planteados en esta investigación permitiendo determinar si esto contribuye a mejorar la eficiencia operativa del equipo.

La metodología utilizada en este estudio permitió reunir la información necesaria para entender el estado del alternador AR-6 y las fallas más comunes que presenta. Por medio de observaciones y encuestas realizadas al personal técnico, se logró identificar qué componentes fallan con mayor frecuencia y cuáles son los que genera un mayor impacto operacional.

El análisis AMFEC ayudó a ordenar y priorizar estas fallas según el nivel de riesgo, lo que hace más fácil definir las tareas de mantenimiento más importantes. Con esto se tiene una visión clara de los problemas principales y las acciones necesarias para mejorar la confiabilidad.

4.1 Tabla de análisis de criticidad

Ilustración 10 Tabla de análisis de criticidad

Componentes alternador	Total	Jerarquisación
Rotor	●	184 critico
Estator	●	184 critico
Bobinas del estator	●	120 critico
Cableado principal de potencia	●	120 critico
Cableado de control y sensores	●	96 critico
Transformadores de corriente (CT)	●	96 critico
Transformadores de potencial (PT)	●	92 critico
Bobinas de campo	●	68 critico
Sensores de temperatura del estator	●	68 critico
Sensores de temperatura de cojinetes	●	60 medio critico
Alternador Cojinetes principales	●	52 medio critico
Anillos colectores	●	52 medio critico
Bornes de salida del estator	●	50 medio critico
Carcasa del alternador	●	48 medio critico
Cepillos	●	44 medio critico
Ventilador centrífugo	●	44 medio critico
Junta y empaques	●	36 medio critico
Cojinetes principales	●	30 medio critico
Disco de acoplamiento al motor diésel	●	29 medio critico
Terminales de conexión	●	29 medio critico
Soportes de montaje al chasis	●	28 medio critico
Aisladores	●	28 medio critico
Tornillería y elementos de fijación	●	27 medio critico
Porta-cepillos	●	25 medio critico
Relé de protección de generador (GR)	●	25 medio critico
Relé de falla a tierra (GRT)	●	13 no critico
Cubiertas de inspección	●	10 no critico
Bastidor de montaje	●	9 no critico
Placas colectoras (bus bars)	●	9 no critico
Conductos de aire	●	9 no critico
Filtros o rejillas de ventilación	●	5 no critico
Tapas de cojinetes	●	2 no critico
Araña del rotor (spider)	●	2 no critico
Placa de identificación del alternador	●	0 no critico

(Elaboración propia, 2025)

4.2 Análisis de criticidad

El análisis permitió ordenar componentes del alternador AR-6 según su importancia operativa y el nivel de riesgo asociado a sus fallas. A partir de esta información, se identifican los elementos que presentan mayor probabilidad de fallar y aquellos cuya falla genera consecuencias más severas en la locomotora. Esto permitió establecer una priorización clara de los equipos que requieren una atención inmediata y un mantenimiento más riguroso.

Estos resultados evidencian que los componentes con mayor criticidad son el sistema de rodadura del alternador, el estator y el banco de rectificación. Estos componentes destacan por su alta influencia en el servicio de la máquina, ya que sus fallas provocan una pérdida de potencia, detenciones no programadas y reparaciones de un costo muy alto. Adicionalmente se observó que estos componentes tienen una baja capacidad de ser detectados de forma temprana, lo que aumenta su nivel de riesgo y la necesidad de una intervención preventiva.

Esto refuerza la importancia de un plan de mantenimiento estructurado, estableciendo rutinas de inspección periódica y estratégica, enfocadas en los elementos de mayor prioridad. Gracias a esto, es posible definir qué partes del alternador deben ser tratadas como críticas y requieren medidas específicas para mejorar su disponibilidad y confiabilidad.

4.3 Tabla de AMFEC

Ilustración 11 Tabla de AMFEC

Acciones realizadas	Gravedad	Ocurrencia	Detección	NPR
Aplicar pruebas de impulso y aislamiento	5	5	2	50
Asegurar el proceso de bobinado	5	4	3	60
Revisar alineación del rotor con eje	6	5	4	120
Inspeccionar presencia de suciedad adherida	6	4	5	120
Prueba individual de cada diodo	5	3	6	90
Verificación de placa rectificadora	6	3	7	126
Revisión de caudal de aire y refrigeración	7	2	8	112
verificación de integridad física de las aspas	7	4	9	252
Revisar conexiones y escobillas	5	2	10	100
Ejecución análisis de vibraciones	6	2	11	132
Realizar prueba de impulso y aislamiento	6	2	12	144
Reemplazo del bobinado	5	2	13	130
Verificar fijación mecánica de las terminales	7	2	14	196
Reemplazo de conectores deteriorados	6	2	15	180
Implemento de rutina de limpieza	7	4	16	448
Revisión de sellos, tapas, polvo y aceite	9	3	17	459
Prueba de voltaje y resistencia	9	4	18	648
Inspección regular de bobinas	7	2	19	266
Verificar el correcto funcionamiento del ventilador y flujo de aire	7	2	20	280
Limpiar aletas, ductos y obstrucciones	6	3	21	378

(Elaboración propia, 2025)

4.4 Resultado AMFEC

El análisis AMFEC aplicado al alternador AR-6 permitió determinar cuáles son sus modos de falla que representan mayor riesgo para la operación. Al incorporar la criticidad en la evaluación se identificaron los componentes con mayor severidad y la baja capacidad de detección que presentan en la práctica.

La metodología reveló que varios de estas fallas están asociadas al sobrecalentamiento, desgaste acelerado y pérdidas de aislamiento, factores que pueden terminar en detenciones imprevistas y pérdida de potencia. El AMFEC evidenció que la ausencia de un plan de mantenimiento incrementa la probabilidad de fallas repetitivas y elevan la criticidad del equipo.

Este análisis definió las bases para acciones preventivas y correctivas específicas para los modos de falla priorizados. Las acciones implementadas permitieron reducir los niveles de ocurrencia de las fallas más frecuentes, disminuyendo así los valores de NPR, demostrándose que las medidas adoptadas fueron efectivas para disminuir el riesgo de operación de la locomotora.

4.5 Resultados de encuesta

La encuesta se diseñó con el propósito de recopilar información del alternador por parte de los trabajadores que realizan el mantenimiento, así se pudo comparar los datos de la tabla de criticidad. Ellos al intervenir con los distintos componentes que conforman el alternador permitieron obtener como resultado que el rotor es el componente más crítico del alternador mediante la encuesta y la tabla de criticidad; así, con esta información se podrá distribuir de mejor manera los recursos y el tiempo al realizar el mantenimiento.

También permitió conocer el tiempo en el cual se realizan intervenciones críticas en el alternador, dando como resultado que cada 6 meses se muestra una falla crítica en un componente del alternador esto permite proponer un plan de mantenimiento preventivo enfocado en que cada cierto tiempo determinado inferior a 6 meses, se deberá inspeccionar o reemplazar los componentes más propensos a fallar, asegurando una mayor disponibilidad del equipo y a la vez disminuyendo el porcentaje de mantenimientos correctivos que se realizan con regularidad en los distintos componentes que conforman el alternador.

Todo esto permitió identificar en qué condiciones se encontraba el plan de mantenimiento que los trabajadores utilizaban para realizar las mantenciones, así como conocer su opinión respecto a si este debía mejorar en algunos aspectos. Como resultado se obtuvo que el plan de mantenimiento no es del todo efectivo y que requiere ser mejorado para asegurar un mantenimiento más completo.

4.6 Propuesta de pauta de mantenimiento

Ilustración 12 Pauta de mantenimiento

PAUTA DE MANTENCIÓN PREVENTIVA 2300 HRS ALTERNADOR AR-6 DE LOCOMOTORA GT46AC				
EQUIPO: AR-6		PATENTE:	N° INTERNO	
RAENA:		KILOMETRAJE:	FECHA:	
		HOROMETRO:	2300	
SUPERVISOR:			VºB FIRMA:	
DESCRIPCIÓN ACTIVIDAD		✓	TECNICO	OBSERVACIONES
A CAMBIAR COMPONENTES DE DESGASTE				
RODAMIENTOS				
CAMBIAR AISLANTE ELECTRICO				
ROTOR				
RODAMIENTOS				
VERIFICAR BARNIZ AISLANTE				
VERIFICAR PINTURA AISLANTE				
CAMBIAR NOME				
ESTATOR				
VERIFICAR BARNIZ AISLANTE				
VERIFICAR PINTURA AISLANTE				
CAMBIAR NOME				
D BOBINA DE ESTADO				
REVISAR AISLAMIENTO ELECTRICO				
REVISAR SIGNOS DE FRICCION				
REVISAR PRESENCIA DE CONTAMINANTES				
REVISAR ESTADO DE CONEXIONES				
REVISAR ESTADO DE CABLEADOS				
E CABLEADO PRINCIPAL DE POTENCIA				
VERIFICAR TERMINALES DE CONEXIÓN				
VERIFICAR RECUBRIMIENTO AISLANTE DE CABLEADO				
VERIFICAR CONDUCTIVIDAD DE CABLEADO				
F CABLEADO DE CONTROL Y SENSORES				
VERIFICACION DE SENSORES DE TEMPERATURA				
VERIFICACION DE CONECTORES DE SENSORES				
VERIFICACION DE CABLEADO DE SENSORES				
VERIFICAR CONTINUIDAD ELECTRICA DE SENSORES				
VERIFICAR RECUBRIMIENTO DE AISLANTE DE CABLEADO				
G TRANSFORMADORES DE CORRIENTE (CT)				
VERIFICAR FUIONES Y ANCLAJES				
VERIFICAR AISLAMIENTOS ELECTRICOS				
VERIFICAR SEÑALES DE SOBRECALENTAMIENTO				
H TRANSFORMADOR DE POTENCIA (PT)				
VERIFICAR FUIONES Y ANCLAJES				
VERIFICAR AISLAMIENTOS ELECTRICOS				
VERIFICAR SEÑALES DE SOBRECALENTAMIENTO				
I BOBINAS DE CAMPO				
VERIFICAR BARNIZ AISLANTE				
LIMPIAR SUCIEDAD ACUMULADA				
VERIFICAR PRESENCIA				
VERIFICAR CONTINUIDAD DE CIRCUITO				
VERIFICAR CONEXIONES				
OBSERVACIONES Y/O IMPREVISTOS				
TECNICO 1:	CARGO:	RUT:	FIRMA:	
TECNICO 2:	CARGO:	RUT:	FIRMA:	
TECNICO 3:	CARGO:	RUT:	FIRMA:	
SUPERVISOR:		RUT:	FIRMA:	

(Elaboración propia , 2025)

4.7 Bases para creación de pauta de mantenimiento

La propuesta de una pauta de mantenimiento del alternador AR-6 de la locomotora GT46AC fue desarrollada mediante un proceso estructurado orientado a mejorar la confiabilidad del sistema eléctrico y reducir la ocurrencia de fallas repetitivas. Para esto se aplicó un análisis de criticidad, con el fin de identificar los componentes y modos de falla con mayor impacto sobre la disponibilidad de la locomotora. Este análisis permitió priorizar las actividades de inspección, pruebas eléctricas y verificaciones mecánicas más relevantes dentro del alternador (estator, rotor, bobinas de campo, sistema de excitación, anillos rozantes, rectificador y transformadores de corriente).

Finalmente, la integración de estos tres enfoques criticidad, experiencia del personal técnico y documentación técnica del fabricante permitió diseñar una pauta de mantenimiento completa y orientada a la confiabilidad que mejora la detección anticipada de fallas, optimiza recursos y reduce tiempos de indisponibilidad del equipo.

5 Capítulo V: Discusión de resultados

5.1 Implicaciones y recomendaciones

Este estudio tuvo como hallazgo implicaciones significativas para Ferronor, ya que un enfoque dirigido al mantenimiento preventivo puede traducirse en mejoras tanto en el ámbito técnico como económico, se sugiere implementar este plan de mantenimiento preventivo para validar sus resultados bajo condiciones reales.

Para futuros estudios se sugiere aplicar esta metodología de mantenimiento preventivo a otros componentes críticos de la locomotora esto para asegurar una disponibilidad ideal y así aumentar la eficiencia del transporte de cargas.

En resumen, la discusión de los datos obtenidos demuestra que la implementación de este plan de mantenimiento enfocado en el alternador AR-6 es compatible y está respaldada por evidencias técnicas a pesar de las limitaciones de la investigación, la propuesta se presenta como una alternativa válida para optimizar la disponibilidad operativa del equipo y reducir el riesgo de fallas prolongadas, además, de generar un impacto positivo a la empresa al no tener fallas inesperadas o tiempos de mantenimientos demasiados extensos.

5.2 Análisis de resultado del objetivo general

El objetivo general de esta investigación fue centrarse en la creación de un plan de mantenimiento preventivo para el alternador AR-6 de la locomotora GT46AC con el fin de aumentar su confiabilidad que fue alcanzado mediante el análisis técnico, operativo y metodológico aplicado al equipo.

Con resultados obtenidos se pudo demostrar que en el alternador AR-6 se presentan fallas recurrentes en componentes críticos como el rotor, estator y el banco de rectificación. Estas fallas generan detenciones no programadas, y reducen la disponibilidad operativa de la locomotora como también elevan los costos asociados a mantenimientos correctivos. Al aplicar un análisis de criticidad, se logró identificar y priorizar los elementos con mayor impacto en la operación, validando la necesidad de un mantenimiento preventivo.

A la vez el análisis AMFEC pudo permitir evaluar los modos de falla más relevantes, destacando problemas de sobrecalentamiento, desgaste acelerado y pérdida de aislamiento. Estos hallazgos guiaron al diseño de acciones preventivas orientadas a disminuir los niveles de ocurrencia.

La información recopilada por medio de la encuesta al personal técnico resalto la importancia de desarrollar un plan preventivo ya que los trabajadores reconocen que el mantenimiento actual no es del todo efectivo y que las fallas críticas aparecen con alta frecuencia, aproximadamente cada seis meses. Esta respuesta coincide con el análisis técnico y valida la los datos entregados por las tablas.

En conjunto los análisis, las encuestas y las observaciones directas permitieron construir un plan de mantenimiento preventivo con las necesidades reales del alternador AR-6 enfocado en aumentar su confiabilidad, reducir fallas imprevistas y optimizar el uso de recursos en FERRONOR y TECMIN. Por lo tanto, los resultados obtenidos demuestran que es posible aplicar el plan de mantenimiento preventivo.

5.3 Implicaciones y recomendaciones

Los estudios realizados tienen implicaciones prácticas relevantes para FERRONOR y TECMIN, ya que evidencian que la ausencia de un plan de mantenimiento preventivo en el alternador AR-6 ha contribuido directamente a la aparición de fallas críticas recurrentes, detenciones no programadas y pérdidas operativas. Los resultados obtenidos a través del análisis de criticidad, el AMFEC, la encuesta al personal técnico demuestra que un plan de mantenimiento preventivo estructurado permitiría mejorar significativamente la confiabilidad del equipo y optimizar la gestión de los recursos de mantenimiento.

Para futuras mantenciones, se propone aplicar todos estos datos recopilados como en que componentes se debería de utilizar mayor cantidad de recurso y analizar su eficiencia en operación.

6 Capítulo VI: conclusiones

6.1 Conclusión

El estudio realizado permitió evidenciar que la actual estrategia de mantenimiento correctivo aplicada al alternador AR-6 de la locomotora GT46AC presenta limitaciones, principalmente asociadas a una ausencia de planificación en los mantenimientos, esta situación impacta directamente en la disponibilidad operativa de las locomotoras generando detenciones no programadas pérdidas económicas y una reducción de la vida útil del equipo.

A lo largo de la investigación del estudio se recopilieron antecedentes técnicos en donde se evaluaron sus principales componentes mediante análisis de criticidad, AMFEC y encuestas aplicadas al personal técnico especializado, estos procesos permitieron identificar y categorizar los componentes más críticos los que corresponden al sistema de rodadura el estator y el banco de rectificación esto los posiciona como los componentes prioritarios para un plan de mantenimiento más estructurado.

El análisis de AMFEC demostró que muchos de las fallas están relacionadas a sobrecalentamientos, desgastes acelerados y factores que aumentan la probabilidad de fallas repentinas, por su parte la encuesta aplicada a los técnicos especializados confirma estos datos y a su vez evidencian que el plan de mantenimiento actual es deficiente y no enfrenta correctamente las condiciones reales de operación del alternador.

La información obtenida permitió completar el objetivo general de este estudio: Diseñar una propuesta de mantenimiento preventivo para el alternador AR-6, fundamentada en datos técnicos y en la experiencia operacional de técnicos especializados en el equipo a si mismo se cumplió con todos los objetivos específicos.

En síntesis, el estudio confirma que la implementación de un plan de mantenimiento preventivo estructurado y basado en metodologías como análisis de criticidad y AMFEC es una alternativa confiable y válida para mejorar la confiabilidad y disponibilidad del alternador AR-6 su aplicación permitirá reducir detenciones no programadas, optimizar los recursos de mantenimiento y a su vez asegurar la continuidad operacional de las locomotoras.

6.2 Bibliografía

- Amendola, L. (2014). *Indicadores de confiabilidad propulsores en la gestión del mantenimiento*.
https://mantenimientoplanificado.com/Articulos%20gesti%C3%B3n%20mantenimiento_archivos/indicadores%20confiabilidad%20amendola.pdf
- Ferronor. (2023, 15 de marzo). *Historia y trayectoria de Ferronor*. Ferronor.
https://www.ferronor.cl/?page_id=243
- PDVSA. (1998). *Manual de indicadores de mantenimiento* [Manual técnico]. Recuperado de
http://biblioteca.ucf.edu.cu/biblioteca/libros_digitales/administracion-de-operaciones/Manual_de_Indicadores_Mantenimiento%20PDVSA.pdf/view
- TECMIN. (2024). *Servicios*. TECMIN. <https://www.trez.cl/servicios>
- The Clyde Engineering Company Pty. Limited. (1978). *Locomotive service manual: Classes GL22C-2 & GL26C-2* [Manual técnico]. The Clyde Engineering Company Pty. Limited, en asociación con Electro-Motive Division GM.
- TRACTIAN. (2021). *Análisis RAM: El manual completo*. Recuperado de
<https://traction.com/es/blog/analisis-ram-el-manual-completo-2021-2>