



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO
ESCUELA SUPERIOR CIUDAD SAHAGÚN
LICENCIATURA EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TESIS

**Diseño de un programa de mantenimiento preventivo basado en
análisis de fallas para equipos críticos en una empresa
metalmecánica**

Para obtener el título de licenciado en ingeniería industrial

PRESENTA

Neri Daniel Franco Carrión

DIRECTOR

Dr. Isidro Jesús González Hernández

CO-DIRECTOR

Dr. Luis Carlos Méndez González

COMITÉ TUTORIAL

Mtro. Silvestre Barrera Ordaz

Ing. Juan Carlos Fernández Ángeles

Ciudad Sahagún, Hidalgo, México, junio 2026



Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
Escuela Superior de Ciudad Sahagún
Campus Sahagún

CLII-070-26

Asunto: Autorización de impresión

P.D.L.I.I. C. Neri Daniel Franco Carrión
Presente

Por este conducto le comunico que el jurado que le fue asignado a su trabajo de "TESIS" con el nombre: **"Diseño de un programa de mantenimiento preventivo basado en análisis de fallas para equipos críticos en una empresa metalmecánica"**, y que después de revisarlo en reunión de sinodales han decidido autorizar la digitalización del mismo, hechas las correcciones que fueron acordadas.

A continuación se anotan las firmas de conformidad de los integrantes del jurado:

Presidente	Mtro. Silvestre Barrera Ordaz
Primer vocal	Dr. Isidro Jesús González Hernández
Segundo vocal	Dr. Luis Carlos Méndez González
Secretario	Juan Carlos Fernández Ángeles

Sin otro particular, me es grato reiterar a usted la seguridad de mi atenta consideración y respeto.

Atentamente
"Amor, Orden y Progreso"
Fray Bernardino de Sahagún, Hgo., a 5 de junio de 2026

Dra. Francisca Santana Robles
Coordinadora de la Licenciatura en Ingeniería Industrial



c.c.p.- Expediente
FSR

"Amor, Orden y Progreso"



Carretera Otumba - Cd. Sahagún No. 7, Colonia Legaspi,
Zona Industrial, Ciudad Sahagún, Hidalgo, México
C.P. 43998
Teléfono: (771) 7172000 Ext. 50201
essahagun@uaeh.edu.mx

uaeh.edu.mx

Contenido

Resumen	6
Abstract.....	7
Capítulo I. Introducción y Planteamiento del Problema	8
1.1 Introducción	8
1.2 Antecedentes	11
1.3 Planteamiento del Problema	13
1.4 Justificación.....	17
1.5 Objetivos de la investigación	19
1.6 Hipótesis.....	20
1.7 Alcance y Limitaciones	21
1.8 Descripción General de la Estructura de la Tesis	24
Capítulo II. Marco Teórico.....	26
2.1 Introducción	26
2.2 Estado del arte	27
2.3 Fundamentos teóricos	31
2.4 Marco conceptual	55
Capítulo III. Metodología y descripción de las actividades realizadas	58
3.1 Selección de la metodología	58
3.2 Propuesta del procedimiento metodológico para el diseño de un programa de mantenimiento preventivo basado en análisis de fallas de equipos críticos en una empresa metalmecánica.....	69
Capítulo IV. Resultados y análisis de los datos	75
4.1 Resultados de la Fase 1: Diagnóstico de la situación actual de los equipos críticos.....	76
4.2 Resultado de la Fase 2: Identificación y análisis de modo de falla	84
4.3 Resultado de la Fase 3: Evaluación de criticidad de fallas	93
4.4 Resultado de la Fase 4: Análisis e interpretación de la información	101
4.5 Resultado de la Fase 5: Definición de indicadores de desempeño.....	111
Capítulo V. Discusión	114
Conclusiones	116

Recomendaciones	118
Referencias	120



Índice de Tablas

Tabla 1. Identificación de activos de estudio.	78
Tabla 2. Formato de análisis aplicado para Giro RedRock.	81
Tabla 3. Formato de análisis aplicado para Remachadora PARKER.....	82
Tabla 4. Consolidación de hallazgos derivados de entrevistas.	83
Tabla 5. Identificación y análisis de modos de falla-Giros REDROCK.	85
Tabla 6. Identificación y análisis de modos de falla-Remachadora Parker.	86
Tabla 7. Criterios de evaluación para severidad.	94
Tabla 8. Criterios de evaluación para ocurrencia.	94
Tabla 9. Criterios de evaluación para detección.....	95
Tabla 10. Análisis AMEF- Giros REDROCK.....	96
Tabla 11. Análisis AMEF- Remachadora Parker.....	98
Tabla 12. Propuesta de seguimiento de indicadores de mantenimiento.	112



Índice de Figuras

Figura 1. Objetivos del mantenimiento en la historia.....	36
Figura 2. Planificación del mantenimiento.....	39
Figura 3. Estructura AMEF.....	52
Figura 4. Rangos del NPR.....	55
Figura 5. Procedimiento metodológico para el análisis de datos del proyecto.	65
Figura 6. Ubicación de los equipos dentro del área de metálico.....	79
Figura 7. Motor Eléctrico 7.5 Hp y depósito de aceite- Remachadora Parker.....	88
Figura 8. Motor Eléctrico 10 Hp y depósito de aceite (Giro REDROCK).	89
Figura 9. Identificación de causa raíz- Giro REDROCK.....	91
Figura 10. Identificación de causa raíz- Remachadora PARKER.....	92
Figura 11. Formato de inspección predictiva para el equipo Giros REDROCK... ..	102
Figura 12. Formato de inspección predictiva para la Remachadora Parker.....	104
Figura 13. Rutina de mantenimiento preventivo propuesta.....	106
Figura 14. Formato propuesto para el registro de fallas en equipos críticos.....	108
Figura 15. Formato propuesto para el control de daños e intervenciones de mantenimiento.....	110

Resumen

El estudio se desarrolló bajo un enfoque descriptivo y propositivo durante el periodo de prácticas profesionales, por lo que su alcance se delimitó al diagnóstico, análisis de fallas y formulación de la propuesta, sin contemplar su implementación dentro del entorno operativo. La metodología se estructuró en cinco fases: diagnóstico de la situación actual, identificación y análisis de modos de falla, evaluación de criticidad mediante AMEF, formulación del programa de mantenimiento preventivo y definición de indicadores de desempeño.

Durante el diagnóstico se identificó la ausencia de un programa estructurado de mantenimiento preventivo, así como la falta de registros históricos y mecanismos sistemáticos de inspección técnica. Asimismo, se observó que las actividades de mantenimiento se realizaban principalmente bajo un enfoque correctivo. A partir del análisis de fallas se identificaron problemas recurrentes en sistemas hidráulicos y componentes mecánicos de los equipos críticos seleccionados.

Como resultado, se formuló una propuesta técnica integrada por rutinas de inspección, cronogramas de intervención, formatos de seguimiento e indicadores como MTBF, MTTR y disponibilidad operativa. Estos elementos constituyen una base técnica para una posible implementación futura del programa y para el fortalecimiento de los procesos de gestión del mantenimiento dentro de la organización.

Palabras clave: mantenimiento preventivo, análisis de fallas, AMEF, gestión del mantenimiento, disponibilidad operativa, equipos críticos.

Abstract

Equipment availability and reliability are fundamental factors for ensuring operational continuity in industrial production systems. However, many companies in the metalworking sector still rely on reactive maintenance practices, where failures are addressed only after they occur, leading to operational interruptions, increased costs, and reduced productivity. The objective of this research was to design a technical proposal for a preventive maintenance program based on failure analysis for critical production equipment at Gunderson Concarril R.L. de C.V. The proposal was intended to establish actions aimed at strengthening maintenance management and supporting the potential improvement of equipment operational availability.

The study was conducted under a descriptive and propositional approach during the professional internship period. Therefore, its scope was limited to diagnosis, failure analysis, and the formulation of the proposal, without considering its implementation within the operational environment. The methodology was structured in five phases: diagnosis of the current situation, identification and analysis of failure modes, criticality assessment using Failure Mode and Effects Analysis (FMEA), formulation of the preventive maintenance program, and definition of performance indicators.

The diagnosis revealed the absence of a structured preventive maintenance program, as well as a lack of historical records and systematic technical inspection mechanisms. In addition, maintenance activities were found to be primarily corrective in nature. Failure analysis identified recurring problems related to hydraulic systems and mechanical components in the selected critical equipment.

As a result, a technical proposal was developed consisting of inspection routines, intervention schedules, monitoring formats, and performance indicators such as MTBF, MTTR, and operational availability. These elements provide a technical foundation for the potential future implementation of the program and for strengthening maintenance management processes within the organization.

Keywords: preventive maintenance, failure analysis, FMEA, reliability, operational availability, critical equipment.

Capítulo I. Introducción y Planteamiento del Problema

1.1 Introducción

En el entorno industrial actual, caracterizado por altos niveles de competitividad y exigencias en calidad, costo y tiempos de entrega, la gestión eficiente de los recursos productivos se ha convertido en un factor determinante para la permanencia y crecimiento de las organizaciones. Dentro de este contexto, el mantenimiento industrial desempeña un papel fundamental al asegurar la disponibilidad, confiabilidad y eficiencia de los equipos involucrados en los procesos productivos (Mobley, 2002).

Según Nakajima (1988), el mantenimiento puede definirse como el conjunto de actividades técnicas, administrativas y de gestión orientadas a conservar o restablecer un activo a un estado en el cual pueda desempeñar la función requerida bajo condiciones específicas. Estas actividades incluyen inspecciones, ajustes, reparaciones y reemplazos, las cuales deben ser ejecutadas por personal capacitado y bajo una adecuada planificación, con el propósito de garantizar el funcionamiento adecuado de maquinaria, equipos e instalaciones industriales.

Históricamente, el mantenimiento ha evolucionado desde un enfoque reactivo, en el cual las acciones se realizan únicamente después de la ocurrencia de una falla, hacia estrategias más estructuradas y proactivas que buscan anticiparse a los problemas. Durante gran parte del siglo XX, especialmente en sus primeras décadas, el mantenimiento se limitaba a la corrección de fallas, lo que generaba altos costos operativos y frecuentes interrupciones en la producción. Con el avance tecnológico y el incremento en la complejidad de los sistemas industriales, surgieron nuevas filosofías como el mantenimiento preventivo y el mantenimiento centrado en la confiabilidad, que permitieron mejorar la gestión de los activos físicos (Moubray, 1997).

En la actualidad, el mantenimiento preventivo constituye una de las estrategias más utilizadas en la industria, debido a su capacidad para reducir la probabilidad de fallas mediante la ejecución de actividades programadas basadas en el tiempo o en el uso de los equipos. García Garrido (2003) menciona que este

enfoque se utiliza en la industria con la finalidad de disminuir la ocurrencia de fallas y contribuir a una mejor gestión de los activos. Sin embargo, para que un programa de mantenimiento preventivo resulte pertinente, es necesario que se sustente en información real sobre el comportamiento de los equipos, particularmente en el análisis de fallas que permita identificar sus causas principales y establecer acciones preventivas acordes con las condiciones de operación.

El análisis de fallas representa una herramienta clave dentro de la ingeniería de mantenimiento, ya que permite estudiar los modos en que los equipos pueden fallar, las causas que originan dichas fallas y las consecuencias que estas generan en el sistema productivo. Métodos como el Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF) y el análisis causa raíz facilitan la identificación de puntos críticos y contribuyen al diseño de estrategias de mantenimiento más estructuradas y enfocadas en la prevención (Smith & Hawkins, 2004).

A pesar de los avances en las metodologías de mantenimiento, muchas empresas del sector industrial, particularmente en el ámbito metalmecánico, continúan operando bajo esquemas predominantemente reactivos. Esta situación se traduce en una alta incidencia de fallas inesperadas, tiempos muertos en la producción, incremento en los costos de operación y dificultades para la planeación de las actividades de mantenimiento. Asimismo, la falta de análisis sistemático de las fallas impide la generación de información técnica que permita comprender el comportamiento de los equipos y sustentar la toma de decisiones.

En este sentido, los indicadores de desempeño como el Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF) y el Tiempo Medio de Reparación (MTTR) adquieren relevancia, ya que constituyen herramientas ampliamente utilizadas para el seguimiento y análisis de la gestión del mantenimiento. El MTBF proporciona información sobre la frecuencia con la que ocurren las fallas, mientras que el MTTR permite conocer el tiempo requerido para restablecer la operación de un equipo. Ambos indicadores son considerados elementos importantes para la evaluación futura del desempeño de los sistemas de mantenimiento (Wireman, 2005).

La industria metalmecánica, caracterizada por el uso intensivo de maquinaria y equipos especializados, requiere mecanismos que permitan gestionar de manera

adecuada el mantenimiento de los activos productivos. En este tipo de empresas, los equipos críticos representan elementos fundamentales dentro del proceso de producción, debido a que cualquier interrupción en su funcionamiento puede afectar la continuidad de las operaciones y el cumplimiento de los programas de producción.

En particular, la empresa Gunderson Concarril R.L. de C.V., ubicada en Ciudad Sahagún, Hidalgo, dedicada a la fabricación de carros de ferrocarril para transporte de carga pesada, enfrenta retos asociados a la gestión del mantenimiento de sus equipos de producción. La naturaleza de sus procesos, así como la criticidad de sus activos, hace necesario contar con herramientas y estrategias que permitan analizar de manera estructurada las fallas presentes en los equipos y establecer acciones preventivas orientadas a su atención.

Ante este panorama, surge la necesidad de diseñar un programa de mantenimiento preventivo basado en el análisis de fallas, que permita identificar los modos de falla presentes en los equipos críticos, analizar sus causas y efectos, y formular acciones preventivas sustentadas en criterios técnicos. Este enfoque integra herramientas de análisis que facilitan la comprensión del comportamiento de los equipos bajo condiciones reales de operación, permitiendo priorizar las intervenciones de mantenimiento en función de la criticidad de las fallas identificadas.

De esta manera, el diseño de un programa estructurado de mantenimiento preventivo permite establecer actividades, frecuencias, responsables y mecanismos de seguimiento sustentados en el análisis de fallas de los equipos. Asimismo, proporciona una base técnica para la gestión del mantenimiento, facilitando la organización de la información, la documentación de intervenciones y la definición de indicadores para una futura evaluación del desempeño de los equipos.

En este sentido, el presente trabajo tiene como propósito el diseño de una propuesta técnica de programa de mantenimiento preventivo fundamentado en el análisis de fallas de los equipos críticos de producción en una empresa del sector metalmecánico, integrando criterios técnicos, indicadores de desempeño y herramientas de ingeniería de mantenimiento. El alcance de la investigación se

delimita al diagnóstico de la situación actual, el análisis de fallas y la formulación de la propuesta, sin contemplar su implementación dentro del periodo de prácticas profesionales. De esta manera, el estudio aporta una base técnica estructurada que podrá servir como referencia para futuras acciones de implementación, seguimiento y evaluación por parte de la organización.

1.2 Antecedentes

En los últimos años, la gestión del mantenimiento industrial ha evolucionado hacia enfoques más estructurados y estratégicos, impulsados por la necesidad de mejorar la eficiencia operativa y reducir los costos asociados a fallas en los sistemas productivos. Diversas investigaciones recientes coinciden en que el mantenimiento ha dejado de ser una función meramente reactiva para convertirse en un elemento clave dentro de la competitividad industrial, especialmente en entornos manufactureros donde la confiabilidad de los equipos es crítica para el cumplimiento de los objetivos de producción (Rakytá et al., 2024).

En este contexto, el mantenimiento preventivo continúa siendo una de las estrategias más implementadas en la industria, particularmente en organizaciones que no cuentan con infraestructura tecnológica avanzada para el monitoreo en tiempo real. Estudios recientes han demostrado que la adecuada planificación del mantenimiento preventivo permite reducir la probabilidad de fallas, optimizar los intervalos de intervención y mejorar la disponibilidad de los equipos. Por ejemplo, Ma et al. (2024) señalan que la implementación de modelos de mantenimiento preventivo basados en criterios estadísticos y análisis de confiabilidad contribuye significativamente a la mejora del desempeño operativo en sistemas de manufactura.

Sin embargo, a pesar de los beneficios reportados, diversos autores coinciden en que uno de los principales problemas en la implementación del mantenimiento preventivo radica en su diseño. En muchos casos, los programas se establecen con base en recomendaciones generales del vendedor de la maquinaria o por experiencia empírica, sin considerar el comportamiento real de los equipos ni el análisis sistemático de las fallas. Esta situación limita la efectividad de las estrategias de mantenimiento ya que no se abordan las causas raíz de los

problemas, lo que propicia la recurrencia de fallas y la ineficiencia operativa (Adsa et al., 2025).

Ante esta problemática, el análisis de fallas ha cobrado una relevancia significativa como herramienta para el diseño de estrategias de mantenimiento más robustas. En particular, metodologías como el Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF) han sido ampliamente utilizadas para identificar los posibles modos de falla en sistemas productivos, evaluar su impacto y priorizar acciones correctivas. Estudios recientes han demostrado que la integración del AMEF en la planificación del mantenimiento permite mejorar la identificación de riesgos y optimizar la asignación de recursos, contribuyendo a una mayor eficiencia operativa.

Asimismo, investigaciones aplicadas en entornos industriales han evidenciado que la combinación de herramientas de análisis de fallas con estrategias de mantenimiento permite mejorar significativamente el desempeño de los equipos. En este sentido, Qulub (2025) señala que la integración del análisis de fallas con enfoques estructurados de mantenimiento contribuye a la reducción de tiempos de inactividad y al incremento de la productividad en sistemas de manufactura.

No obstante, a pesar del desarrollo de estas metodologías, su implementación en la práctica industrial presenta limitaciones importantes. Diversos estudios han señalado que uno de los principales desafíos radica en la falta de datos confiables, la escasa cultura de análisis dentro de las organizaciones y la limitada aplicación de herramientas formales de ingeniería de mantenimiento. Como resultado, los análisis de fallas suelen ser incompletos o no se integran adecuadamente dentro de los programas de mantenimiento, lo que reduce su impacto en la mejora del desempeño operativo (Kök & Yıldız, 2023).

Por otro lado, el sector metalmecánico representa un entorno particularmente exigente en términos de mantenimiento, debido al uso intensivo de maquinaria y a la alta criticidad de los equipos de producción. En este tipo de industrias, los paros no planificados pueden generar pérdidas significativas, afectar la calidad del producto y comprometer el cumplimiento de los programas de entrega. En este sentido, la literatura reciente destaca la necesidad de implementar estrategias de

mantenimiento más estructuradas que permitan mejorar la confiabilidad de los equipos y garantizar la continuidad operativa (Rakytá et al., 2024).

En contraste con los avances teóricos, muchas empresas metalmecánicas continúan operando bajo esquemas tradicionales de mantenimiento, caracterizados por un enfoque predominantemente correctivo. Adsa et al. (2025) menciona que esta situación genera una alta recurrencia de fallas, incremento en los tiempos de reparación y una baja eficiencia en la gestión del mantenimiento. A diferencia de organizaciones que han adoptado metodologías estructuradas, estas empresas presentan dificultades para sistematizar la información de fallas y utilizarla como base para la toma de decisiones.

En este contexto, se identifica una brecha importante entre el conocimiento técnico disponible y su aplicación en el entorno industrial. Si bien existen metodologías consolidadas para el análisis de fallas y el diseño de programas de mantenimiento preventivo, su implementación efectiva en empresas reales, particularmente en el sector metalmecánico, sigue siendo limitada. Esta brecha se relaciona principalmente con la falta de integración entre el análisis de fallas y la planificación del mantenimiento, así como con la ausencia de enfoques estructurados adaptados a las condiciones específicas de operación (Ma et al., 2024).

1.3 Planteamiento del Problema

En los sistemas de producción industrial, la continuidad operativa depende en gran medida del desempeño de los equipos involucrados en los procesos. Cuando estos presentan fallas recurrentes o interrupciones no planificadas, se generan afectaciones en la productividad, incremento en los costos operativos y retrasos en el cumplimiento de los programas de producción. En este sentido, la gestión del mantenimiento representa un factor determinante para asegurar la estabilidad de las operaciones y la eficiencia del sistema productivo (Rakytá et al., 2024).

En el sector metalmecánico, donde los procesos productivos dependen del uso intensivo de maquinaria especializada, la ocurrencia de fallas en equipos

críticos tiene un impacto directo en el flujo de producción. De acuerdo con Ma et al. (2024), la ausencia de estrategias estructuradas de mantenimiento y la falta de análisis del comportamiento de los equipos contribuyen a la recurrencia de fallas y a la disminución de la confiabilidad operativa.

Bajo este contexto, en el área de mantenimiento de la empresa objeto de estudio se observa una problemática asociada a la gestión de los equipos críticos de producción. De acuerdo con los registros disponibles y la información recabada durante el periodo de prácticas profesionales, se identifica que actualmente no se cuenta con un programa estructurado de mantenimiento preventivo que permita dar seguimiento sistemático al estado de los equipos. Las actividades de mantenimiento se realizan principalmente de manera reactiva, es decir, una vez que ocurre la falla, lo que limita la capacidad de anticipación y control sobre los problemas recurrentes.

De manera específica, se detecta que las rutinas de mantenimiento existentes no están definidas con base en un análisis técnico formal de los equipos, sino que se ejecutan principalmente a partir de la experiencia del personal o de la atención inmediata de fallas. Esta situación dificulta la estandarización de actividades, la programación de intervenciones preventivas y la asignación eficiente de recursos de mantenimiento.

Asimismo, se observa que los equipos críticos presentan fallas recurrentes, lo cual se refleja en la necesidad constante de realizar intervenciones correctivas y en el consumo de refacciones. Estas condiciones generan tiempos muertos en la línea de producción y afectan el cumplimiento de los tiempos de entrega. De acuerdo con Adsa et al. (2025), la falta de planificación en el mantenimiento incrementa la probabilidad de fallas y eleva los costos asociados a reparaciones emergentes.

Particularmente, el problema se concentra en dos equipos críticos dentro del proceso productivo, los cuales, de acuerdo con el informe técnico, presentan fallas que ocasionan interrupciones en la operación. Estas fallas son atendidas mediante mantenimiento correctivo con el objetivo de restablecer la producción en el menor tiempo posible; sin embargo, no se cuenta con un análisis estructurado que permita

identificar de manera formal los modos de falla, sus causas, efectos y nivel de criticidad.

Adicionalmente, se identifica que no existen registros sistematizados suficientes sobre las condiciones de operación de los equipos, tales como niveles de lubricación, temperatura de funcionamiento, ciclos de trabajo, historial de fallas, tiempos de reparación o frecuencia de intervención. Esta falta de información limita la capacidad para diagnosticar el estado real de los equipos y dificulta la formulación de estrategias preventivas basadas en datos. En este sentido, Kök y Yıldız (2023) señalan que la ausencia de información confiable es uno de los principales obstáculos para la aplicación efectiva de herramientas de análisis de fallas.

En relación con lo anterior, aunque se han realizado acciones de mantenimiento para atender las fallas presentadas, estas no se encuentran integradas en una metodología formal como el Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF). Esta situación impide evaluar de manera estructurada los riesgos asociados a los equipos, priorizar los modos de falla más relevantes y definir acciones preventivas alineadas con la criticidad de cada problema. De acuerdo con Al-Refaie y Aljundi (2024), la falta de aplicación adecuada de herramientas como el AMEF limita la capacidad de prevenir fallas y de establecer estrategias de mantenimiento efectivas.

Además, se observa la ausencia de indicadores de desempeño del mantenimiento, como el Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF), el Tiempo Medio de Reparación (MTTR) y la disponibilidad operativa. Esta condición dificulta evaluar el comportamiento actual de los equipos y dar seguimiento técnico a las actividades de mantenimiento. Por ello, resulta necesario proponer indicadores que permitan, en una etapa posterior, medir el desempeño del programa una vez que sea implementado por la empresa.

En consecuencia, se identifica una brecha entre la situación actual y la condición deseada del sistema de mantenimiento. Mientras que el entorno productivo requiere equipos con alta disponibilidad y confiabilidad, la gestión actual del mantenimiento presenta limitaciones asociadas a la falta de planificación preventiva, registros sistemáticos, análisis formal de fallas e indicadores de

seguimiento. Por tanto, el problema central no radica únicamente en la presencia de fallas, sino en la ausencia de una estructura técnica que permita analizarlas, priorizarlas y convertirlas en acciones preventivas organizadas.

Desde la perspectiva de la ingeniería industrial, esta problemática representa una oportunidad para formular una propuesta técnica que contribuya a ordenar la gestión del mantenimiento de los equipos críticos. En este sentido, el diseño de un programa de mantenimiento preventivo basado en el análisis de fallas se plantea como una alternativa viable para estructurar actividades, frecuencias, responsables, formatos de seguimiento e indicadores de desempeño. No obstante, debido a que el proyecto se desarrolló durante el periodo de prácticas profesionales, su alcance se delimita al diagnóstico, análisis de fallas y formulación del programa, sin considerar su implementación ni la comprobación cuantitativa de mejoras en la disponibilidad de los equipos dentro del periodo de estudio.

Pregunta Principal de Investigación:

- ¿Cómo diseñar un programa de mantenimiento preventivo basado en el análisis de fallas para equipos críticos de producción en la empresa Gunderson Concarril R.L. de C.V., que permita estructurar acciones técnicas orientadas al fortalecimiento de la gestión del mantenimiento?

Preguntas Específicas:

- ¿Cuál es el estado actual del mantenimiento de los equipos críticos de producción y qué problemáticas presentan en su operación?
- ¿Qué modos de falla presentan los equipos críticos seleccionados y cuáles son sus principales causas y efectos?
- ¿Qué nivel de criticidad presentan los modos de falla identificados, considerando su severidad, frecuencia de ocurrencia y capacidad de detección?
- ¿Qué actividades, frecuencias, responsables y formatos deben integrar la propuesta técnica del programa de mantenimiento preventivo?

- ¿Qué indicadores de desempeño pueden proponerse para dar seguimiento futuro al programa de mantenimiento preventivo?

1.4 Justificación

En los entornos industriales actuales, el mantenimiento ha dejado de ser únicamente una función de soporte para convertirse en un elemento clave en el desempeño de los sistemas productivos. La correcta gestión de los equipos permite asegurar la continuidad de las operaciones, optimizar el uso de los recursos y reducir pérdidas asociadas a paros no planificados. En este sentido, cuando no existe una adecuada planificación del mantenimiento, especialmente en equipos críticos, se incrementa la probabilidad de fallas, generando impactos negativos en la productividad y en los costos operativos (Wireman, 2010).

Diversos estudios han señalado que el mantenimiento preventivo constituye una estrategia relevante para disminuir la frecuencia de fallas y favorecer la disponibilidad de los equipos. No obstante, como menciona Bautista (2021), la efectividad de este tipo de estrategias depende en gran medida de la forma en que son diseñadas, ya que un programa mal estructurado o desvinculado de las condiciones reales de operación puede resultar poco funcional. En este sentido, la integración de herramientas de análisis dentro del mantenimiento permite formular propuestas más pertinentes para fortalecer la confiabilidad y el desempeño de los equipos (Landeo, 2024).

En el caso de la empresa objeto de estudio, se ha identificado que las actividades de mantenimiento se desarrollan sin una estructura definida y con un enfoque predominantemente correctivo. Esta situación limita la capacidad de anticipar fallas y dificulta el seguimiento técnico de los equipos críticos dentro del proceso productivo. Tal como lo señalan Duffuaa et al. (1999), la falta de planificación en el mantenimiento es una de las principales causas de ineficiencia en las operaciones industriales, lo que refuerza la necesidad de estructurar acciones preventivas con base en criterios técnicos.

Desde una perspectiva técnica, esta investigación cobra relevancia al proponer el diseño de un programa de mantenimiento preventivo adaptado a las

condiciones reales de operación de los equipos críticos. A partir del análisis de fallas, será posible identificar los problemas más frecuentes, comprender sus causas y formular acciones orientadas a prevenir su recurrencia. Este enfoque permite establecer una base organizada para la gestión del mantenimiento, sin que ello implique la implementación inmediata del programa ni la comprobación cuantitativa de sus efectos durante el periodo de estudio. De acuerdo con Jardine y Tsang (2013), el análisis sistemático de fallas es una herramienta fundamental para fortalecer la gestión del mantenimiento en sistemas industriales.

Asimismo, el trabajo adquiere relevancia metodológica al incorporar herramientas propias de la ingeniería de mantenimiento, como el Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF), el cual permite evaluar de manera estructurada los riesgos asociados a los equipos. A través de esta herramienta, es posible priorizar las fallas en función de su impacto, ocurrencia y capacidad de detección, lo que facilita la formulación de acciones preventivas y la toma de decisiones técnicas (Stamatis, 2003).

Desde el punto de vista organizacional, el diseño de un programa de mantenimiento preventivo bien estructurado puede representar una base para que la empresa ordene sus actividades de mantenimiento, establezca rutinas de inspección, defina responsables, documente intervenciones y proponga indicadores de seguimiento. En caso de implementarse posteriormente, esta propuesta podría contribuir a reducir tiempos muertos, mejorar la disponibilidad de los equipos y apoyar el cumplimiento de los programas de producción (Nakajima, 1988; Wireman, 2010).

Por otra parte, esta investigación también presenta un aporte metodológico, al proponer una forma estructurada de diseñar programas de mantenimiento basados en información técnica y no únicamente en la experiencia empírica. Esto permite establecer un procedimiento que puede ser replicado o adaptado en otros contextos industriales, particularmente en empresas que presentan limitaciones en sus registros históricos, ausencia de indicadores y predominio de mantenimiento correctivo.

En cuanto a la viabilidad del estudio, se cuenta con condiciones suficientes para su desarrollo, tales como el acceso a información relevante de los equipos, conocimiento del proceso productivo y disponibilidad de recursos para realizar el diagnóstico y el análisis correspondiente. Además, al tratarse de un proyecto de diseño de propuesta técnica, su alcance se delimita al diagnóstico, análisis de fallas y formulación del programa de mantenimiento preventivo, sin considerar su implementación dentro del periodo de prácticas profesionales.

Finalmente, desde el ámbito académico, este trabajo contribuye a la integración de conocimientos teóricos y herramientas de ingeniería industrial en un contexto real de operación. De esta manera, la investigación responde a una necesidad específica de la empresa y aporta una propuesta técnica orientada a fortalecer la gestión del mantenimiento, dejando como etapa posterior su implementación, evaluación y ajuste con base en indicadores de desempeño.

1.5 Objetivos de la investigación

Objetivo General

Diseñar una propuesta técnica de programa de mantenimiento preventivo basado en el análisis de fallas para los equipos críticos de producción en la empresa Gunderson Concarril R.L. de C.V., con el propósito de establecer acciones orientadas al fortalecimiento de la gestión del mantenimiento y a la mejora potencial de la disponibilidad operativa de los equipos.

Objetivos Específicos

- Diagnosticar el estado actual del mantenimiento de los equipos críticos de producción, con el fin de identificar las principales problemáticas asociadas a la recurrencia de fallas y a la ausencia de una estructura preventiva formal.
- Identificar y evaluar los modos de falla, sus causas y efectos en los equipos críticos mediante herramientas de análisis de fallas, con el fin de determinar su nivel de criticidad.
- Formular un programa de mantenimiento preventivo basado en los resultados del análisis de fallas, con el fin de establecer actividades,

frecuencias, responsables y formatos de seguimiento para los equipos críticos seleccionados.

- Proponer indicadores de desempeño del mantenimiento, tales como MTBF, MTTR y disponibilidad operativa, con el fin de facilitar el seguimiento y evaluación futura del programa en caso de ser implementado por la empresa.

1.6 Hipótesis

En los sistemas productivos industriales, la ausencia de estrategias estructuradas de mantenimiento limita la capacidad de las organizaciones para anticipar fallas, organizar intervenciones preventivas y dar seguimiento técnico al comportamiento de los equipos. Cuando no se identifican de manera sistemática los modos de falla, sus causas y efectos, las actividades de mantenimiento tienden a desarrollarse bajo un enfoque reactivo, lo que dificulta la planificación y el control de los equipos críticos.

En este contexto, el análisis de fallas representa una herramienta fundamental para comprender el comportamiento de los equipos y formular acciones orientadas a la prevención. La integración de este tipo de análisis en la planeación del mantenimiento permite estructurar actividades, priorizar modos de falla críticos y establecer criterios técnicos para el uso eficiente de los recursos disponibles.

A partir de lo anterior, y considerando que el alcance del presente trabajo se delimita al diagnóstico, análisis de fallas y formulación de una propuesta técnica, sin considerar su implementación durante el periodo de prácticas profesionales, se plantea el siguiente supuesto de investigación:

Supuesto de investigación:

- El diseño de una propuesta técnica de programa de mantenimiento preventivo basado en el análisis de fallas permite estructurar acciones, frecuencias, responsables e indicadores orientados al fortalecimiento de la gestión del mantenimiento de los equipos críticos de producción en una empresa metalmecánica.

1.7 Alcance y Limitaciones

Dentro de los sistemas productivos industriales, uno de los principales retos no radica únicamente en la disponibilidad de recursos o tecnología, sino en la forma en que se gestionan y mantienen los equipos a lo largo del tiempo. En muchos casos, las fallas operativas y los paros no programados no son atendidos desde una perspectiva preventiva, sino como eventos aislados que deben corregirse de manera inmediata para restablecer la operación. Esta situación limita el análisis de las causas que originan las fallas y dificulta la construcción de una gestión de mantenimiento estructurada.

Asimismo, la ausencia de registros sistemáticos y de una cultura orientada al análisis de fallas contribuye a que las prácticas actuales de mantenimiento se mantengan bajo esquemas predominantemente correctivos. Por ello, la transición hacia un enfoque preventivo requiere contar primero con una propuesta técnica que permita ordenar la información disponible, identificar modos de falla, establecer acciones preventivas y definir mecanismos de seguimiento.

Alcance

El presente estudio tiene como finalidad formular una propuesta técnica de programa de mantenimiento preventivo basado en el análisis de fallas para equipos críticos de producción en una empresa del sector metalmecánico. Su propósito es establecer una base técnica que permita fortalecer la gestión del mantenimiento mediante la identificación estructurada de modos de falla, la priorización de riesgos y la definición de actividades preventivas orientadas al seguimiento de los equipos críticos.

El proyecto se desarrolló durante el periodo de prácticas profesionales, con una duración aproximada de cuatro meses, por lo que su alcance se delimita al diagnóstico, análisis de fallas y diseño de la propuesta técnica, sin considerar la implementación del programa dentro del entorno real de operación. En este sentido, el estudio se centra exclusivamente en el análisis técnico de los equipos críticos seleccionados, considerando la información disponible, su comportamiento operativo y las prácticas actuales de mantenimiento.

Entre los principales entregables del proyecto de tesis se contemplan:

1. **Diagnóstico del estado actual del mantenimiento:** se analizarán las condiciones actuales en las que se gestionan las actividades de mantenimiento, identificando prácticas predominantes, deficiencias, ausencia de registros sistemáticos y áreas de oportunidad en la atención de los equipos críticos.
2. **Desarrollo de un análisis de fallas mediante AMEF:** se elaborará una matriz estructurada para identificar los modos de falla, sus causas y efectos, así como su nivel de criticidad, con el fin de priorizar las fallas que deberán considerarse en la propuesta de mantenimiento preventivo.
3. **Formulación del programa de mantenimiento preventivo:** se definirán actividades de mantenimiento, frecuencias de intervención, responsables, lineamientos generales y formatos de seguimiento, alineados con los resultados del análisis de fallas.
4. **Propuesta de indicadores de mantenimiento:** se propondrán indicadores clave como disponibilidad operativa, tiempo medio entre fallas (MTBF) y tiempo medio de reparación (MTTR), con el fin de que puedan utilizarse posteriormente para dar seguimiento al desempeño del programa en caso de ser implementado por la empresa.

De esta manera, el alcance del trabajo se limita a la formulación de una propuesta estructurada y técnicamente fundamentada. Por lo tanto, no se pretende demostrar una mejora cuantitativa inmediata en la disponibilidad de los equipos, sino establecer una base técnica para una futura implementación, evaluación y ajuste del programa.

Limitaciones

El estudio se circunscribe al análisis de un conjunto específico de equipos críticos dentro de la empresa, por lo que no abarca la totalidad de los activos productivos ni otras áreas organizacionales como logística, administración o recursos humanos,

salvo aquellos aspectos que tengan relación directa con la gestión del mantenimiento.

Asimismo, no se contempla la implementación del programa de mantenimiento preventivo diseñado, debido a que el proyecto se desarrolló dentro del periodo de prácticas profesionales. En consecuencia, no se realizará una medición cuantitativa del impacto del programa en la disponibilidad, confiabilidad, reducción de fallas o disminución de tiempos muertos. La validación de estos efectos queda sujeta a una posible aplicación futura por parte de la empresa.

El desarrollo del proyecto se llevó a cabo en un periodo aproximado de cuatro meses, lo cual restringió la posibilidad de realizar estudios prolongados sobre el comportamiento de los equipos, dar seguimiento a indicadores antes y después de la propuesta, o evaluar los resultados de una implementación piloto. A continuación, se describen las principales limitaciones:

- **Disponibilidad limitada de información histórica:** la ausencia o inconsistencia en los registros de fallas y actividades de mantenimiento dificulta la construcción de un análisis completamente basado en datos históricos, por lo que parte del estudio se apoyará en información disponible, observación directa y criterios técnicos fundamentados.
- **Enfoque reactivo del mantenimiento:** las prácticas actuales de mantenimiento, centradas principalmente en la corrección de fallas, limitan la disponibilidad de información estructurada para el análisis preventivo, lo que representa un reto para la formulación de la propuesta.
- **Acceso restringido a información técnica:** algunos datos específicos de los equipos, procesos o condiciones operativas pueden no estar completamente disponibles debido a políticas internas de la empresa.
- **Limitación en la participación del personal:** la carga operativa del área de mantenimiento puede reducir la disponibilidad del personal para proporcionar información detallada o participar activamente en el análisis.

- **Condiciones operativas del entorno:** factores como la carga de producción, prioridades operativas o cambios en la programación pueden influir en la disponibilidad de información durante el desarrollo del estudio.
- **Ausencia de implementación y validación:** al no implementarse el programa dentro del periodo de prácticas profesionales, los indicadores propuestos se plantean como herramientas de seguimiento futuro y no como evidencia de mejora comprobada.

1.8 Descripción General de la Estructura de la Tesis

La presente tesis se estructura en cinco capítulos que desarrollan de manera secuencial el análisis, diseño y fundamentación de un programa de mantenimiento preventivo basado en el análisis de fallas, orientado a mejorar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos críticos en una empresa del sector metalmecánico. Cada capítulo cumple una función específica dentro del proceso de desarrollo del proyecto, asegurando la coherencia entre el planteamiento del problema, el enfoque metodológico y los resultados obtenidos.

Capítulo I. Introducción y Planteamiento del Problema.

Expone el contexto general del estudio, abordando la importancia del mantenimiento dentro de los sistemas productivos industriales y las condiciones actuales en las que se gestionan los equipos críticos en la organización objeto de análisis. Se presenta la problemática central relacionada con el enfoque reactivo del mantenimiento, así como sus implicaciones en la continuidad operativa. Este capítulo incluye los antecedentes, la justificación, los objetivos, la hipótesis, así como los alcances y limitaciones del proyecto, estableciendo el marco conceptual que orienta el desarrollo de la investigación.

Capítulo II. Marco Teórico y Referencial.

Desarrolla los fundamentos conceptuales y técnicos que sustentan el estudio. Se abordan los principales enfoques de la ingeniería de mantenimiento, incluyendo el mantenimiento preventivo, el análisis de fallas, la confiabilidad de equipos y las

metodologías aplicables en entornos industriales. Asimismo, se incorpora la revisión de antecedentes empíricos y estudios relacionados que respaldan la pertinencia del proyecto y su aplicación en el contexto del sector metalmecánico.

Capítulo III. Diseño Metodológico.

Describe el enfoque metodológico adoptado, el tipo de investigación y las técnicas utilizadas para la recopilación y análisis de la información. Se detalla el procedimiento de diagnóstico del estado actual del mantenimiento, la identificación de equipos críticos y la aplicación del análisis de fallas mediante herramientas como el AMEF. Asimismo, se explica el proceso de diseño del programa de mantenimiento preventivo y los criterios empleados para su estructuración.

Capítulo IV. Resultados y Análisis de Datos.

Presenta los resultados derivados del diagnóstico, del análisis de fallas y del diseño del programa de mantenimiento preventivo. Se analizan los hallazgos obtenidos en relación con la criticidad de los equipos, los modos de falla identificados y las acciones preventivas propuestas. Asimismo, se expone el impacto esperado de la propuesta en la mejora de la disponibilidad y confiabilidad de los equipos, con base en criterios técnicos de la ingeniería de mantenimiento.

Capítulo V. Discusión.

Contrasta los resultados obtenidos con los fundamentos teóricos y los antecedentes revisados, evaluando la coherencia del estudio con los objetivos planteados. Además, se analiza la contribución técnica y metodológica del proyecto en el ámbito de la ingeniería de mantenimiento, destacando su aplicabilidad en contextos industriales similares. Finalmente, se presentan las conclusiones del estudio, así como recomendaciones para la organización y posibles líneas de trabajo futuro orientadas al fortalecimiento de la gestión del mantenimiento.

Capítulo II. Marco Teórico

2.1 Introducción

En los sistemas productivos contemporáneos, el desempeño de los equipos constituye un factor determinante para garantizar la estabilidad de las operaciones y el cumplimiento de los objetivos de producción. Bajo este panorama, el mantenimiento ha dejado de concebirse como una actividad secundaria, para posicionarse como un componente clave en la gestión industrial, al incidir directamente en la reducción de interrupciones, el control de costos operativos y la prolongación de la vida útil de los activos (Liu et al., 2021).

A pesar de su relevancia, en diversos entornos industriales persisten prácticas orientadas a la atención de fallas una vez que estas se presentan, lo que limita la capacidad de anticipación y genera impactos negativos en la planeación operativa. Esta situación evidencia la necesidad de adoptar enfoques que permitan comprender de manera más profunda el comportamiento de los equipos, así como las condiciones que propician la aparición de fallas, con el fin de establecer acciones orientadas a su prevención.

Desde esta perspectiva, Mobley (2020) menciona que el análisis estructurado de fallas y la integración en esquemas de mantenimiento preventivo, representa una alternativa técnica que favorece una gestión más organizada y sustentada. Este enfoque no solo permite identificar los puntos críticos dentro de los sistemas productivos, sino también establecer criterios para priorizar intervenciones y optimizar la asignación de recursos.

Bajo este contexto, el presente capítulo tiene como propósito desarrollar los fundamentos conceptuales y técnicos que respaldan el estudio, articulando conocimientos provenientes de la ingeniería de mantenimiento con herramientas de análisis aplicadas en el ámbito industrial. A lo largo del capítulo se abordarán los principales enfoques relacionados con la gestión del mantenimiento, los criterios asociados a la confiabilidad de los equipos y las metodologías empleadas para el análisis de fallas, con puntual énfasis en aquellas que permiten estructurar propuestas orientadas a la prevención.

De esta manera, el contenido que se presenta a continuación establece una base teórica que permite comprender la lógica de la propuesta desarrollada, así como su relación con las prácticas actuales dentro del entorno industrial.

2.2 Estado del arte

En el entorno industrial actual, la gestión del mantenimiento ha experimentado una transformación importante, pasando de prácticas predominantemente reactivas hacia enfoques más sistemáticos orientados a conservar la confiabilidad de los activos físicos. En sus inicios, el mantenimiento se centraba principalmente en reparar fallas después de que ocurrían; no obstante, a medida que los sistemas productivos se volvieron más complejos, surgió la necesidad de establecer estrategias capaces de anticipar fallas, reducir interrupciones y ordenar las actividades de intervención técnica (Mobley, 2020).

El mantenimiento preventivo se ha consolidado como una alternativa relevante para disminuir la probabilidad de fallas y favorecer la estabilidad de los procesos productivos. Este enfoque se basa en la programación sistemática de actividades de inspección, ajuste, lubricación, limpieza o sustitución de componentes, con el propósito de conservar los equipos dentro de condiciones aceptables de operación. De acuerdo con Jardine y Tsang (2013), la gestión del mantenimiento debe considerar criterios de confiabilidad, reemplazo y conservación de activos para apoyar la toma de decisiones técnicas en los sistemas industriales.

No obstante, el mantenimiento preventivo no debe entenderse únicamente como la elaboración de rutinas periódicas. Para que un programa sea pertinente, requiere sustentarse en el comportamiento real de los equipos, en sus condiciones de operación y en el análisis de los modos de falla que afectan su desempeño. En este sentido, García (2019) plantea la importancia de formular planes de mantenimiento preventivo basados en análisis de fallas, ya que esto permite orientar las actividades hacia los problemas que realmente inciden en la operación de los equipos.

En las últimas décadas también ha cobrado relevancia el mantenimiento basado en condición y el mantenimiento predictivo, los cuales incorporan técnicas

de monitoreo para evaluar el estado real de los equipos. Estas estrategias utilizan variables como vibración, temperatura, desgaste, presión o consumo energético para apoyar la toma de decisiones sobre el momento adecuado de intervención. Zonta et al. (2020) señalan que el mantenimiento predictivo, en el contexto de la Industria 4.0, permite fortalecer la gestión de activos mediante el uso de datos y tecnologías avanzadas; sin embargo, su aplicación depende de la disponibilidad de infraestructura, sensores, registros confiables y capacidades analíticas.

En paralelo, el concepto de confiabilidad de equipos ha adquirido un papel central en la gestión del mantenimiento. La confiabilidad se relaciona con la capacidad de un sistema para desempeñar su función durante un periodo determinado bajo condiciones específicas de operación. Díaz-Concepción et al. (2021) destacan que el análisis de confiabilidad permite comprender el comportamiento de los procesos y apoyar la toma de decisiones para mejorar la estabilidad operativa. En el ámbito del mantenimiento, este enfoque resulta útil para identificar equipos críticos, priorizar intervenciones y definir estrategias preventivas.

Dentro de las metodologías más utilizadas para el análisis de fallas, el Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF) destaca por su capacidad para identificar, evaluar y priorizar riesgos asociados a fallas potenciales. Gutiérrez Pulido y De la Vara Salazar (2013) señalan que el AMEF permite analizar de manera estructurada los modos de falla, sus causas y efectos, facilitando la definición de acciones preventivas. De igual forma, Stamatis (2003) plantea que esta herramienta permite priorizar riesgos mediante criterios como severidad, ocurrencia y detección, lo que la convierte en un recurso técnico pertinente para el diseño de programas de mantenimiento preventivo.

En el sector metalmecánico, la gestión del mantenimiento presenta desafíos particulares debido al uso intensivo de maquinaria, la diversidad de procesos, la exigencia operativa de los equipos y la necesidad de cumplir con estándares de calidad, productividad y tiempos de entrega. García, López y Hernández (2022) señalan que el mantenimiento tiene una relación importante con la productividad en empresas metalmecánicas, ya que las fallas de los equipos pueden generar tiempos

muertos, incremento en costos de reparación y afectaciones en la continuidad de los procesos.

Asimismo, se ha identificado que la falta de registros históricos confiables y la ausencia de metodologías estructuradas limitan la capacidad de análisis y dificultan la transición hacia esquemas preventivos. Pérez y Rodríguez (2020) mencionan que en empresas metalmecánicas con información limitada, la gestión del mantenimiento suele enfrentar problemas relacionados con la falta de datos sistematizados, dependencia del conocimiento empírico y dificultad para tomar decisiones basadas en evidencia. Esta situación justifica la necesidad de formular propuestas técnicas que permitan ordenar la información disponible y establecer mecanismos de seguimiento.

Por otro lado, aunque la literatura reciente destaca el avance hacia enfoques como el mantenimiento predictivo y el uso de tecnologías asociadas a la Industria 4.0, diversos autores coinciden en que estas soluciones no siempre son viables en todos los contextos industriales. Ahmad y Kamaruddin (2021) señalan que el mantenimiento basado en tiempo y el mantenimiento basado en condición presentan ventajas y limitaciones dependiendo del contexto de aplicación, los recursos disponibles y la información técnica existente. Por ello, en organizaciones con registros incompletos o infraestructura limitada, el diseño de programas preventivos sustentados en análisis de fallas representa una alternativa viable para iniciar una gestión más estructurada del mantenimiento.

Vacíos en la literatura

A partir de la revisión de la literatura, es posible identificar diversas áreas de oportunidad que evidencian una brecha entre los enfoques teóricos del mantenimiento y su aplicación en entornos industriales reales. En primer lugar, aunque el mantenimiento preventivo ha sido ampliamente documentado como una estrategia útil para reducir la probabilidad de fallas, en muchos casos su diseño se sustenta en rutinas generales, recomendaciones del fabricante o experiencia empírica, sin incorporar de manera sistemática el análisis de las causas que originan

las fallas. Esta limitación provoca que las actividades preventivas no siempre respondan a las condiciones reales de operación de los equipos.

En segundo lugar, la evidencia disponible en el sector metalmecánico muestra que muchas organizaciones presentan dificultades para sistematizar información sobre fallas, tiempos de reparación, refacciones, condiciones de operación e historial de intervenciones. Pérez y Rodríguez (2020) señalan que la gestión del mantenimiento con información limitada representa un reto importante, debido a que dificulta el análisis técnico y la toma de decisiones fundamentada. Esto genera una separación entre las metodologías propuestas en la literatura y las condiciones reales en las que operan muchas empresas.

En tercer lugar, se observa una tendencia creciente hacia soluciones tecnológicas avanzadas, particularmente en el ámbito del mantenimiento predictivo, monitoreo en línea y análisis de datos. Si bien estos enfoques representan avances relevantes, no siempre son factibles para todas las organizaciones, ya que requieren inversión, infraestructura tecnológica, personal especializado y registros históricos confiables. Martínez (2021) señala que una de las principales limitaciones para la implementación del mantenimiento predictivo en pymes industriales se relaciona con la disponibilidad de recursos, información y capacidades técnicas.

Finalmente, aunque el AMEF ha sido ampliamente reconocido como herramienta para la gestión de riesgos y el análisis de fallas, su integración como base para formular programas de mantenimiento preventivo en contextos operativos específicos aún representa un área de oportunidad. En este sentido, el presente trabajo se orienta al diseño de una propuesta técnica de programa de mantenimiento preventivo basado en el análisis de fallas para equipos críticos en una empresa metalmecánica.

De esta manera, la tesis se delimita al diagnóstico de la situación actual, el análisis de fallas y la formulación del programa de mantenimiento preventivo, sin considerar su implementación dentro del periodo de prácticas profesionales. Por lo tanto, su contribución no consiste en demostrar una mejora cuantitativa inmediata en la disponibilidad de los equipos, sino en establecer una base técnica estructurada que pueda ser implementada, evaluada y ajustada posteriormente por la empresa.

2.3 Fundamentos teóricos

Antes de abordar los conceptos específicos relacionados con la gestión del mantenimiento, es importante situar el análisis dentro del contexto en el que se desarrollan los sistemas productivos. En la industria manufacturera y particularmente en el sector metalmecánico, el desempeño de las operaciones depende en gran medida del estado y funcionamiento de los equipos, herramientas e instalaciones involucradas en el proceso de producción. Estos elementos no solo permiten la transformación de la materia prima, sino que también influyen directamente en la calidad del producto, la continuidad de la operación y el aprovechamiento de los recursos disponibles.

En este sentido, la atención que se brinda a los activos físicos cobra especial relevancia, ya que su adecuado funcionamiento es determinante para mantener la estabilidad del sistema productivo. Es así como el mantenimiento industrial adquiere un papel clave, al agrupar las acciones y criterios técnicos orientados a conservar los equipos en condiciones adecuadas de operación. A continuación, se presentan los principales fundamentos del mantenimiento industrial, así como su evolución y su importancia dentro del entorno productivo actual.

Mantenimiento industrial.

En el contexto de los sistemas productivos actuales, el mantenimiento industrial se posiciona como un elemento estratégico para garantizar la continuidad operativa, la calidad del producto y la eficiencia en el uso de los recursos. Lejos de concebirse únicamente como una actividad de reparación, el mantenimiento constituye un conjunto organizado de acciones técnicas y administrativas orientadas a conservar los equipos en condiciones óptimas de funcionamiento a lo largo de su vida útil (Mobley, 2020).

Gonzáles (2005) define al mantenimiento industrial como el conjunto de técnicas destinadas a conservar los equipos e instalaciones en servicio durante el

mayor tiempo posible buscando la más alta disponibilidad y con el máximo rendimiento posible.

De acuerdo con Olarte et al., (2010), el mantenimiento industrial puede entenderse como el conjunto de actividades destinadas a asegurar que las máquinas e instalaciones operen de manera eficiente dentro de un sistema productivo, permitiendo alcanzar el máximo rendimiento esperado. Esta definición resalta no solo el carácter operativo del mantenimiento, sino también su impacto directo en la productividad y en la estabilidad de los procesos de manufactura.

Históricamente, el mantenimiento ha evolucionado en respuesta a las necesidades de la industria. En sus primeras etapas, predominaba un enfoque correctivo, donde las intervenciones se realizaban únicamente después de que ocurría una falla. Este modelo, aunque funcional en sistemas productivos simples, resultaba altamente costoso debido a los tiempos de paro no planificados y a las pérdidas asociadas a la interrupción de la producción. Con la introducción de la producción en cadena a principios del siglo XX, particularmente en el modelo desarrollado por Henry Ford, se evidenció la necesidad de separar las funciones operativas de las actividades de mantenimiento, dando origen a áreas especializadas encargadas de la conservación de los equipos. Este cambio marcó un punto de inflexión en la organización industrial, al reconocer que la confiabilidad de la maquinaria era un factor determinante para la eficiencia del sistema productivo (Leyva, 2020).

Con la introducción de la producción en cadena a principios del siglo XX, particularmente en el modelo desarrollado por Henry Ford, se evidenció la necesidad de separar las funciones operativas de las actividades de mantenimiento, dando origen a áreas especializadas encargadas de la conservación de los equipos. Este cambio marcó un punto de inflexión en la organización industrial, al reconocer que la confiabilidad de la maquinaria era un factor determinante para la eficiencia del sistema productivo.

Posteriormente, durante periodos de alta demanda como la Segunda Guerra Mundial, el uso intensivo de maquinaria incrementó la frecuencia de fallas, lo que obligó a las organizaciones a adoptar enfoques más estructurados. En este

contexto, el mantenimiento dejó de ser exclusivamente reactivo y comenzó a incorporar prácticas preventivas, orientadas a evitar la ocurrencia de fallas mediante inspecciones periódicas y reemplazos programados de componentes (Olarte et al., 2010).

En la actualidad, el mantenimiento industrial ha evolucionado hacia modelos más sofisticados, donde la toma de decisiones se apoya en el análisis de datos, la confiabilidad de los equipos y el monitoreo de condiciones. Este enfoque busca no solo reducir fallas, sino optimizar el desempeño global de los activos, minimizando costos y maximizando la disponibilidad operativa (Jardine et al., 2006).

Desde una perspectiva operativa, el mantenimiento industrial cumple múltiples funciones dentro de la organización. Entre sus objetivos principales se encuentran la planificación y programación de actividades, la gestión de recursos técnicos y humanos, la elaboración de historiales de equipos y la generación de indicadores de desempeño que permitan evaluar la eficiencia del sistema de mantenimiento (Wireman, 2019). Estas actividades permiten establecer un control sistemático sobre el estado de los equipos, facilitando la toma de decisiones informadas.

Una adecuada gestión del mantenimiento genera beneficios relevantes para la organización, entre los que destacan la reducción de paros no programados, la disminución de costos asociados a reparaciones emergentes, la mejora en la calidad del producto final y el fortalecimiento de la seguridad operativa. Por el contrario, la ausencia de una planificación estructurada puede provocar fallas recurrentes, desperdicio de materiales, incumplimiento en los tiempos de entrega y mayores riesgos laborales, lo que pone en evidencia la necesidad de integrar el mantenimiento como un elemento clave dentro de la estrategia empresarial.

En este contexto, la gestión del mantenimiento se vincula de manera directa con la gestión de activos, la cual, de acuerdo con la norma ISO 55000, se orienta a maximizar el valor de los activos a lo largo de su ciclo de vida, considerando aspectos técnicos, económicos y de riesgo (ISO, 2014). Desde esta perspectiva, el mantenimiento no se limita únicamente a conservar operativos los equipos, sino que

busca asegurar un desempeño confiable y sostenido, alineado con los objetivos y necesidades de la organización.

Funciones del mantenimiento

Según Tovar (2021), el mantenimiento puede definirse como el conjunto de actividades orientadas a la conservación, reparación y verificación de instalaciones y equipos, con el propósito de asegurar un desempeño eficiente en los procesos productivos de una organización.

La función del área de mantenimiento se encuentra directamente vinculada con la operación de maquinaria y la ejecución de los procesos productivos. Una gestión adecuada en este ámbito permite garantizar la continuidad operativa, mantener la capacidad productiva y minimizar los riesgos asociados a fallas o interrupciones.

A partir de esta conceptualización, se identifican las principales funciones del mantenimiento:

- Diseñar y desarrollar procedimientos y planes de trabajo correspondientes al área.
- Asegurar la conservación, reparación y verificación periódica de instalaciones y equipos.
- Elaborar e implementar programas de mantenimiento preventivo y programado.
- Seleccionar y capacitar al personal técnico especializado.

Adicionalmente, existen funciones complementarias derivadas de las necesidades operativas de la organización, entre las que destacan:

- Brindar asesoría técnica en la adquisición de nuevos equipos.
- Gestionar la solicitud y adquisición de suministros, herramientas y refacciones.
- Mantener en óptimas condiciones los sistemas de protección y seguridad industrial.
- Controlar el inventario de suministros y refacciones.
- Llevar el registro contable y administrativo de los equipos.

- Ejecutar actividades administrativas propias del área, tales como la gestión de órdenes de trabajo y pedidos.

Objetivos del mantenimiento

En el ámbito industrial, el mantenimiento tiene como finalidad cumplir con los siguientes objetivos:

- Minimizar las interrupciones en los procesos productivos, contribuyendo a mejorar la seguridad operativa.
- Garantizar el correcto funcionamiento de los equipos mediante su adecuada conservación.
- Reducir los tiempos de inactividad asociados a fallas.
- Disminuir los costos relacionados con actividades de mantenimiento.
- Identificar las causas de fallas o paros imprevistos y establecer acciones correctivas.
- Planificar y distribuir eficientemente las actividades de mantenimiento de acuerdo con el personal disponible.
- Asegurar la disponibilidad y condiciones óptimas de los equipos en las áreas requeridas.
- Elaborar presupuestos anuales de mantenimiento, justificando los costos asociados.
- Establecer procedimientos de actuación ante situaciones de emergencia, como incendios o accidentes laborales, con el fin de mitigar su impacto (Tovar, 2021).

La Figura 1 muestra la evolución de los objetivos del mantenimiento a lo largo del tiempo, organizada en cuatro generaciones. En la primera generación, el mantenimiento se caracterizaba por un enfoque reactivo, interviniendo únicamente cuando ocurría una falla. Posteriormente, en la segunda generación, se incorporaron objetivos orientados a mejorar la disponibilidad de los equipos, prolongar su vida útil y reducir costos.

En la tercera generación, el mantenimiento adquiere un enfoque más integral, incluyendo aspectos como la fiabilidad, la seguridad, la calidad del servicio y la eficiencia en los costos. Finalmente, en la cuarta generación, se consolidan estos objetivos mediante la incorporación de enfoques avanzados, orientados a maximizar la disponibilidad y mantenibilidad de los activos, identificar patrones de falla y eliminar las causas raíz de los problemas.

Esta evolución refleja la transición del mantenimiento desde un enfoque correctivo hacia una gestión estratégica, alineada con la mejora continua y la optimización del desempeño operativo en las organizaciones industriales.



Figura 1. Objetivos del mantenimiento en la historia.

Planificación del mantenimiento industrial

En el entorno industrial, una organización no puede operar de manera eficiente bajo esquemas improvisados ni depender de acciones reactivas ante eventos imprevistos. Cada una de sus áreas funcionales debe regirse por procesos estructurados; en particular, el área de mantenimiento desempeña un papel estratégico al encargarse de planificar, organizar, ejecutar y controlar las actividades orientadas a garantizar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos e instalaciones (Leyva, 2020).

Una gestión adecuada del mantenimiento permite mantener los activos en condiciones operativas aceptables, contribuyendo directamente al cumplimiento de los objetivos productivos, la calidad del producto y la seguridad en las operaciones. En este sentido, el mantenimiento deja de ser una actividad meramente correctiva para convertirse en un sistema integral de gestión que impacta en la eficiencia global de la organización.

Dentro de este contexto, la planificación del mantenimiento constituye una etapa fundamental, ya que define la manera en que se llevarán a cabo las intervenciones sobre los equipos. Para ello, es necesario plantear y responder de forma clara una serie de interrogantes clave: qué actividades deben realizarse, cómo deben ejecutarse, en qué momento deben programarse y quién es el responsable de su ejecución. La correcta resolución de estas cuestiones permite estructurar las tareas de forma lógica y secuencial, optimizando el uso de los recursos disponibles y reduciendo la probabilidad de fallas inesperadas (Wireman, 2019).

Proceso de planificación del mantenimiento

Tovar (2021) menciona que el proceso de planificación del mantenimiento implica la definición sistemática de diversos elementos que permitan asegurar su correcta ejecución. En primer lugar, es necesario establecer objetivos claros alineados con las metas de producción y los niveles de servicio requeridos. Posteriormente, se deben identificar y asignar los recursos necesarios, tales como mano de obra calificada, herramientas, refacciones y presupuesto.

Asimismo, resulta fundamental determinar los intervalos de tiempo en los cuales se llevarán a cabo las actividades de mantenimiento, considerando tanto la criticidad de los equipos como las condiciones de operación. Esto permite elaborar cronogramas que minimicen la interferencia con la producción y maximicen la disponibilidad de los activos.

Otro aspecto relevante es la formulación de acciones específicas de mantenimiento, ya sean preventivas, predictivas o correctivas planificadas, las cuales deben orientarse a optimizar el uso de los recursos económicos y prolongar

la vida útil de los equipos. De igual manera, es indispensable implementar mecanismos de control y seguimiento que permitan evaluar el desempeño de las actividades ejecutadas, así como el uso eficiente del presupuesto asignado.

Finalmente, una adecuada planificación facilita la toma de decisiones informadas, el control de los recursos utilizados y la mejora continua de los procesos de mantenimiento, asegurando así una operación más confiable, segura y rentable dentro de la organización.

A continuación, en la Figura 2, se ilustra la estructura jerárquica de la planificación del mantenimiento, la cual se divide en tres niveles: estratégico, táctico y operativo, asociados respectivamente a horizontes de largo, mediano y corto plazo. En el nivel estratégico se definen las políticas de mantenimiento, el tipo de mantenimiento a implementar y la organización de los recursos humanos. El nivel táctico se enfoca en la gestión de los procesos necesarios para cumplir con los lineamientos establecidos, mientras que el nivel operativo se encarga de la ejecución de las actividades, considerando la asignación de recursos, la definición de responsabilidades y la elaboración de los planes de trabajo. Esta estructura permite una coordinación eficiente entre la toma de decisiones y la ejecución de las actividades de mantenimiento (García, 2019).

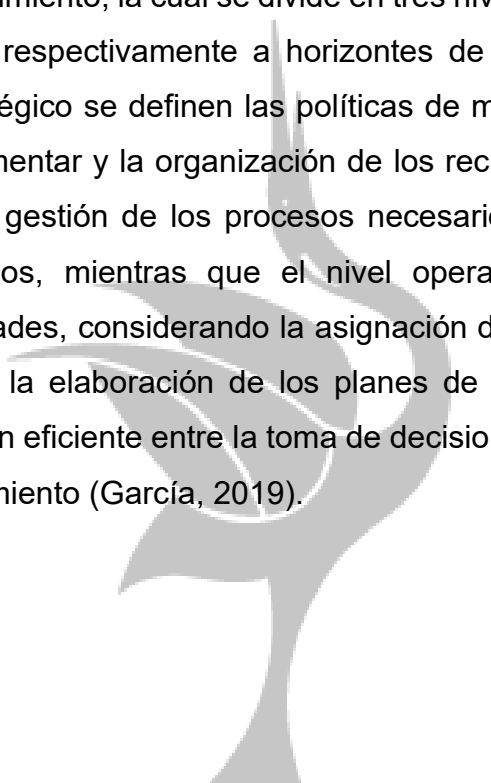




Figura 2. Planificación del mantenimiento

Tipos de mantenimiento

En la gestión del mantenimiento industrial, la clasificación de las estrategias de intervención resulta esencial para definir criterios que aseguren la conservación de los equipos y el uso eficiente de los recursos. Esta organización permite seleccionar el enfoque más adecuado según las condiciones operativas y los objetivos de la empresa (Mobley, 2020).

De acuerdo con la literatura especializada, los tipos de mantenimiento se agrupan principalmente en tres enfoques: correctivo, preventivo y predictivo, los cuales difieren en su forma de aplicación, alcance y nivel de complejidad (Wireman, 2019). Mientras el mantenimiento correctivo actúa después de una falla, el preventivo busca anticiparse mediante intervenciones programadas, y el predictivo se basa en el monitoreo de la condición de los equipos para prevenir fallas.

La adecuada aplicación de estos enfoques contribuye a mejorar la disponibilidad de los activos, reducir costos operativos y fortalecer la confiabilidad de los procesos productivos.

Mantenimiento correctivo

El mantenimiento correctivo se define como el conjunto de acciones realizadas sobre un equipo una vez que se ha presentado una falla o avería, con el propósito de restablecer sus condiciones normales de operación. Este enfoque se caracteriza por su naturaleza reactiva, ya que la intervención ocurre después de que el funcionamiento del equipo ha sido alterado o interrumpido (Cesáreo, 1998).

García (2019), menciona que, a diferencia de otros tipos de mantenimiento, el correctivo no requiere necesariamente de una planificación sistemática previa, dado que su ejecución depende directamente de la ocurrencia de fallas imprevistas. Por esta razón, suele aplicarse de manera inmediata, priorizando la pronta recuperación del equipo para reducir el tiempo de inactividad. Sin embargo, esta falta de anticipación puede derivar en consecuencias negativas, como paros no programados, afectaciones en la continuidad de la producción y posibles incrementos en los costos asociados a reparaciones de emergencia.

En términos operativos, este tipo de mantenimiento es más común en equipos de baja criticidad o en aquellos cuya falla no compromete de forma directa el proceso productivo. Asimismo, las actividades involucradas suelen ser de carácter general, tales como ajustes, sustitución de componentes dañados, lubricación o limpieza, lo que contribuye a su aparente simplicidad de aplicación.

Desde una perspectiva económica, el mantenimiento correctivo puede representar un menor costo inicial en comparación con estrategias más avanzadas, como el mantenimiento preventivo o predictivo. No obstante, cuando se consideran los costos indirectos asociados a interrupciones inesperadas, pérdidas de producción y posibles daños mayores, su impacto puede resultar significativamente más elevado (Tovar, 2021).

Es importante destacar que, aun cuando se implementen estrategias de mantenimiento más avanzadas, el mantenimiento correctivo no puede eliminarse por completo, ya que siempre existe la posibilidad de fallas no previstas. Por ello, su adecuada gestión y control resultan indispensables dentro de un sistema integral de mantenimiento, permitiendo atender contingencias de manera eficiente sin comprometer la estabilidad operativa de la organización.

Mantenimiento predictivo

El mantenimiento predictivo representa una evolución significativa dentro de la gestión del mantenimiento industrial, al incorporar el análisis del estado real de los equipos como elemento central en la toma de decisiones. A diferencia de los enfoques correctivo y preventivo, este tipo de mantenimiento no se basa exclusivamente en la ocurrencia de fallas ni en la ejecución de intervenciones programadas, sino en la evaluación continua de variables operativas que permiten anticipar posibles fallas y actuar de manera oportuna (Mobley, 2020).

Según Cherres y Ñauta (2015) este enfoque, también denominado mantenimiento basado en condición, se sustenta en el monitoreo sistemático del desempeño de los equipos, con el propósito de identificar signos de deterioro antes de que se traduzcan en fallas funcionales. De este modo, las intervenciones se realizan únicamente cuando los indicadores técnicos evidencian la necesidad de una acción correctiva, evitando tanto paros inesperados como mantenimientos innecesarios. En consecuencia, se favorece una gestión más eficiente de los recursos y una mayor continuidad en los procesos productivos.

Para su implementación, el mantenimiento predictivo recurre a diversas técnicas de diagnóstico que permiten evaluar el estado de los equipos sin interrumpir su operación. Entre las más empleadas se encuentran el análisis de vibraciones, la termografía infrarroja, el análisis de aceites y la medición de variables como temperatura, presión y niveles de ruido. Estas herramientas facilitan la detección de anomalías incipientes, tales como desalineaciones, desequilibrios o procesos de desgaste progresivo, lo que permite planificar intervenciones con mayor precisión (Jardine et al., 2006).

Desde el punto de vista operativo y económico, este enfoque contribuye a optimizar los recursos disponibles, dado que las actividades de mantenimiento se ejecutan en función del estado real de los activos. Esto permite reducir costos asociados a intervenciones innecesarias, mejorar la confiabilidad de los equipos y aumentar su disponibilidad. Asimismo, al intervenir en etapas tempranas del

deterioro, se prolonga la vida útil de los componentes y se disminuye el riesgo de fallas catastróficas (Mobley, 2020).

No obstante, la adopción del mantenimiento predictivo implica ciertos requerimientos, entre los que destacan la inversión en tecnologías de monitoreo, sistemas de adquisición y procesamiento de datos, así como la capacitación del personal encargado de su análisis e interpretación. Estas condiciones pueden representar una limitante para algunas organizaciones, particularmente aquellas que no cuentan con infraestructura tecnológica suficiente o con una cultura orientada a la gestión basada en datos (Carnero, 2020).

En el contexto de la Industria 4.0, el mantenimiento predictivo ha adquirido mayor relevancia debido a la integración de tecnologías como el Internet Industrial de las Cosas y el análisis de datos en tiempo real. Estas herramientas permiten una supervisión continua de los activos y una toma de decisiones más precisa, fortaleciendo la capacidad de anticipación frente a posibles fallas (Lee et al., 2015).

A pesar de sus ventajas, en diversos entornos industriales, especialmente en el sector metalmecánico, aún predominan enfoques tradicionales debido a restricciones tecnológicas, económicas u organizacionales. Por ello, el mantenimiento predictivo se posiciona como una estrategia avanzada cuya implementación debe ser evaluada y adaptada en función de las condiciones específicas de cada organización, considerando tanto sus capacidades técnicas como sus objetivos operativos.

Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo constituye una de las estrategias más utilizadas dentro de la gestión del mantenimiento industrial, debido a su enfoque orientado a la anticipación de fallas y a la conservación sistemática de los equipos. A diferencia del mantenimiento correctivo, que actúa una vez que la falla se ha presentado, el mantenimiento preventivo se basa en la ejecución planificada de actividades periódicas destinadas a preservar las condiciones óptimas de operación de los activos (Talonía, 2006).

Para García (2019), este tipo de mantenimiento se fundamenta en la programación de intervenciones en función de variables como el tiempo de operación, el número de ciclos de trabajo o las recomendaciones del fabricante. Las actividades asociadas incluyen inspecciones rutinarias, lubricación, ajustes, limpieza, calibraciones y reemplazo de componentes con vida útil limitada. Su propósito principal es reducir la probabilidad de fallas inesperadas y asegurar la continuidad de los procesos productivos.

Visto desde una perspectiva operativa, Wireman (2019), sostiene que el mantenimiento preventivo permite mejorar la disponibilidad de los equipos al disminuir la frecuencia de paros no programados. Asimismo, facilita la planificación de recursos, tanto humanos como materiales, al establecer calendarios de intervención que pueden integrarse a la programación de la producción.

Siguiendo esta línea de pensamiento los autores Jardine et al. (2006), mencionan que la implementación adecuada de programas preventivos contribuye a estabilizar el desempeño de los sistemas productivos, reduciendo la variabilidad y mejorando la eficiencia operativa.

Sin embargo, uno de los principales desafíos del mantenimiento preventivo radica en su correcta estructuración. En muchos entornos industriales, este tipo de mantenimiento se limita a seguir rutinas genéricas basadas en recomendaciones estándar, sin considerar el comportamiento real de los equipos ni las condiciones específicas de operación. Esta situación puede derivar en intervenciones innecesarias, incremento de costos y uso ineficiente de los recursos disponibles (Mobley, 2020).

En este sentido, la literatura reciente destaca la importancia de fortalecer los programas de mantenimiento preventivo mediante el análisis sistemático de fallas. Herramientas como el Análisis de Modo y Efecto de Falla (AMEF) permiten identificar los componentes críticos, evaluar los riesgos asociados a cada tipo de falla y priorizar las acciones de mantenimiento en función de su impacto en la operación (Stamatis, 2019). Este enfoque no solo mejora la efectividad del mantenimiento preventivo, sino que también orienta las actividades hacia la

prevención de las causas raíz de las fallas, en lugar de limitarse a intervenciones rutinarias.

Adicionalmente, el mantenimiento preventivo se relaciona estrechamente con los principios de confiabilidad y gestión de activos, ya que su correcta aplicación contribuye a prolongar la vida útil de los equipos, optimizar su desempeño y reducir los costos asociados al ciclo de vida de los activos. De acuerdo con la norma ISO 55000, una gestión adecuada del mantenimiento forma parte integral de la estrategia organizacional para maximizar el valor de los activos, considerando aspectos técnicos, económicos y de riesgo (ISO, 2014).

En el contexto del sector metalmecánico, donde los procesos productivos dependen en gran medida del correcto funcionamiento de maquinaria especializada, la implementación de un programa de mantenimiento preventivo estructurado adquiere una relevancia estratégica. La falta de planificación en las actividades de mantenimiento puede generar interrupciones en la producción, incumplimiento en tiempos de entrega y afectaciones en la calidad del producto final.

Confiabilidad de equipos

La confiabilidad de equipos constituye un concepto fundamental dentro de la ingeniería de mantenimiento, ya que permite evaluar la capacidad de un sistema o activo para desempeñar su función requerida bajo condiciones específicas durante un periodo determinado. En el contexto industrial, la confiabilidad no solo se relaciona con la frecuencia de fallas, sino también con la estabilidad operativa, la continuidad de los procesos y la capacidad de los equipos para cumplir con los requerimientos productivos sin interrupciones no planificadas.

Desde un enfoque técnico, Concepción et., (2021) mencionan que la confiabilidad puede entenderse como una medida probabilística asociada al desempeño de un equipo, la cual se construye a partir del análisis histórico de fallas, condiciones de operación y comportamiento del sistema a lo largo del tiempo. Este enfoque permite no solo describir el desempeño pasado, sino también anticipar el comportamiento futuro de los activos, lo que resulta clave para la toma de decisiones en la gestión del mantenimiento (Jardine et al., 2006).

En la práctica industrial, la confiabilidad se evalúa mediante indicadores cuantitativos que permiten medir el desempeño de los equipos de manera objetiva. Entre los más relevantes se encuentran el Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF) y el Tiempo Medio de Reparación (MTTR), los cuales constituyen la base para el análisis del comportamiento operativo de los sistemas. El MTBF representa el tiempo promedio que un equipo opera sin fallar, mientras que el MTTR mide el tiempo promedio requerido para restaurar su funcionamiento después de una falla (IBM, 2024).

Estos indicadores permiten caracterizar dos dimensiones esenciales de la confiabilidad: por un lado, la frecuencia con la que ocurren las fallas y, por otro, la capacidad de respuesta del sistema ante dichas fallas. En este sentido, un sistema confiable no solo presenta fallas poco frecuentes, sino que además puede recuperarse de manera rápida y eficiente, lo cual impacta directamente en la disponibilidad operativa del equipo.

De acuerdo con Polus (2026), la combinación de un alto MTBF y un bajo MTTR es indicativa de sistemas robustos y adecuadamente gestionados, mientras que el comportamiento contrario refleja deficiencias en la estrategia de mantenimiento. La importancia de la confiabilidad en entornos industriales radica en su estrecha relación con variables clave como la productividad, la calidad y los costos operativos. Equipos con baja confiabilidad generan paros no programados, pérdidas de producción, retrabajos y mayores costos de mantenimiento, lo que afecta directamente la competitividad de la organización. Por el contrario, altos niveles de confiabilidad permiten estabilizar los procesos, mejorar la eficiencia y reducir la incertidumbre en la operación.

En el marco de la ingeniería industrial, la confiabilidad no se gestiona de manera aislada, sino como parte de un enfoque integral que incluye el análisis de fallas, la planeación del mantenimiento y la mejora continua. En este sentido, diversos estudios han demostrado que el análisis sistemático de fallas contribuye directamente a incrementar la confiabilidad, ya que permite identificar las causas raíz de los problemas y establecer acciones preventivas orientadas a su eliminación (Science Publishing Group, 2025).

Asimismo, con el avance de la Industria 4.0, la confiabilidad ha evolucionado hacia enfoques más dinámicos basados en el uso de datos en tiempo real, sensores y sistemas inteligentes de monitoreo. Estas tecnologías permiten una gestión más precisa del estado de los equipos, facilitando la detección temprana de fallas y la optimización de las estrategias de mantenimiento.

De acuerdo con Tordeux et al. (2024) la integración de tecnologías digitales en la gestión de activos contribuye significativamente a la reducción de fallas, la optimización de costos y la extensión de la vida útil de los equipos.

Sin embargo, a pesar de estos avances, en muchos entornos industriales especialmente en empresas del sector metalmecánico; la gestión de la confiabilidad aún se basa en información limitada, registros incompletos o prácticas no sistematizadas. Esta situación dificulta la correcta evaluación del desempeño de los equipos y limita la capacidad de implementar estrategias de mantenimiento efectivas.

En este contexto, la confiabilidad de los equipos se convierte en un elemento central para el desarrollo del presente estudio, ya que el diseño de un programa de mantenimiento preventivo basado en el análisis de fallas busca impactar directamente en la reducción de la frecuencia de fallas y en la mejora de la disponibilidad operativa. De esta manera, la confiabilidad no solo se concibe como un indicador de desempeño, sino como un objetivo estratégico que orienta la gestión del mantenimiento hacia la mejora continua del sistema productivo.

Indicadores de mantenimiento

En la gestión del mantenimiento industrial, la medición del desempeño de los equipos resulta fundamental para evaluar la efectividad de las estrategias implementadas y sustentar la toma de decisiones. En este contexto Wireman, (2019) menciona que los indicadores de mantenimiento permiten cuantificar el comportamiento operativo de los activos, identificar áreas de mejora y establecer

parámetros de control que contribuyan a la optimización de los procesos productivos.

Estos indicadores constituyen herramientas clave dentro de la ingeniería de confiabilidad, ya que facilitan el análisis del desempeño de los equipos en términos de fallas, tiempos de reparación y disponibilidad. Entre los indicadores más utilizados en el ámbito industrial destacan el Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF), el Tiempo Medio de Reparación (MTTR) y la disponibilidad operativa, los cuales permiten evaluar de manera integral la eficiencia del sistema de mantenimiento (Jardine et al., 2006).

MTBF

El Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF, por sus siglas en inglés) es un indicador que mide el tiempo promedio de operación de un equipo antes de que ocurra una falla. Este parámetro permite estimar la confiabilidad del sistema, ya que un valor elevado de MTBF indica que el equipo presenta menor frecuencia de fallas y, por lo tanto, un comportamiento más estable. El MTBF se calcula mediante la siguiente expresión:

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo total disponible} - \text{Tiempo de inactividad}}{\text{Número de fallas}}$$

- **Tiempo total disponible:** Total de horas en las que la máquina podría haber estado funcionando.
- **Tiempo de inactividad:** Número total de horas en las que la máquina o equipo estuvo en estado de parada a consecuencia de una avería.
- **Número de paradas:** Número total de paradas por avería.

Mena Arias y Arias Calderón (2024), mencionan que este indicador es ampliamente utilizado para analizar el desempeño histórico de los equipos y establecer estrategias orientadas a la reducción de fallas.

Desde una perspectiva analítica, el MTBF permite evaluar la estabilidad operativa de los equipos. Un valor elevado indica que las fallas ocurren con menor frecuencia, lo cual se traduce en una mayor confiabilidad y continuidad en el proceso productivo. Por el contrario, un MTBF bajo evidencia la existencia de fallas recurrentes, lo que puede estar asociado a deficiencias en la estrategia de mantenimiento, desgaste prematuro de componentes o condiciones inadecuadas de operación.

En el contexto del presente estudio, el MTBF adquiere una relevancia central, ya que el diseño de un programa de mantenimiento preventivo basado en el análisis de fallas busca precisamente incrementar el tiempo de operación entre fallas. A través de la identificación de modos de falla críticos y la implementación de acciones preventivas específicas, se espera reducir la frecuencia de fallas, impactando directamente en el aumento del MTBF de los equipos críticos.

MTTR

Por otro lado, el Tiempo Medio de Reparación (MTTR) representa el tiempo promedio requerido para restaurar un equipo a su estado operativo después de una falla. Este indicador refleja la eficiencia del proceso de mantenimiento correctivo y la capacidad de respuesta del personal técnico ante fallas imprevistas. Su cálculo se expresa de la siguiente manera:

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo total de reparación}}{\text{Número de intervenciones}}$$

El análisis del MTTR permite evaluar la eficiencia del área de mantenimiento en términos de diagnóstico, disponibilidad de refacciones, habilidades del personal técnico y procedimientos de intervención. Un valor elevado de MTTR puede indicar problemas como falta de capacitación, ausencia de procedimientos estandarizados o deficiencias en la gestión de recursos, lo que prolonga los tiempos de paro y afecta la productividad (Moble, 2020).

Por el contrario, un MTTR reducido refleja una mayor capacidad de respuesta ante fallas, lo cual contribuye a minimizar el impacto de las interrupciones en el

sistema productivo. En relación con el presente estudio, aunque el enfoque principal se centra en la prevención de fallas, el análisis del MTTR permite evaluar indirectamente la efectividad de la estrategia propuesta. Al contar con un mejor entendimiento de los modos de falla y con acciones previamente definidas, se espera que, en caso de presentarse una falla, los tiempos de reparación sean menores debido a una intervención más estructurada y eficiente.

Disponibilidad operativa

La disponibilidad operativa es un indicador que integra la confiabilidad y la mantenibilidad del sistema, ya que expresa el porcentaje de tiempo en el que un equipo se encuentra en condiciones de operación respecto al tiempo total considerado. Este indicador resulta particularmente relevante en entornos industriales, ya que está directamente relacionado con la capacidad de cumplir con los programas de producción. La disponibilidad se calcula mediante la siguiente expresión:

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

Desde un enfoque interpretativo, la disponibilidad refleja el impacto combinado de la frecuencia de fallas y la rapidez de reparación. Un sistema con alta disponibilidad es aquel que no solo falla con poca frecuencia (alto MTBF), sino que además puede recuperarse rápidamente cuando ocurre una falla (bajo MTTR) (Jardine et al., 2006).

En términos prácticos, Rivera (2015) menciona que la disponibilidad permite evaluar el desempeño global del sistema de mantenimiento, ya que integra tanto la prevención de fallas como la eficiencia en la respuesta ante eventos no planificados.

En el contexto del presente estudio, la disponibilidad operativa representa el indicador clave para evaluar el impacto del programa de mantenimiento preventivo propuesto. A través del incremento del MTBF y la posible reducción del MTTR, se espera mejorar la disponibilidad de los equipos críticos, lo cual se traduce en una

mayor continuidad operativa, reducción de tiempos muertos y cumplimiento de los objetivos productivos.

Los indicadores MTBF, MTTR y disponibilidad no deben analizarse de manera aislada, sino como un sistema interrelacionado que permite evaluar de manera integral el desempeño del mantenimiento desde distintas dimensiones. Mientras que el MTBF se enfoca en la frecuencia de fallas y por ende, en la confiabilidad del equipo, el MTTR refleja la capacidad de respuesta del sistema ante dichas fallas, asociándose directamente con la mantenibilidad. Por su parte, la disponibilidad integra ambos indicadores, proporcionando una visión global del tiempo efectivo en el que los equipos permanecen operativos dentro del sistema productivo. Esta interdependencia permite comprender que la mejora en el desempeño del mantenimiento no depende de un solo factor, sino del equilibrio entre la prevención de fallas y la eficiencia en su atención (Parida & Kumar, 2006).

En este contexto, el presente estudio se orienta a generar un impacto directo en estos indicadores mediante la implementación de un programa de mantenimiento preventivo estructurado a partir del análisis de fallas. La lógica de intervención se sustenta en una relación causa-efecto claramente definida: la identificación y control de los modos de falla permite reducir su recurrencia, lo que se traduce en un incremento del MTBF; a su vez, el conocimiento previo de las fallas facilita la estandarización de procedimientos de intervención, contribuyendo a la reducción del MTTR. Como resultado, la combinación de ambos efectos favorece un incremento en la disponibilidad operativa de los equipos críticos.

De esta manera, los indicadores dejan de ser únicamente métricas de seguimiento para convertirse en herramientas de validación técnica del estudio, ya que permitirán evidenciar, de forma cuantificable, el impacto de la propuesta en la mejora del desempeño del sistema de mantenimiento (Rivera, 2015). En consecuencia, su análisis no solo servirá para describir el estado actual de los equipos, sino también para sustentar la efectividad de las acciones implementadas en términos de confiabilidad y continuidad operativa.

Análisis de modo y efecto de falla (AMEF)

El Análisis de Modo y Efecto de Falla (AMEF) es una metodología sistemática orientada a la identificación, evaluación y priorización de fallas potenciales dentro de un sistema, proceso o equipo, con el propósito de prevenir su ocurrencia y reducir su impacto en la operación. Su enfoque se basa en el análisis anticipado de riesgos, permitiendo intervenir antes de que las fallas se materialicen.

Desde una perspectiva conceptual, el AMEF se estructura a partir del análisis de los modos de falla, entendidos como la forma en que un defecto se manifiesta en un sistema. En este sentido, Reyes (2008) establece que un modo de una falla es una descripción de un defecto, esto es, cómo se puede observar el defecto, lo cual permite identificar de manera clara la naturaleza del problema dentro del proceso.

Uno de los aspectos más relevantes de esta metodología es su enfoque preventivo. De acuerdo con la literatura, esta herramienta no solo permite analizar fallas, sino que constituye un mecanismo para la mejora continua, ya que como indica Pulido y de la Vara (2013), el AMEF es un plan de mejora que se desarrolla a partir de la selección de las fallas más críticas *de acuerdo a su grado de severidad, ocurrencia y detección*. Este enfoque lo convierte en una herramienta clave dentro de la gestión del mantenimiento industrial, especialmente en entornos donde la continuidad operativa es un factor crítico.

Origen y evolución del AMEF

Según Reyes (2008), esta metodología tiene sus orígenes en el ámbito militar estadounidense, donde fue desarrollado como un procedimiento para evaluar fallas críticas en sistemas estratégicos. Posteriormente, su aplicación se extendió a la industria aeroespacial y más adelante al sector automotriz e industrial. Según se documenta, fue desarrollado en el ejército de los Estados Unidos con la finalidad de clasificar fallas de acuerdo a su impacto para el éxito de las misiones y la seguridad del equipo y personal (Pulido y de la Vara, 2013).

Con el paso del tiempo, esta metodología ha sido adoptada en diversos sectores productivos, consolidándose como una herramienta fundamental dentro de los sistemas de gestión de calidad y confiabilidad. Incluso, su uso ha sido promovido

en normas internacionales como un mecanismo para fortalecer las acciones preventivas dentro de las organizaciones (Rivera, 2015).

Estructura del AMEF

Para la aplicación del AMEF dentro del presente estudio, es necesario comprender la estructura bajo la cual se organiza esta herramienta. Dicha estructura permite descomponer el análisis en elementos clave que facilitan la identificación, evaluación y priorización de fallas potenciales dentro de un proceso o equipo, como se muestra en la Figura 3.

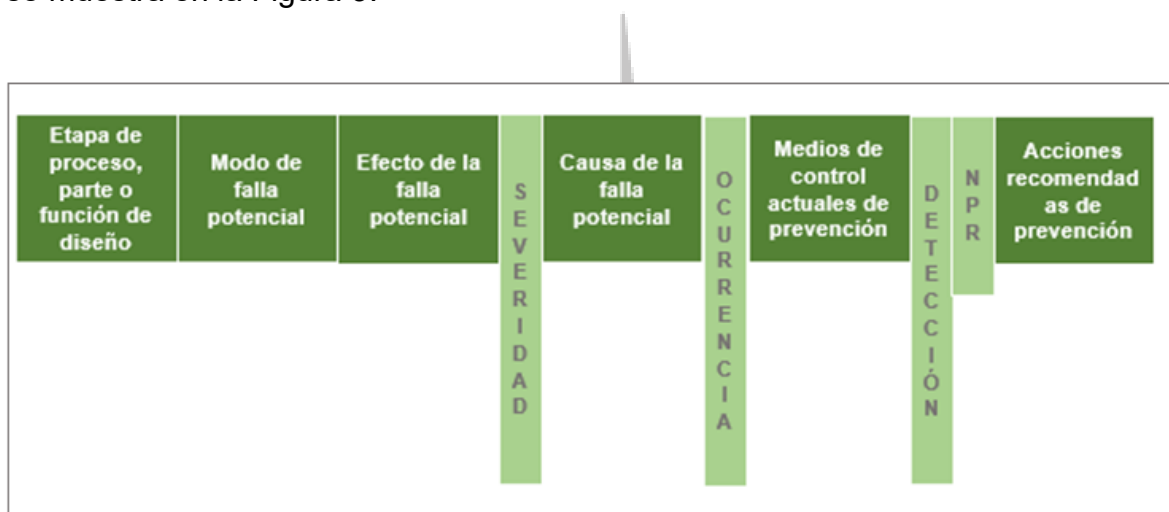


Figura 3. Estructura AMEF

Para la correcta aplicación del Análisis de Modo y Efecto de Falla (AMEF), es necesario seguir una secuencia estructurada de actividades como se muestra en la Figura 3 con la finalidad de que permitan identificar, analizar y priorizar los riesgos asociados a los posibles modos de falla dentro de un proceso o sistema. Esta metodología se desarrolla mediante una serie de etapas que facilitan el análisis sistemático de la información.

En primer lugar, se realiza la descripción del proceso, componente o función que será objeto de análisis. Para ello Pulido y de la Vara, (2013) recomiendan apoyarse en herramientas como diagramas de flujo o despieces de equipos, los cuales permiten identificar con claridad cada una de las etapas del proceso o las partes que integran el sistema.

Posteriormente, se procede a la identificación de los modos de falla potenciales, es decir, las posibles formas en que un proceso o componente puede fallar durante su operación. Este paso requiere un análisis detallado del comportamiento del sistema, considerando tanto condiciones normales como escenarios adversos.

Una vez definidos los modos de falla, se analizan sus efectos, evaluando las consecuencias que podrían generar dentro del proceso productivo. Este análisis permite dimensionar el impacto de cada falla en términos de calidad, seguridad, costos o continuidad operativa.

A continuación, se asigna una ponderación de severidad, la cual refleja la magnitud del impacto generado por la falla. Este criterio es fundamental para identificar aquellas situaciones que representan riesgos críticos, como aquellas que pueden afectar la seguridad del personal o el cumplimiento de especificaciones del producto.

En paralelo, se identifican las causas asociadas a cada modo de falla, recomendándose el uso de herramientas como el diagrama de causa-efecto para facilitar el análisis. A partir de estas causas, se asigna una ponderación de ocurrencia, que indica la frecuencia con la que es probable que la falla se presente.

Posteriormente, se describen los controles actuales, tanto preventivos como de detección, que existen dentro del proceso para evitar o identificar la falla. Con base en estos controles, se asigna una ponderación de detección, la cual evalúa la capacidad del sistema para identificar oportunamente la falla antes de que genere consecuencias significativas.

Con los valores de severidad, ocurrencia y detección definidos, se procede al cálculo del Número de Prioridad de Riesgo (NPR), el cual se obtiene como el producto de estas tres variables. Este indicador permite jerarquizar los modos de falla en función de su nivel de criticidad, facilitando la toma de decisiones.

Finalmente, se establecen las acciones recomendadas, las cuales están orientadas a reducir o eliminar los riesgos identificados, especialmente aquellos asociados a valores elevados de NPR. Estas acciones pueden incluir mejoras en el proceso, implementación de controles adicionales, ajustes en los procedimientos o

intervenciones directas sobre el equipo. Asimismo, es posible asignar responsables y tiempos de ejecución, así como realizar una reevaluación de los indicadores una vez implementadas las mejoras.

Elementos fundamentales del AMEF

El análisis AMEF se basa en la evaluación de tres variables clave que permiten cuantificar el riesgo asociado a cada modo de falla:

- **Severidad (S):** La severidad mide el impacto o consecuencia de una falla sobre el sistema. De acuerdo con Reyes (2008), se define como la seriedad que provocan los efectos o consecuencias de un modo de falla. Este criterio considera siempre el peor escenario posible, lo que permite dimensionar el riesgo real asociado a cada falla.
- **Ocurrencia (O):** La ocurrencia está relacionada con la frecuencia con la que una falla puede presentarse. En este sentido, se establece que se define como la frecuencia de un modo de falla. Este factor puede analizarse a partir de datos históricos o mediante estimaciones técnicas cuando no se cuenta con información estructurada.
- **Detección (D):** La detección evalúa la capacidad del sistema para identificar una falla antes de que genere consecuencias significativas. Pulido y de la Vara (2013) lo definen como la habilidad de identificar o descubrir un modo de falla. Un bajo nivel de detección implica un mayor riesgo, ya que la falla puede propagarse sin ser controlada oportunamente.

Número de Prioridad de Riesgo (NPR)

El AMEF integra estas tres variables mediante el cálculo del Número de Prioridad de Riesgo (NPR), el cual permite jerarquizar los modos de falla en función de su criticidad. Tal como lo señala Reyes (2008), el número de prioridad de riesgo es la multiplicación simultánea de la severidad, la ocurrencia y la detección.

$$NPR = S \times O \times D$$

Este indicador constituye una herramienta clave para la toma de decisiones, ya que permite identificar aquellos modos de falla que representan un mayor riesgo y que, por lo tanto, requieren atención prioritaria dentro del programa de mantenimiento.

El valor obtenido del NPR facilita la clasificación de los riesgos, permitiendo establecer criterios de intervención en función de su magnitud. En términos generales, su interpretación se puede plantear como se muestra en la Figura 4.

Alto riesgo de falla	500-1000
Riesgo de falla medio	125-499
Riesgo de falla bajo	1-124
Nulo riesgo de falla	0

Figura 4. Rangos del NPR

Rivera (2015), explica mediante un caso práctico que el NPR no debe analizarse de manera aislada, sino como parte de un proceso integral de evaluación de riesgos, en el cual también se considere la naturaleza de la falla y su impacto en la operación. En este sentido, valores elevados de severidad deben ser atendidos incluso cuando el NPR no sea el más alto, debido a las posibles implicaciones en la seguridad, calidad o continuidad operativa.

En el contexto del presente estudio, el NPR será utilizado como criterio fundamental para la priorización de los equipos y componentes críticos, permitiendo orientar el diseño del programa de mantenimiento preventivo hacia aquellos elementos que representan mayor riesgo para la operación.

2.4 Marco conceptual

Con el propósito de establecer claridad en el uso de los términos técnicos empleados a lo largo de la presente investigación, se presentan a continuación las definiciones conceptuales de los principales elementos que sustentan el estudio.

Estas definiciones permiten delimitar el significado de cada concepto dentro del contexto del mantenimiento industrial, evitando interpretaciones ambiguas y asegurando coherencia en el desarrollo del trabajo.

Mantenimiento preventivo: Se entenderá como el conjunto de actividades programadas que se ejecutan de manera anticipada a la ocurrencia de fallas, con el objetivo de reducir la probabilidad de interrupciones en la operación de los equipos. En este estudio, el mantenimiento preventivo constituye la estrategia principal de intervención para mejorar el desempeño operativo (Mobley, 2020).

Confiabilidad: Se considerará como la capacidad de los equipos para operar sin fallas durante un periodo determinado bajo condiciones específicas de trabajo. En el presente estudio, la confiabilidad será evaluada principalmente a través del indicador MTBF, el cual permite medir la frecuencia de fallas en los equipos analizados (Ebeling, 2019).

Disponibilidad: Se entenderá como la proporción de tiempo en la que un equipo se encuentra en condiciones operativas respecto al tiempo total considerado. Este indicador integra tanto la confiabilidad como la mantenibilidad, siendo una de las variables clave para evaluar el impacto del programa de mantenimiento (Nakajima, 1988).

MTBF (Mean Time Between Failures): Se define como el tiempo promedio de operación de un equipo entre la ocurrencia de una falla y la siguiente. En esta investigación, el MTBF se utilizará como indicador principal para medir la mejora en la confiabilidad derivada de la implementación del mantenimiento preventivo (Mobley, 2020).

MTTR (Mean Time To Repair): Se entenderá como el tiempo promedio requerido para restablecer el funcionamiento de un equipo después de una falla. Este

indicador permitirá evaluar la eficiencia de las acciones de mantenimiento correctivo y su impacto en la disponibilidad del sistema (Ebeling, 2019).

Análisis de Modo y Efecto de Falla (AMEF): Se considerará como la herramienta metodológica utilizada para identificar, analizar y priorizar los posibles modos de falla en los equipos críticos. En este estudio, el AMEF permitirá estructurar el análisis de fallas y establecer las bases para el diseño del programa de mantenimiento preventivo (Reyes, 2008).

Número de Prioridad de Riesgo (NPR): Se entenderá como el indicador resultante de la evaluación de la severidad, ocurrencia y detección de un modo de falla. En el presente trabajo, el NPR será utilizado como criterio para priorizar las fallas más críticas y orientar la toma de decisiones en el diseño del plan de mantenimiento (Reyes, 2008).

Falla: Ocurrencia en un ítem que impide su funcionamiento. **Riesgo:** Un riesgo es la probabilidad de que ocurra un evento negativo y el efecto o impacto de tal evento, cuya existencia represente una amenaza (fuente de peligro) y vulnerabilidad de la organización a sus efectos. Es decir: riesgo = probabilidad por impacto.

Análisis de Riesgos: El análisis de riesgo (también conocido como evaluación de riesgo o PHA por sus siglas en inglés Process Hazards Analysis), es el estudio de las causas de las posibles amenazas, daños y consecuencias que estas puedan producir. (Torres, 2018).

Capítulo III. Metodología y descripción de las actividades realizadas

3.1 Selección de la metodología

El presente capítulo describe el enfoque metodológico adoptado y las actividades desarrolladas para atender la problemática identificada en la gestión del mantenimiento de los equipos críticos dentro de la empresa objeto de estudio. Como se ha expuesto en los capítulos anteriores, la organización presenta deficiencias relacionadas con la ausencia de una estructura formal para la planeación del mantenimiento, la falta de registros sistemáticos y el predominio de intervenciones correctivas ante la presencia de fallas.

Ante este escenario, se estableció una metodología orientada al diagnóstico de la situación actual, el análisis de fallas y la formulación de una propuesta técnica de programa de mantenimiento preventivo. El propósito fue estructurar acciones, frecuencias, responsables, formatos e indicadores que permitan fortalecer la gestión del mantenimiento de los equipos críticos seleccionados, sin considerar la implementación del programa dentro del periodo de prácticas profesionales.

Para ello, se recurrió a herramientas propias de la ingeniería industrial y de la ingeniería de mantenimiento, tales como la observación directa, entrevistas estructuradas, análisis documental, hojas de verificación, diagrama de Ishikawa, Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF), diagrama de Pareto e indicadores de mantenimiento como MTBF, MTTR y disponibilidad operativa. Estas herramientas permitieron organizar la información disponible, identificar modos de falla, priorizar riesgos y formular actividades preventivas técnicamente fundamentadas.

De esta manera, la metodología planteada integra el diagnóstico de la situación actual y el diseño de una propuesta técnica de mantenimiento preventivo, considerando las condiciones reales de operación de la empresa. Cabe señalar que el alcance del estudio no incluye la implementación, validación operativa ni medición posterior de los efectos del programa, debido a que el proyecto se desarrolló durante

un periodo aproximado de cuatro meses correspondiente a las prácticas profesionales.

Tipo de proyecto

El presente trabajo se clasifica como un proyecto de diseño de propuesta técnica, con enfoque descriptivo, diagnóstico, no experimental, transversal y propositivo. Esta clasificación responde a que el estudio se orienta a analizar una problemática específica dentro de un entorno industrial real y a formular una propuesta de mantenimiento preventivo basada en el análisis de fallas, sin intervenir directamente en la operación mediante la implementación del programa.

Desde el enfoque descriptivo, el estudio permitió caracterizar las condiciones actuales de mantenimiento de los equipos críticos seleccionados, identificando prácticas predominantes, fallas recurrentes, ausencia de registros sistemáticos y áreas de oportunidad. Desde el enfoque diagnóstico, se analizaron las causas y efectos de las fallas mediante herramientas técnicas, con el fin de comprender la situación actual y establecer una base para la formulación del programa.

El diseño es no experimental, debido a que no se manipularon variables ni se aplicó el programa de mantenimiento preventivo en el entorno operativo. Asimismo, es transversal, ya que la información se recopiló durante un periodo específico correspondiente a las prácticas profesionales. Finalmente, es propositivo porque el resultado principal del estudio consiste en una propuesta técnica de programa de mantenimiento preventivo, integrada por rutinas, frecuencias, responsables, formatos de seguimiento e indicadores para evaluación futura.

Alcance del proyecto

Las investigaciones de tipo explicativo se caracterizan por analizar las causas que originan un fenómeno, así como las relaciones que existen entre sus diferentes elementos, con el propósito de comprender el porqué de una problemática y, a partir de ello, proponer soluciones fundamentadas (Hernández et al., 2022).

En este sentido, el presente proyecto se clasifica como una investigación de tipo explicativa, ya que no se limita únicamente a describir las fallas presentes en

los equipos de la empresa objeto de estudio, sino que busca identificar, analizar y comprender las causas que las generan, así como su impacto en la continuidad operativa y en el desempeño del sistema productivo.

A través del análisis de fallas, el uso de herramientas como el Análisis de Modo y Efecto de Falla (AMEF) y la evaluación de indicadores de mantenimiento, se establecen relaciones entre las condiciones actuales de operación, las prácticas de mantenimiento existentes y los resultados observados en términos de paros no programados, tiempos de reparación y disponibilidad de los equipos.

Este enfoque permite trascender el nivel descriptivo para profundizar en la comprensión de los factores técnicos y operativos que influyen en la confiabilidad de los equipos, lo cual constituye la base para el diseño de un programa de mantenimiento preventivo orientado a la reducción de fallas y a la mejora de la continuidad del proceso productivo.

De esta manera, la naturaleza explicativa del estudio radica en su capacidad para esclarecer las causas que originan las deficiencias en la gestión del mantenimiento y, a partir de dicho entendimiento, establecer acciones técnicas concretas que contribuyan a mejorar el desempeño operativo de la organización.

Enfoque del proyecto

El presente estudio se desarrolló bajo un enfoque cualitativo con apoyo cuantitativo. El componente cualitativo se refleja en la observación directa de los equipos, la interpretación de las prácticas actuales de mantenimiento, las entrevistas al personal operativo y técnico, y el análisis de las causas asociadas a las fallas recurrentes.

El componente cuantitativo se incorporó mediante la aplicación del AMEF, a través de la asignación de valores de severidad, ocurrencia y detección para calcular el Número de Prioridad de Riesgo (NPR). También se consideraron indicadores de mantenimiento como MTBF, MTTR y disponibilidad operativa; sin embargo, estos se plantearon como indicadores propuestos para seguimiento futuro, no como evidencia de mejora comprobada.

Este enfoque permitió abordar la problemática desde una perspectiva integral, combinando la comprensión del contexto operativo con herramientas técnicas de análisis y priorización.

Técnicas e instrumentos de recolección de datos

De acuerdo con Hernández y Mendoza (2022), las técnicas de recolección de datos comprenden el conjunto de procedimientos sistemáticos que permiten obtener información del entorno real, con el propósito de analizar un fenómeno y fundamentar la toma de decisiones. En el contexto del presente estudio, dichas técnicas se orientan a la identificación de fallas, análisis del desempeño de los equipos y evaluación de las prácticas actuales de mantenimiento.

Para el desarrollo de esta investigación, se emplearon técnicas que permiten integrar tanto información cualitativa como datos de carácter cuantitativo, con el fin de comprender el comportamiento de los equipos críticos y sustentar el diseño del programa de mantenimiento preventivo.

Observación directa estructurada

- Propósito: Identificar las condiciones reales de operación de los equipos críticos, así como los patrones de falla y las prácticas actuales de mantenimiento.
- Aplicación:
 - Observación del funcionamiento de la Remachadora Parker y los Giros REDROCK en condiciones normales de operación.
 - Registro de fallas recurrentes, tiempos de paro y condiciones de uso.
 - Identificación de intervenciones correctivas realizadas por el personal técnico.
- Instrumento:
 - Formato de observación estructurado para el registro de fallas, condiciones operativas y tiempos de intervención.
 - Evidencia fotográfica.

- Justificación: Permite documentar el comportamiento real de los equipos dentro de su entorno operativo, identificando situaciones que no siempre se encuentran registradas formalmente.

Entrevistas estructuradas al personal operativo y técnico

- Propósito: Recabar información sobre la frecuencia de fallas, sus causas más comunes y las prácticas actuales de mantenimiento a partir de la experiencia del personal operativo. En este sentido, resulta más pertinente obtener información directamente de los operadores, ya que ellos poseen un conocimiento cercano del comportamiento real de los equipos en condiciones cotidianas de operación. Esto permite complementar o, en su caso, contrastar la información disponible en registros históricos que pueden presentar inconsistencias, incompletitud o falta de actualización.
- Participantes:
 - Operadores
 - Inspectores
- Instrumento:

Guía de entrevista estructurada con preguntas enfocadas en:

 - Tipos de fallas más frecuentes.
 - Condiciones en las que ocurren.
 - Procedimientos de intervención.
 - Tiempo estimado de reparación.

Justificación: Permite complementar la información técnica con conocimiento empírico del personal, especialmente en contextos donde los registros no son completamente sistematizados. (Hernández y Mendoza, 2022).

Análisis documental de registros de mantenimiento.

- Propósito: Analizar la información histórica disponible sobre fallas e intervenciones en los equipos críticos.
- Fuentes:
 - Bitácoras de mantenimiento.

- Registro de fallas.
 - Reportes internos de operación.
- Justificación: Permite identificar patrones de falla, frecuencia de ocurrencia y tiempos de reparación estimada, lo cual es fundamental para el cálculo de indicadores de mantenimiento.

Hojas de verificación y registro de fallas

- Propósito: Registrar de manera sistemática la ocurrencia de fallas durante el periodo de observación y análisis
- Aplicación:
 - Registro de tipo de falla.
 - Frecuencia de ocurrencia.
 - Tiempo de paro asociado.
 - Área o componente afectado.
- Instrumento:
 - Hoja de verificación diseñada para el proyecto.
 - Formato de registro de eventos de falla.

Aplicación del AMEF (Análisis de Modo y Efecto de falla)

- Propósito: Identificar, analizar y priorizar los modos de falla de los equipos críticos.
- Aplicación:
 - Identificación de modos de falla por componente.
 - Determinación de efectos y causas.
 - Asignación de valores de severidad, ocurrencia y detección.
 - Cálculo de NPR.
- Instrumento:
 - Diseño de un formato AMEF estructurado.
 - Matriz de evaluación de criticidad.

- Justificación: Permite jerarquizar las fallas en función de su impacto y orientar las acciones de mantenimiento hacia los elementos más críticos (Reyes, 2008).

Variables de investigación

En el presente estudio, las variables se definen con el propósito de establecer la relación entre la propuesta de mantenimiento preventivo y el desempeño de los equipos críticos, permitiendo estructurar el análisis y orientar la intervención técnica. Dado que la investigación es de carácter aplicado y no experimental, las variables se plantean con fines analíticos y de delimitación del estudio, más que para la comprobación estadística de hipótesis.

Variable independiente:

La variable de diseño corresponde a la propuesta técnica de programa de mantenimiento preventivo basado en el análisis de fallas. Esta variable integra la identificación de modos de falla, análisis de causas y efectos, evaluación de criticidad mediante AMEF, definición de actividades preventivas, frecuencias, responsables, formatos e indicadores de seguimiento.

Variable dependiente:

La variable de referencia corresponde al desempeño operativo de los equipos críticos, entendido en términos de disponibilidad, confiabilidad, recurrencia de fallas, tiempos de reparación y tiempos de paro. En este estudio, dicha variable se considera como referente técnico para orientar la propuesta, no como resultado medido después de una implementación.

Variables interdependientes:

Son aquellos factores que pueden influir en el desempeño de los equipos y en la efectividad del programa de mantenimiento, sin ser controlados directamente dentro del estudio.

Entre ellos se consideran:

- Condiciones de operación de los equipos.
- Nivel de uso y carga de trabajo.

- Prácticas actuales de mantenimiento.
- Disponibilidad de información histórica.
- Experiencia del personal técnico.

Procedimiento para el análisis de datos

El desarrollo del presente proyecto se llevó a cabo mediante un procedimiento metodológico estructurado, orientado al diseño de un programa de mantenimiento preventivo basado en el análisis de fallas para los equipos críticos de producción. Este procedimiento integra herramientas de análisis propias de la ingeniería de mantenimiento, permitiendo abordar la problemática desde una perspectiva sistemática y orientada a la mejora del desempeño operativo.

A diferencia de enfoques exclusivamente teóricos, el presente estudio se fundamenta en el análisis de condiciones reales de operación, lo que permite generar una propuesta técnica viable y alineada con las necesidades de la empresa. Para ello, el procedimiento se organizó en cinco etapas, las cuales se describen a continuación:

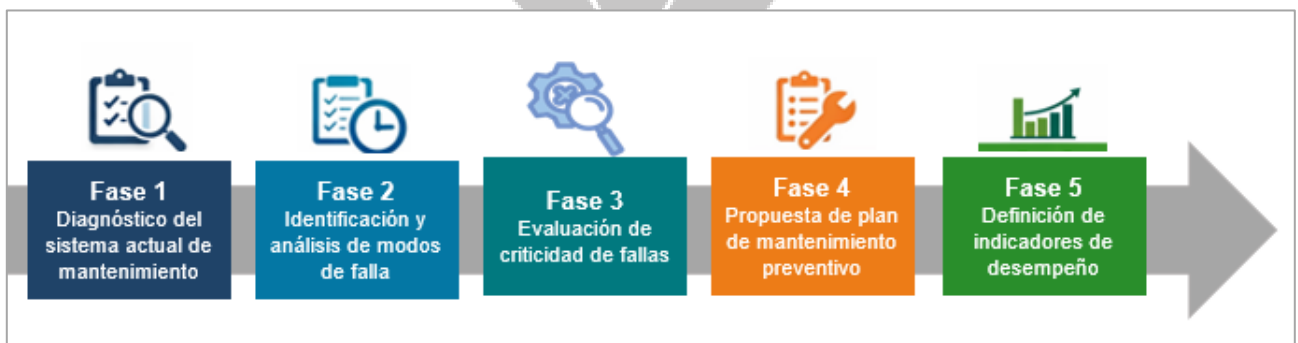


Figura 5. Procedimiento metodológico para el análisis de datos del proyecto.

Para el desarrollo de la presente investigación fue necesario delimitar el análisis a los equipos con mayor relevancia dentro del proceso productivo de la empresa. La selección de los equipos objeto de estudio se realizó considerando criterios de criticidad operativa, recurrencia de fallas, impacto en la continuidad de la producción y relevancia dentro de las actividades de fabricación.

Como resultado de esta evaluación, se seleccionaron la Remachadora Parker y el Giro REDROCK, debido a que ambos equipos desempeñan funciones esenciales dentro del proceso de manufactura de carros de ferrocarril y cualquier interrupción en su operación puede afectar la secuencia de producción y el cumplimiento de los programas establecidos.

Asimismo, durante el levantamiento de información y las actividades de observación realizadas en el periodo de prácticas profesionales, se identificó que estos equipos presentaban incidencias recurrentes asociadas a componentes mecánicos e hidráulicos, lo que generaba intervenciones frecuentes por parte del personal de mantenimiento. Esta situación permitió disponer de información suficiente para realizar el análisis de fallas y aplicar herramientas como el Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF).

La selección de estos equipos también respondió a la necesidad de enfocar el estudio en activos cuya condición operativa tiene una influencia directa sobre el proceso productivo. De esta manera, el análisis realizado se concentró en aquellos equipos que representan una mayor relevancia para la operación de la empresa y que ofrecen mejores condiciones para el diseño de una propuesta técnica de mantenimiento preventivo basada en el análisis de fallas.

Es importante señalar que el alcance de la investigación se limitó a estos equipos críticos, por lo que los resultados obtenidos y la propuesta desarrollada corresponden específicamente a sus condiciones de operación y a las fallas identificadas durante el periodo de estudio.

Fase 1. Diagnóstico del sistema actual de mantenimiento

Durante esta fase se analizó el estado actual del mantenimiento de los equipos críticos seleccionados, con el propósito de identificar las principales problemáticas asociadas a la recurrencia de fallas y a la ausencia de una estructura preventiva formal.

Para ello, se emplearon técnicas como observación directa en campo, entrevistas estructuradas al personal operativo y técnico, revisión de registros disponibles y análisis de las prácticas actuales de mantenimiento. Esta información

permitió identificar que las intervenciones se realizan principalmente bajo un enfoque correctivo, con registros limitados y sin una programación preventiva completamente estructurada.

El resultado de esta fase fue la identificación de fallas recurrentes, condiciones operativas relevantes, ausencia de registros sistemáticos y áreas de oportunidad para la gestión del mantenimiento.

Fase 2. Identificación y análisis de modos de falla

En esta fase se identificaron los modos de falla presentes en los equipos críticos, considerando la información obtenida mediante observación directa, entrevistas, registros disponibles y hojas de verificación.

El análisis se orientó a responder tres preguntas principales: qué falla, por qué falla y qué efecto genera la falla en la operación. Para ello, se descompusieron los equipos en componentes o subsistemas relevantes y se analizaron las posibles causas mediante el diagrama de Ishikawa.

Esta fase permitió estructurar técnicamente la información sobre las fallas, relacionando causas, modos de falla y efectos sobre el proceso productivo.

Fase 3. Evaluación de criticidad de fallas

En esta fase se aplicó el AMEF para evaluar los modos de falla identificados. Cada modo de falla fue analizado considerando tres criterios: severidad, ocurrencia y detección. Con base en estos valores se calculó el Número de Prioridad de Riesgo, el cual permitió jerarquizar las fallas según su nivel de criticidad.

La evaluación de criticidad permitió priorizar los modos de falla que requieren mayor atención dentro de la propuesta de mantenimiento preventivo. Asimismo, el diagrama de Pareto se utilizó como apoyo para identificar las fallas con mayor representación o impacto dentro del conjunto analizado.

El resultado de esta fase fue una matriz de criticidad que sirvió como base para definir las actividades preventivas del programa.

Fase 4. Propuesta de un plan de mantenimiento preventivo

Con base en los resultados del diagnóstico, el análisis de causa raíz y la evaluación de criticidad, se formuló una propuesta técnica de programa de mantenimiento preventivo para los equipos críticos seleccionados.

El programa incluyó actividades de inspección, lubricación, ajuste, limpieza, verificación y revisión de componentes críticos. Asimismo, se definieron frecuencias de intervención, responsables de ejecución, puntos de control y formatos para documentar las actividades realizadas.

Esta fase permitió transformar los resultados del análisis de fallas en una propuesta estructurada de mantenimiento preventivo. No obstante, el programa formulado no fue implementado durante el periodo de prácticas profesionales, por lo que su aplicación queda como una etapa posterior para la empresa.

Fase 5. Definición de indicadores de desempeño

La finalidad de esta etapa consiste en establecer criterios de medición que permitan evaluar el comportamiento del sistema de mantenimiento y monitorear el desempeño operativo de los equipos críticos, asegurando que la propuesta desarrollada pueda ser analizada de manera objetiva.

En esta fase se definen indicadores clave orientados a la confiabilidad y disponibilidad de los equipos, los cuales permiten traducir el comportamiento operativo en métricas cuantificables. Entre los principales indicadores considerados se encuentran el Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF), el Tiempo Medio de Reparación (MTTR) y la disponibilidad, ya que en conjunto ofrecen una visión integral del desempeño del mantenimiento, tanto desde la frecuencia de fallas como desde la eficiencia en su atención.

La selección de estos indicadores responde a la necesidad de contar con herramientas que no solo describan la situación actual, sino que también permitan dar seguimiento al comportamiento de los equipos en el tiempo, identificando tendencias, desviaciones y oportunidades de mejora.

En este sentido, los indicadores se plantean como elementos de control y seguimiento futuro que facilitarán la toma de decisiones, permitiendo valorar el impacto potencial del programa de mantenimiento preventivo en la reducción de

fallas, la optimización de los tiempos de intervención y la mejora de la continuidad operativa.

Cabe señalar que, debido al carácter no experimental del estudio, estos indicadores no se utilizan para validar resultados derivados de una implementación real, sino como una base técnica que permitirá, en una etapa posterior, evaluar la efectividad del programa propuesto dentro del entorno productivo.

3.2 Propuesta del procedimiento metodológico para el diseño de un programa de mantenimiento preventivo basado en análisis de fallas de equipos críticos en una empresa metalmecánica.

La recurrencia de fallas en equipos críticos dentro de un sistema productivo no puede explicarse únicamente como eventos aislados derivados del desgaste natural o del uso continuo de la maquinaria. Si bien, en un primer análisis, estas fallas suelen atribuirse a condiciones operativas adversas o a la falta de mantenimiento oportuno, dicha interpretación resulta limitada, ya que no permite comprender de manera integral los factores que intervienen en su aparición y repetición.

En el caso de la empresa objeto de estudio, la problemática identificada no se restringe únicamente a la presencia de fallas, sino a la forma en que son gestionadas. Como se expone en el planteamiento del problema, las intervenciones de mantenimiento se realizan principalmente bajo un enfoque correctivo, sin que exista un seguimiento estructurado del comportamiento de los equipos ni un análisis sistemático de las causas que originan dichas fallas. Esta situación ha propiciado la repetición de eventos, el incremento en los tiempos muertos y una disminución en la disponibilidad operativa de los equipos.

Ante esta brecha en la gestión del mantenimiento, se vuelve necesario adoptar un enfoque metodológico que permita ir más allá de la atención inmediata de fallas, orientándose hacia la comprensión de su comportamiento desde una perspectiva técnica. En este sentido, el análisis de fallas no se plantea como una actividad aislada, sino como un proceso estructurado que permite descomponer el

problema, identificar relaciones causa–efecto y establecer criterios objetivos para la toma de decisiones.

En respuesta a esta necesidad, la presente investigación propone un procedimiento metodológico de análisis estructurado en cinco fases, el cual permite abordar la problemática de manera progresiva, partiendo del diagnóstico de las condiciones actuales, pasando por la identificación y evaluación de fallas, hasta llegar a la formulación de una propuesta de mantenimiento preventivo basada en evidencia.

La metodología adoptada tiene un carácter analítico y aplicado, ya que busca interpretar el comportamiento real de los equipos en su entorno operativo, descomponiendo el sistema en sus elementos críticos para identificar las causas raíz de las fallas y establecer bases técnicas que sustenten el diseño de acciones orientadas a mejorar la confiabilidad y disponibilidad de los equipos.

Selección de equipos críticos objeto de estudio.

Para el desarrollo de la presente investigación fue necesario delimitar el análisis a los equipos con mayor relevancia dentro del proceso productivo de la empresa. La selección de los equipos objeto de estudio se realizó considerando criterios de criticidad operativa, recurrencia de fallas, impacto en la continuidad de la producción y relevancia dentro de las actividades de fabricación.

Como resultado de esta evaluación, se seleccionaron la Remachadora Parker y el Giro REDROCK, debido a que ambos equipos desempeñan funciones esenciales dentro del proceso de manufactura de carros de ferrocarril y cualquier interrupción en su operación puede afectar la secuencia de producción y el cumplimiento de los programas establecidos.

Asimismo, durante el levantamiento de información y las actividades de observación realizadas en el periodo de prácticas profesionales, se identificó que estos equipos presentaban incidencias recurrentes asociadas a componentes mecánicos e hidráulicos, lo que generaba intervenciones frecuentes por parte del personal de mantenimiento. Esta situación permitió disponer de información

suficiente para realizar el análisis de fallas y aplicar herramientas como el Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF).

La selección de estos equipos también respondió a la necesidad de enfocar el estudio en activos cuya condición operativa tiene una influencia directa sobre el proceso productivo. De esta manera, el análisis realizado se concentró en aquellos equipos que representan una mayor relevancia para la operación de la empresa y que ofrecen mejores condiciones para el diseño de una propuesta técnica de mantenimiento preventivo basada en el análisis de fallas.

Es importante señalar que el alcance de la investigación se limitó a estos equipos críticos, por lo que los resultados obtenidos y la propuesta desarrollada corresponden específicamente a sus condiciones de operación y a las fallas identificadas durante el periodo de estudio.

Fase 1. Levantamiento y documentación de información en campo.

En esta fase se realizó la recopilación de información directamente en el área de producción, específicamente en los equipos críticos seleccionados para el estudio (Remachadora Parker y Giros RedRock).

El levantamiento de la información se llevó a cabo mediante:

- **Observación directa estructurada:**

Utilizando formatos previamente diseñados para registrar:

- Condiciones de operación en los equipos.
- Presencia de anomalías visibles.
- Prácticas reales de mantenimiento.
- Tiempos improductivos y paros asociados.

- **Bitácora de campo:** En las cuales se documentarán de manera sistemática los eventos observados, incluyendo notas técnicas, frecuencia de fallas percibidas y condiciones del entorno de trabajo.

- **Entrevistas estructuradas al personal operativo y de mantenimiento:** mediante un cuestionario diseñado para identificar:

- Fallas recurrentes.
- Ordenes de trabajo.
- Registro de fallas (cuando se presenten).

- Rutinas de mantenimiento existentes.

Fase 2. Identificación de fallas y análisis de causa raíz

Una vez organizada la información, se procedió a la identificación de los modos de falla presentes en los equipos, considerando tanto los registros obtenidos como la experiencia del personal técnico.

Para estructurar el análisis de causas, se utilizó el diagrama de Ishikawa, el cual permitió clasificar los factores que influyen en la ocurrencia de fallas en las siguientes categorías:

- Método.
- Maquinaria.
- Mano de obra.
- Materiales.
- Medio ambiente.

Este análisis permitirá identificar causas recurrentes como:

- Deficiencias en la lubricación.
- Falta de rutinas específicas de mantenimiento.
- Desgaste de componentes.
- Condiciones de operación no controladas.

Como complemento se diseñarán hojas de verificación para registrar la frecuencia de aparición de fallas, lo que permitirá estructurar la información de manera cuantificable.

Fase 3. Evaluación y priorización de fallas mediante análisis AMEF

Posteriormente se aplicará la herramienta de análisis de modo y efecto de falla para evaluar de manera técnica los modos de falla identificados.

Para cada falla se elaborarán formatos AMEF en los cuales se registrarán:

- Modo de falla.
- Efecto de falla.
- Causa de la falla.
- Controles actuales.

Así mismo, se asignaron valores de:

- Severidad (S)
- Ocurrencia (O)
- Detección (D)

Con base a estos valores se realizará el cálculo del Número de prioridad de riesgo (NPR), lo que permitirá jerarquizar las fallas en función de su criticidad.

Adicionalmente, se empleó el diagrama de Pareto para identificar las fallas más representativas, concentrando el análisis en aquellas que generan mayor impacto en la operación.

Fase 4. Integración de resultados y definición de acciones de mantenimiento.

Con base en la priorización obtenida, se procedió a integrar la información para la toma de decisiones, estableciendo la relación entre:

- Fallas críticas identificadas.
- Causas raíz.
- Acciones de mantenimiento requeridas.

A partir de este análisis se diseñarán:

- **Rutinas de mantenimiento preventivo específicas por equipo, incluyendo:**
 - Actividades técnicas (inspección, lubricación, ajuste, verificación)
 - Puntos críticos de revisión.
 - Frecuencia de intervención.
- **Formatos de ejecución de mantenimiento:** con la finalidad de que permitan documentar cada intervención realizada.

Fase 5. Definición de indicadores y criterios de seguimiento.

Finalmente, se establecieron indicadores de desempeño que permiten evaluar el comportamiento del sistema de mantenimiento y dar seguimiento a la condición operativa de los equipos. Los indicadores definidos fueron los siguientes:

- MTBF (Tiempo medio entre fallas).
- MTTR (Tiempo medio de reparación)
- Disponibilidad del equipo.

Para su análisis se diseñaron formatos de registro y control que permitirán la captura de:

- Eventos de falla.
- Tiempos de intervención.
- Monitoreo de tendencias.

Estos indicadores se plantean como herramientas de control que permitirán evaluar la efectividad del programa de mantenimiento en una etapa posterior, facilitando la toma de decisiones basada en datos.



Capítulo IV. Resultados y análisis de los datos

Previo al desarrollo de las actividades de diagnóstico y análisis, se gestionó la autorización correspondiente por parte del área de mantenimiento y de la dirección de la empresa, con el propósito de realizar el levantamiento de información en campo y el análisis de los equipos críticos de producción.

Como parte de esta etapa inicial, se llevó a cabo una revisión documental de la información disponible, la cual incluyó registros de mantenimiento, reportes de fallas, órdenes de trabajo y cualquier evidencia relacionada con el comportamiento operativo de los equipos durante los últimos meses. Esta revisión permitió identificar las limitaciones existentes en la sistematización de la información, así como la falta de registros históricos completos que facilitaran el análisis del desempeño de los equipos.

Para asegurar un análisis estructurado y consistente, se estableció como punto de partida el entendimiento de las prácticas actuales de mantenimiento dentro de la organización, considerando tanto los procedimientos formales como la experiencia del personal operativo. Este enfoque permitió delimitar el estudio al área productiva, enfocándose específicamente en los equipos críticos seleccionados, cuya operación tiene un impacto directo en la continuidad del proceso.

De esta manera, se generó una base inicial de información que permitió orientar el diagnóstico y las etapas posteriores del análisis, garantizando que la propuesta desarrollada se fundamentara en condiciones reales de operación.

Como parte del procedimiento metodológico propuesto, la primera etapa consistió en el diagnóstico del estado actual del mantenimiento en los equipos críticos de producción, con el propósito de comprender las condiciones reales de operación y las problemáticas asociadas a la recurrencia de fallas.

Este diagnóstico se desarrolló a partir de la información obtenida mediante observación directa en campo, entrevistas estructuradas al personal operativo y de mantenimiento, así como la revisión de registros disponibles. La integración de

estas fuentes permitió construir una visión general del comportamiento de los equipos bajo condiciones reales de trabajo.

4.1 Resultados de la Fase 1: Diagnóstico de la situación actual de los equipos críticos

Como parte del procedimiento metodológico propuesto, la primera etapa consistió en el diagnóstico del estado actual del mantenimiento en los equipos críticos de producción, con el propósito de comprender las condiciones reales de operación y las problemáticas asociadas a la recurrencia de fallas.

Este diagnóstico se desarrolló a partir de la información obtenida mediante observación directa en campo, entrevistas estructuradas al personal operativo y de mantenimiento, así como la revisión de registros disponibles. La integración de estas fuentes permitió construir una visión general del comportamiento de los equipos bajo condiciones reales de trabajo.

4.1.1 Caracterización de los equipos críticos

Los equipos seleccionados para este análisis fueron:

- Giros REDROCK.
- Remachadora Parker.

Estos equipos fueron identificados críticos debido a:

- Su impacto directo en la continuidad del proceso productivo.
- La frecuencia de fallas reportadas.
- La ausencia de un programa de mantenimiento preventivo estructurado.

La selección de los equipos Giro REDROCK y Remachadora PARKER se realizó a partir del diagnóstico operativo efectuado dentro del área de metálico, considerando criterios relacionados con criticidad operativa, recurrencia de fallas, frecuencia de intervención correctiva e impacto directo sobre la continuidad del proceso productivo.

Durante las actividades de observación en campo y revisión de las condiciones actuales de operación, se identificó que ambos equipos presentaban antecedentes constantes de paros no programados, fallas asociadas a sistemas hidráulicos y componentes de transmisión mecánica, así como desgaste progresivo derivado de las condiciones de carga y exigencia operativa a las que son sometidos durante la producción.

En el caso del Giro REDROCK, se detectaron afectaciones relacionadas con desgaste en componentes de transmisión, presencia de vibraciones anormales, fugas de aceite y variaciones en el comportamiento operativo del sistema hidráulico, condiciones que incrementaban el riesgo de pérdida de precisión y paros parciales del equipo. Por otra parte, la Remachadora PARKER presentaba fallas asociadas a pérdida de presión hidráulica, deterioro de conexiones, desgaste en componentes de accionamiento y comportamiento inestable durante la operación continua, generando interrupciones recurrentes dentro del proceso.

Asimismo, durante el análisis inicial se identificó que ambos equipos carecían de actividades sistemáticas de inspección preventiva, registros técnicos históricos y mecanismos formales de seguimiento relacionados con condiciones de operación, tiempos de intervención y control de fallas. Esta situación dificultaba la detección oportuna de anomalías y favorecía la ejecución de mantenimiento principalmente bajo un enfoque reactivo.

Otro aspecto relevante considerado para su selección fue la función estratégica que ambos equipos desempeñan dentro de las operaciones del área de metálico, debido a que su disponibilidad influye directamente en la continuidad de determinadas actividades del proceso productivo. Bajo estas condiciones, cualquier interrupción asociada a fallas mecánicas o hidráulicas puede generar afectaciones operativas, tiempos muertos y retrasos en la producción.

Con base en los criterios identificados durante el diagnóstico, se determinó que los equipos Giro REDROCK y Remachadora PARKER representaban una referencia técnicamente adecuada para el desarrollo del análisis de fallas, la aplicación de herramientas como AMEF y diagramas de causa raíz, así como para

la elaboración de la propuesta de mantenimiento preventivo desarrollada en la presente investigación.

Como parte del diagnóstico del estado actual de los equipos, se llevó a cabo un levantamiento de información en campo que permitió identificar no solo las condiciones operativas, sino también la ubicación física de los equipos dentro del área de producción.

El conocimiento de la ubicación de los equipos resulta fundamental, ya que permite comprender su interacción con el entorno de trabajo, las condiciones bajo las cuales operan y la accesibilidad para las actividades de mantenimiento. Asimismo, facilita la identificación de posibles factores externos que pueden influir en la ocurrencia de fallas, tales como condiciones ambientales, flujo de materiales y disposición del área.

En este sentido, se realizó la identificación de los activos correspondientes a los equipos críticos dentro del área de metálico, los cuales fueron codificados y ubicados conforme a la distribución física de la planta, como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Identificación de activos de estudio.

Activo	Nombre del activo	Área	Ubicación
GI-B-01	Giro RedRock 1	Metálico	Línea 4 columna A-08
GI-B-02	Giro RedRock 2	Metálico	Línea 5 columna B-14
GI-B-03	Giro RedRock 3	Metálico	Línea 5 columna C-15
GI-B-04	Giro RedRock 4	Metálico	Línea 6 columna D-12
PA-01	Remachadora Parker	Metálico	Línea 4 columna A-22

Asimismo, se elaboró un plano de distribución del área de trabajo que permitió visualizar la ubicación relativa de los equipos dentro del proceso productivo, facilitando la comprensión del flujo de operación y su impacto en la continuidad del sistema.

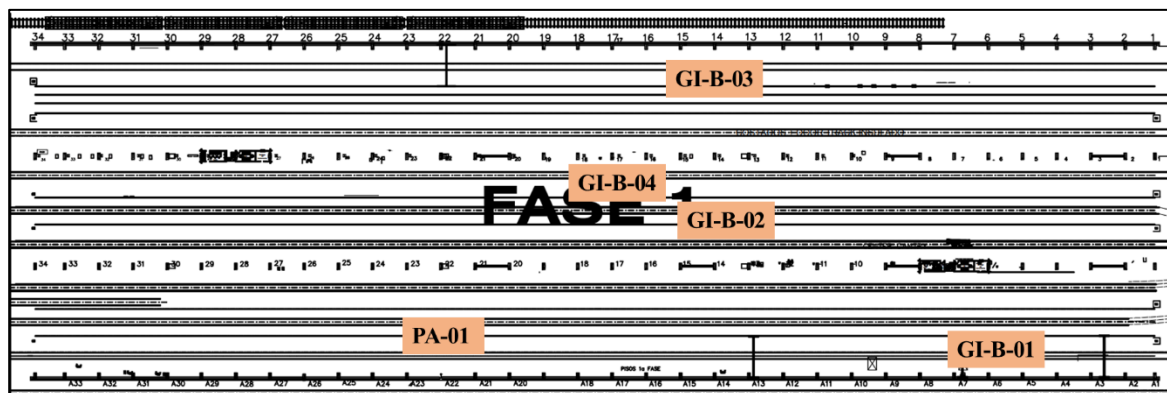


Figura 6. Ubicación de los equipos dentro del área de metálico

Análisis de la ubicación y condiciones de operación

A partir de la distribución de los equipos dentro del área, se identificó que los Giros REDROCK se encuentran ubicados en diferentes líneas de producción, lo que implica que su falla puede afectar distintos puntos del proceso productivo. Por su parte, la Remachadora Parker se encuentra posicionada en una zona estratégica, donde su operación es clave para el cumplimiento de las actividades subsiguientes.

Durante la observación en campo, se detectaron condiciones relevantes como:

- Presencia de residuos y deficiencias en limpieza en el área de trabajo
- Acceso limitado a ciertos componentes para actividades de mantenimiento
- Operación continua de los equipos bajo condiciones de alta demanda
- Evidencia de desgaste en componentes expuestos

Estas condiciones influyen directamente en el desempeño de los equipos y pueden contribuir a la aparición de fallas recurrentes, especialmente en sistemas mecánicos e hidráulicos.

Formato de observación aplicado:

Con el propósito de documentar de manera estructurada las condiciones reales de operación de los equipos críticos, se procedió al llenado de formatos de observación diseñados específicamente para el presente estudio. Estos formatos permitieron registrar de forma sistemática el estado general de los equipos, las condiciones operativas y la presencia de anomalías detectadas durante la observación en campo.

La información obtenida a través de estos registros constituye una base fundamental para el análisis posterior, ya que permite identificar patrones de comportamiento, evidencias de desgaste y posibles factores que contribuyen a la ocurrencia de fallas. Asimismo, estos resultados facilitan la transición hacia etapas más profundas del análisis, como la identificación de causas raíz y la evaluación de criticidad mediante herramientas como el diagrama de Ishikawa y el AMEF.

A continuación, se presentan los resultados correspondientes a cada uno de los equipos analizados, organizados de acuerdo con los criterios establecidos en el formato de observación aplicado, ver Tabla 2 y 3.

Tabla 2. Formato de análisis aplicado para Giro RedRock.

1. Condiciones generales del equipo

Criterio de evaluación	Óptimo (1)	Regular (2)	Deficiente (3)	Observaciones
Estado general del equipo				Presencia de desgaste en componentes mecánicos, especialmente en sistema de transmisión
Limpieza de equipo				Acumulación de residuos metálicos y aceite en zonas cercanas al sistema hidráulico
Orden en el área de trabajo				Área con herramientas dispersas, sin organización definida
Accesibilidad para mantenimiento				Acceso limitado a zonas internas del sistema de transmisión

2. Condiciones operativas

Parámetro observado	Sí	No	Observaciones
Presencia de fugas (aceite/aire)	✓		Fugas visibles en conexiones hidráulicas y sellos
Ruido anormal	✓		Ruido metálico intermitente en sistema de transmisión
Vibración excesiva	✓		Vibración perceptible durante operación continua
Temperatura elevada	✓		Incremento de temperatura en motor tras operación prolongada
Evidencia de desgaste	✓		Desgaste progresivo en dientes del piñón
Condiciones de limpieza	✓		Área con presencia constante de aceite y residuos
Funcionamiento irregular	✓		Área con presencia constante de aceite y residuos

Tabla 3. Formato de análisis aplicado para Remachadora PARKER.

1. Condiciones generales del equipo

Criterio de evaluación	Óptimo (1)	Regular (2)	Deficiente (3)	Observaciones
Estado general del equipo				Equipo funcional, pero con desgaste en sistema hidráulico
Limpieza de equipo				Presencia de aceite en mangueras y área de trabajo
Orden en el área de trabajo				Organización básica, pero sin control visual adecuado
Accesibilidad para mantenimiento				Acceso limitado a conexiones hidráulicas internas

2. Condiciones operativas

Parámetro observado	Sí	No	Observaciones
Presencia de fugas (aceite/aíre)	✓		Fugas en mangueras y conexiones
Ruido anormal		✓	No se detectaron ruidos significativos
Vibración excesiva		✓	Operación estable en este aspecto
Temperatura elevada	✓		Incremento moderado en sistema hidráulico
Evidencia de desgaste	✓		Desgaste en pistola remachadora
Condiciones de limpieza	✓		Área con residuos de aceite
Funcionamiento irregular	✓		Variaciones en presión durante operación

Como parte del trabajo de campo, se realizaron entrevistas al personal operativo que mantiene contacto directo y constante con los equipos analizados, con el propósito de obtener información más precisa sobre su comportamiento en condiciones reales de operación. Esta estrategia se adoptó debido a que los registros históricos de mantenimiento disponibles resultan limitados y no reflejan con detalle las fallas y situaciones que se presentan en el entorno cotidiano de trabajo.

A continuación, en la Tabla 4, se presenta una síntesis de la información recopilada, la cual permite identificar patrones relevantes en el comportamiento de los equipos, así como las principales problemáticas asociadas a su operación.

Tabla 4. Consolidación de hallazgos derivados de entrevistas.

Variable evaluada	Resultado identificado
Tipo de mantenimiento	Correctivo predominante
Frecuencia de fallas	Alta
Tiempo de reparación	Variable (no estandarizado)
Registro de fallas	Limitado o inexistente
Rutinas preventivas	No definidas

El diagnóstico realizado permitió establecer una base sólida para el análisis posterior de los equipos críticos, identificando no solo las fallas presentes, sino también las condiciones que favorecen su aparición.

Con base en estos resultados, se procede a la siguiente fase del estudio, en la cual se realizará el análisis de causa raíz de las fallas identificadas, mediante el uso de herramientas de ingeniería como el diagrama de Ishikawa, con el fin de comprender de manera estructurada los factores que influyen en la ocurrencia de los eventos críticos.

4.2 Resultado de la Fase 2: Identificación y análisis de modo de falla

Una vez realizado el diagnóstico del estado actual de los equipos críticos, se procedió a la segunda fase del procedimiento metodológico, correspondiente a la identificación y análisis de los modos de falla.

El propósito de esta etapa es desglosar el comportamiento funcional de los equipos a partir del reconocimiento sistemático de las fallas que se presentan en condiciones reales de operación, permitiendo no solo identificar qué falla, sino comprender cómo ocurre, cuáles son sus causas y qué efectos genera dentro del proceso productivo.

Esta fase se desarrolló en dos momentos complementarios:

- Identificación estructurada de los modos de falla.
- Análisis de causa raíz mediante herramientas de ingeniería.

Identificación de modos de falla

A partir de la información obtenida en la fase de diagnóstico (observación, entrevistas y registros), se procedió a la identificación de los modos de falla más representativos en los equipos críticos.

Para ello, se diseñó un formato de registro que permitió organizar la información considerando los siguientes elementos (ver Tabla 5):

- Componentes afectados.
- Modo de falla.
- Descripción del evento.
- Causas.
- Efecto en la operación.

Tabla 5. Identificación y análisis de modos de falla-Giros REDROCK.

No.	Subsistema o Componente	Función del componente	Modo de falla potencial	Descripción técnica de la falla	Causas potenciales	Efectos en la operación	Evidencia en campo	Consecuencia operativa
1	Sistema de transmisión (Piñón)	Transmitir movimiento mecánico	Desgaste de dientes	Pérdida progresiva de material en dientes del engrane	Falta de lubricación, operación continua	Reducción de eficiencia en transmisión	Ruido anormal, vibración	Pérdida de precisión/ paro parcial
2	Sistema de transmisión (Piñón)	Transmitir torque	Fractura de dientes	Ruptura estructural del engrane	Sobrecarga mecánica, fatiga del material	Interrupción total del movimiento	Paro repentino	Paro total del equipo
3	Sistema hidráulico	Mantener presión de operación	Fuga de aceite	Pérdida de fluido en conexiones o sellos	Deterioro de empaques, envejecimiento	Disminución de presión	Presencia de aceite	Operación inestable
4	Motor eléctrico	Generar energía mecánica	Sobrecalentamiento	Incremento anormal de temperatura	Sobrecarga, ventilación deficiente	Reducción de eficiencia	Ruido anormal, vibración	Temperatura elevada
5	Sistema hidráulico	Controlar presión	Baja presión	Caída en presión de trabajo	Contaminación del aceite, fugas	Fallas en operación	Respuesta lenta del sistema	Baja productividad

Tabla 6. Identificación y análisis de modos de falla-Remachadora Parker.

No.	Subsistema o Componente	Función del componente	Modo de falla potencial	Descripción técnica de la falla	Causas potenciales	Efectos en la operación	Evidencia en campo	Consecuencia operativa
1	Pistola remachadora	Aplicar presión de remachado	Pérdida de presión	Disminución de fuerza de remachado	Desgaste interno, sellos dañados	Remaches defectuosos	Problemas de calidad	Pérdida de precisión/ paro parcial
2	Sistema hidráulico	Transportar fluido	Fuga en mangueras	Escape de fluido hidráulico	Envejecimiento de mangueras	Pérdida de presión	Presencia de aceite	Paro parcial
3	Bobina hidráulica	Controlar flujo hidráulico	Falla eléctrica	Interrupción en activación del sistema	Daño eléctrico, sobrecarga	Falta de activación	Equipo no responde	Paro total
4	Sistema hidráulico	Mantener presión estable	Presión inestable	Variación en presión de operación	Aire en sistema, fugas	Operación irregular	Variación en desempeño	Baja eficiencia
5	Válvulas hidráulicas	Regular flujo	Mal funcionamiento	Apertura o cierre incorrecto	Obstrucción, desgaste	Fallas intermitentes	Respuesta errática	Paros intermitentes

Descripción técnica de los equipos críticos

Con la finalidad de comprender el comportamiento funcional de ambos equipos y facilitar la identificación de los modos de falla asociados a sus componentes, se efectuó un análisis técnico estructural basado en la revisión física de los sistemas, observación directa durante la operación y análisis de los componentes principales involucrados en su funcionamiento.

Este análisis permitió reconocer los sistemas mecánicos, eléctricos e hidráulicos que intervienen directamente en la operación de los equipos, así como identificar aquellos componentes cuya falla representa un mayor nivel de impacto sobre el desempeño operativo.

Despiece técnico del equipo remachadora Parker

La Remachadora Parker constituye un equipo crítico dentro del proceso productivo, debido a su participación directa en operaciones de unión y conformado durante las actividades de manufactura. Su correcto funcionamiento resulta indispensable para asegurar la continuidad operativa y mantener la estabilidad del proceso productivo.

A partir de la observación directa y del análisis técnico efectuado durante el diagnóstico, se identificó que el desempeño del equipo depende principalmente del funcionamiento coordinado entre el sistema hidráulico, la pistola remachadora y los componentes eléctricos de activación y control.

Durante la evaluación operativa se detectaron diversas anomalías relacionadas con pérdidas de presión, fugas hidráulicas y fallas eléctricas intermitentes, las cuales afectan directamente el desempeño del equipo y favorecen la aparición de paros no programados.

Con la finalidad de comprender la interacción funcional de los componentes involucrados en la operación del sistema y reconocer los elementos con mayor incidencia en las fallas identificadas, se realizó el análisis estructural mostrado en la Figura 7.



Figura 7. Motor Eléctrico 7.5 Hp y depósito de aceite- Remachadora Parker.

El análisis técnico del equipo permitió identificar los sistemas y componentes que intervienen directamente en el proceso de remachado, así como reconocer aquellos elementos que presentan mayor susceptibilidad al desgaste y deterioro operativo.

Los resultados obtenidos evidenciaron que el sistema hidráulico y los componentes asociados al control de presión representan los elementos con mayor vulnerabilidad dentro del equipo, debido a la recurrencia de fallas relacionadas con fugas, pérdida de presión y variaciones operativas observadas durante el diagnóstico.

Despiece técnico del equipo Giro REDROCK

El equipo Giro REDROCK representa uno de los sistemas de mayor relevancia operativa dentro del área productiva, debido a su participación directa en operaciones que requieren transmisión continua de movimiento y estabilidad mecánica durante el proceso de manufactura.

Durante el diagnóstico realizado en campo, se observó que el desempeño operativo del equipo depende principalmente de la interacción entre el sistema de transmisión mecánica, el sistema hidráulico y el motor eléctrico, los cuales trabajan

de manera conjunta para garantizar la continuidad del proceso bajo condiciones normales de operación.

Asimismo, se identificó que una parte importante de las fallas recurrentes presentes en el equipo se encuentra asociada al desgaste progresivo de componentes mecánicos, pérdida de presión hidráulica y condiciones de operación que favorecen el deterioro acelerado de los sistemas de transmisión.

Con el propósito de comprender de manera más precisa la estructura funcional del equipo y facilitar la identificación de los componentes involucrados en la ocurrencia de fallas, se realizó el análisis estructural del sistema mostrado en la Figura 8.



Figura 8. Motor Eléctrico 10 Hp y depósito de aceite (Giro REDROCK).

El análisis estructural del equipo permitió identificar los principales elementos mecánicos e hidráulicos involucrados en su funcionamiento, facilitando el reconocimiento de los componentes con mayor incidencia dentro de las fallas observadas durante la operación.

De manera particular, se detectó que los sistemas de transmisión y el circuito hidráulico representan los puntos más vulnerables del equipo, debido a que concentran gran parte de las condiciones asociadas al desgaste, pérdida de presión y fallas operativas identificadas durante el diagnóstico.

La información obtenida a partir de este análisis constituyó una base fundamental para el desarrollo de la etapa posterior, enfocada en la identificación y análisis de los modos de falla asociados a los componentes críticos del sistema.

La identificación estructural y funcional de estos componentes permitió establecer una base técnica para el desarrollo del análisis de modos de falla y la posterior evaluación de criticidad realizada en las siguientes etapas del estudio.

Una vez identificados los modos de falla en los equipos críticos, se procedió al análisis de sus causas con el objetivo de comprender los factores que originan su recurrencia dentro del proceso productivo.

Para ello, se empleó el diagrama de Ishikawa, también conocido como diagrama causa efecto, el cual permite estructurar de manera sistemática las posibles causas asociadas a un problema, facilitando su análisis desde diferentes perspectivas.

La aplicación de esta herramienta permitió clasificar las causas en cinco categorías principales: método, maquinaria, mano de obra, materiales y medio ambiente, lo que contribuye a una interpretación integral del comportamiento de los equipos. El análisis del equipo Giros REDROCK permitió identificar que las fallas no se originan únicamente en el desgaste natural de sus componentes, sino en la interacción de múltiples factores asociados principalmente al mantenimiento y las condiciones de operación. Como se muestra en la Figura 9, las causas se concentran principalmente en factores asociados al desgaste de componentes, la ausencia de mantenimiento preventivo y las condiciones de operación del equipo, evidenciando la necesidad de establecer un enfoque estructurado para su gestión.

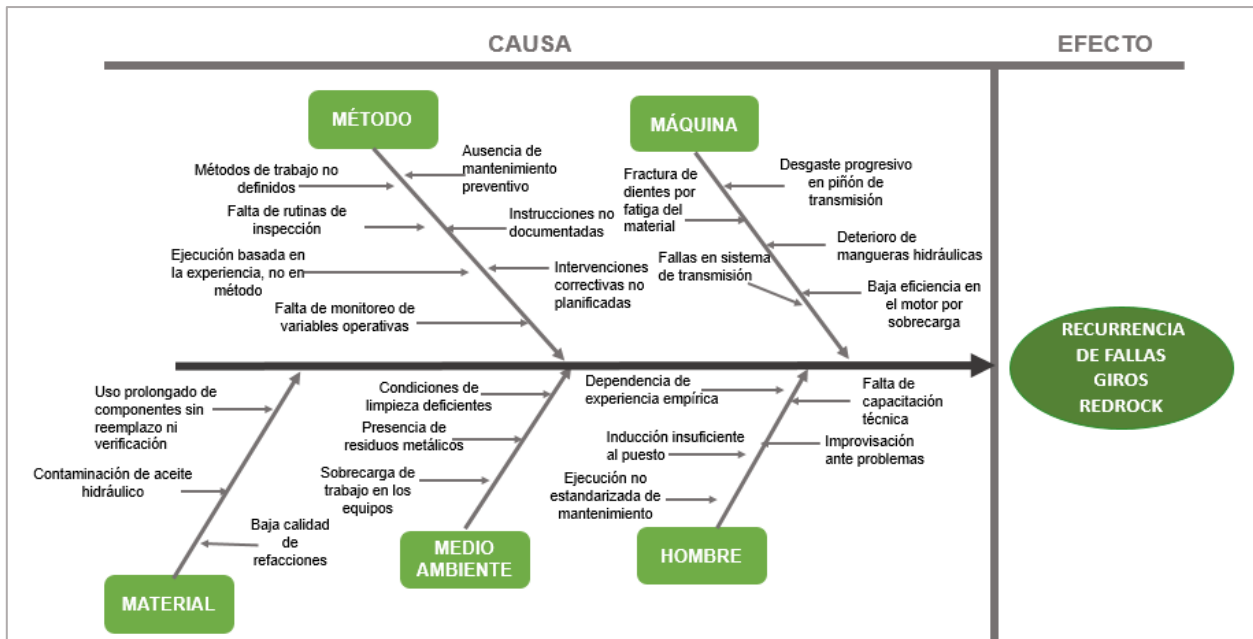


Figura 9. Identificación de causa raíz- Giro REDROCK

De manera similar, se desarrolló el diagrama de Ishikawa para la Remachadora Parker, con el objetivo de analizar las causas que originan las fallas recurrentes en este equipo, particularmente aquellas relacionadas con el sistema hidráulico y la pérdida de presión durante su operación.

El análisis se fundamentó en la información obtenida mediante observación en campo y entrevistas al personal, lo que permitió identificar y clasificar las causas en las categorías de método, maquinaria, mano de obra, materiales y medio ambiente.

Como se muestra en la Figura 10, las principales causas se encuentran relacionadas con el desgaste de componentes, la falta de mantenimiento preventivo y la variabilidad en las prácticas operativas, lo que impacta directamente en el desempeño y confiabilidad del equipo.

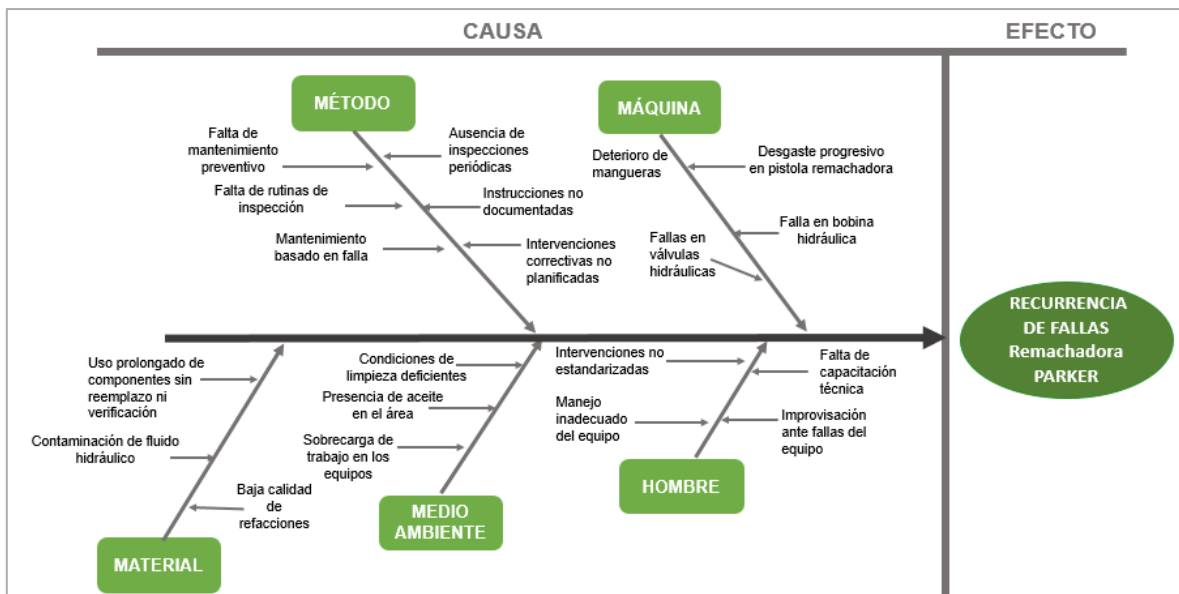


Figura 10. Identificación de causa raíz- Remachadora PARKER

El análisis de la Remachadora Parker permitió identificar que las fallas están estrechamente relacionadas con el sistema hidráulico, donde la pérdida de presión y las fugas representan los principales problemas.

Estas fallas se ven influenciadas por la falta de mantenimiento preventivo, así como por el desgaste progresivo de los componentes, lo que genera variaciones en el desempeño del equipo y afecta la calidad del proceso.

Con base en los hallazgos obtenidos durante la identificación y análisis de los modos de falla en los equipos críticos, se establecieron los lineamientos que orientarán el desarrollo de las siguientes etapas del estudio.

Para ello, se consideraron las condiciones reales de operación identificadas durante el diagnóstico, así como las causas asociadas a la recurrencia de fallas, determinadas mediante el análisis de causa raíz. Este proceso permitió reconocer los factores que influyen de manera directa en el desempeño de los equipos y en la continuidad del proceso productivo.

A partir de este análisis, se identificaron áreas de oportunidad relacionadas principalmente con la ausencia de prácticas estructuradas de mantenimiento, el desgaste progresivo de componentes y la falta de control sobre las condiciones de operación, lo que favorece la repetición de fallas en los equipos.

- Estructurar actividades de mantenimiento enfocadas en los componentes críticos identificados.
- Definir criterios de intervención basados en las condiciones reales de operación de los equipos.
- Establecer mecanismos de inspección que permitan detectar de manera oportuna posibles desviaciones en el funcionamiento de los sistemas.
- Promover la estandarización de las prácticas de mantenimiento para reducir la variabilidad en las intervenciones.

Estos lineamientos constituyen la base para el desarrollo de la siguiente fase del estudio, en la cual se llevará a cabo la evaluación de la criticidad de las fallas identificadas, con el fin de priorizar las acciones de mantenimiento y orientar la toma de decisiones.

4.3 Resultado de la Fase 3: Evaluación de criticidad de fallas

Una vez identificados los modos de falla y analizadas sus causas en los equipos críticos, se procedió a la evaluación de la criticidad de dichas fallas con el propósito de determinar su nivel de impacto dentro del proceso productivo.

Para ello, se empleó la herramienta de Análisis de Modo y Efecto de Falla (AMEF), la cual permitirá evaluar de manera estructurada los riesgos asociados a cada modo de falla, considerando su impacto en la operación, su frecuencia de ocurrencia y la capacidad de detección bajo condiciones reales de trabajo.

La aplicación de esta metodología permitió no solo identificar las fallas más relevantes, sino también establecer un criterio de priorización que facilite la toma de decisiones en la gestión del mantenimiento.

Criterios de evaluación

Para el desarrollo del AMEF, se establecieron los siguientes criterios de evaluación:

- Severidad (S): La severidad representa el nivel de impacto que tiene una falla sobre la operación del equipo o el proceso productivo (ver Tabla 7).

Tabla 7. Criterios de evaluación para severidad.

Valor	Descripción
1-3	Impacto bajo
4-6	Impacto moderado
7-8	Impacto alto
9-10	Impacto crítico (paro total)

- Ocurrencia (O): La ocurrencia evalúa la frecuencia con la que se presenta una falla, considerando la experiencia operativa y la evidencia observada en campo (ver Tabla 8).

Tabla 8. Criterios de evaluación para ocurrencia.

Valor	Descripción
1-3	Baja frecuencia
4-6	Frecuencia moderada
7-8	Alta frecuencia
9-10	Muy frecuente

- Detección (D): La detección indica la capacidad de identificar una falla antes de que esta genere un impacto significativo (ver Tabla 9).

Tabla 9. Criterios de evaluación para detección.

Valor	Descripción
1-3	Fácil de detectar
4-6	Detectable con dificultad
7-8	Difícil de detectar
9-10	No detectable

A partir de la aplicación del Análisis de Modo y Efecto de Falla (AMEF), fue posible identificar y jerarquizar los modos de falla que representan un mayor riesgo para la operación de los equipos críticos analizados. La evaluación realizada permitió reconocer no solo las fallas con mayor impacto dentro del proceso productivo, sino también las condiciones operativas y prácticas de mantenimiento que favorecen su recurrencia (ver Tabla 10 y 11)

Tabla 10. Análisis AMEF- Giros REDROCK.

AMEF: ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLAS PARA EQUIPOS CRÍTICOS												
No.	Proceso/Equipo	Subsistema/Componente	Función	Modo de falla potencial	Efecto de la falla	S	Causa potencial	O	Controles actuales	D	NPR	Acciones recomendadas
1	Giro REDROCK	Sistema de transmisión (Piñón)	Transmitir el movimiento rotacional y torque entre componentes mecánicos	Desgaste por fatiga superficial en los flancos de los dientes	Reducción de eficiencia mecánica por incremento de la fricción y pérdida de la geometría del diente	6	Deficiencia en la lubricación, operación continua sin periodos de mantenimiento	7	Inspección visual no estructurada	6	252	Implementar programa de lubricación periódica y revisión de desgaste
2	Giro REDROCK	Sistema de transmisión (Piñón)	Transmitir torque mecánico bajo condiciones de carga	Fractura por cizallamiento	Interrupción total de la transmisión de movimiento, provocando paro inmediato del equipo	9	Sobrecarga mecánica, fatiga del material por ciclos repetitivos	5	No existen controles formales	7	315	Establecer monitoreo de carga y reemplazo preventivo del componente
3	Giro REDROCK	Sistema hidráulico	Mantener presión operativa para el funcionamiento del equipo	Pérdida de estanqueidad	Disminución de presión, pérdida de eficiencia y riesgo de paro parcial	7	Deterioro de sellos, envejecimiento de conexiones y mangueras	8	Revisión correctiva posterior a la falla	5	280	Sustitución programada de sellos y mangueras

4	Giro REDROC K	Motor eléctrico	Generar energía mecánica para el sistema	Disipación térmica ineficiente	Activación de protecciones térmicas y paro preventivo del equipo	8	Sobrecarga operativa, ventilación insuficiente, acumulació n de residuos	6	No se cuenta con monitoreo térmico	6	288	Implementar inspección térmica periódica y limpieza del sistema
5	Giro REDROC K	Sistema hidráulico	Regular presión de operación	Baja presión hidráulica	Operación inestable, pérdida de capacidad operativa y disminución de rendimiento	7	Contaminac ión del fluido, presencia de aire en el sistema, fugas internas	7	Monitoreo de condición no intrusivo	6	294	Implementar filtración de aceite y purgado del sistema



Tabla 11. Análisis AMEF- Remachadora Parker.

AMEF: ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLAS PARA EQUIPOS CRÍTICOS												
No.	Proceso/Equipo	Subsistema/Componente	Función	Modo de falla potencial	Efecto de la falla	S	Causa potencial	O	Controles actuales	D	NPR	Acciones recomendadas
1	Remachadora Parker	Pistola remachadora	Aplicar presión controlada para la unión de piezas	Pérdida de presión en el sistema de remachado	Deficiente formación del remache, afectando la calidad del producto	7	Desgaste interno de componentes, pérdida de sellado	7	Ajustes correctivos ocasionales	5	245	Mantenimiento preventivo de pistola y cambio de sellos
2	Remachadora Parker	Sistema hidráulico	Transportar fluido para generar presión	Fuga en mangueras hidráulicas	Disminución de presión y paro parcial del equipo	7	Envejecimiento de materiales, fatiga por uso continuo	8	Inspección visual básica	5	280	Sustitución periódica de mangueras
3	Remachadora Parker	Bobina hidráulica	Controlar la activación del sistema hidráulico	Falla eléctrica en bobina	Interrupción total del funcionamiento del equipo	9	Fallas eléctricas, sobrecarga, deterioro del aislamiento	5	No existen controles formales	7	315	Implementar mantenimiento eléctrico preventivo

4	Remachadora Parker	Sistema hidráulico	Mantener presión estable durante la operación	Presión inestable	Variabilidad en el desempeño del equipo y defectos en el proceso	6	Presencia de aire, fugas internas, contaminación del fluido	7	No hay monitoreo continuo	6	252	Purgado del sistema y control de calidad del aceite
5	Remachadora Parker	Válvulas hidráulicas	Regular el flujo de fluido	Mal funcionamiento de válvulas	Fallas intermitentes en el sistema, afectando la continuidad operativa	7	Obstrucción por residuos, desgaste interno	6	Limpieza ocasional	6	294	Limpieza y mantenimiento periódico de válvulas



Los resultados obtenidos evidencian que una parte importante de las fallas identificadas se encuentra asociada al desgaste progresivo de componentes mecánicos e hidráulicos, así como a la ausencia de actividades preventivas estructuradas que permitan intervenir oportunamente los elementos críticos antes de que se presenten eventos de paro o pérdida de desempeño operativo.

Asimismo, el análisis realizado permitió identificar que la organización no cuenta con mecanismos sistematizados de inspección y seguimiento para evaluar periódicamente las condiciones de operación de los equipos. Durante el diagnóstico se observó la ausencia de formatos de inspección, listas de verificación o registros de monitoreo que permitan detectar oportunamente anomalías, desgaste o desviaciones en el funcionamiento de los sistemas.

Esta situación propicia que las fallas evolucionen de manera progresiva sin ser identificadas en etapas tempranas, favoreciendo el deterioro continuo de componentes críticos y aumentando la probabilidad de paros no programados. De manera particular, se observó que gran parte de las intervenciones realizadas responden a un enfoque correctivo, donde las acciones de mantenimiento se ejecutan únicamente después de la ocurrencia de la falla.

De igual forma, el análisis de criticidad permitió identificar que los sistemas hidráulicos y de transmisión concentran los niveles más elevados de riesgo, debido a la combinación de alta recurrencia, impacto operativo significativo y limitada capacidad de detección temprana. Esta situación pone de manifiesto la necesidad de fortalecer las prácticas de mantenimiento existentes y establecer mecanismos de control que permitan reducir la probabilidad de falla y mejorar la confiabilidad de los equipos.

De manera general, los resultados del AMEF permiten concluir que las fallas presentes en los equipos no responden únicamente al deterioro natural derivado de la operación, sino también a la falta de una estrategia de mantenimiento orientada a la prevención, al monitoreo de condiciones operativas y al seguimiento sistemático del comportamiento de los equipos.

En este sentido, la información obtenida constituye una base técnica fundamental para el desarrollo de la siguiente fase del estudio, enfocada en el

diseño de un programa de mantenimiento preventivo basado en el análisis de fallas, orientado a establecer actividades, frecuencias, formatos de inspección y lineamientos de intervención que contribuyan a mejorar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos críticos de producción.

4.4 Resultado de la Fase 4: Análisis e interpretación de la información

Con base en los resultados obtenidos durante el diagnóstico, el análisis de causa raíz y la evaluación de criticidad de fallas, se procedió al diseño de un programa de mantenimiento preventivo orientado a mejorar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos críticos de producción.

La finalidad de esta fase consiste en establecer una estrategia de intervención estructurada que permita reducir la recurrencia de fallas identificadas en los equipos analizados, mediante la definición de actividades preventivas, frecuencias de intervención, responsables y mecanismos de seguimiento.

El desarrollo de esta propuesta parte de la necesidad de transformar el enfoque correctivo actualmente presente en la organización, incorporando prácticas preventivas que permitan anticipar posibles fallas y controlar de manera más eficiente las condiciones de operación de los equipos.

Asimismo, se considera la implementación de formatos de inspección y registros de mantenimiento como herramientas de apoyo para fortalecer el seguimiento técnico de los equipos y facilitar la detección oportuna de anomalías durante la operación.

De esta manera, el programa de mantenimiento preventivo propuesto busca no solo disminuir la ocurrencia de fallas, sino también contribuir a la estandarización de las actividades de mantenimiento y al fortalecimiento de la gestión operativa dentro del área productiva

Formatos de apoyo para inspección y seguimiento

Como parte de las herramientas propuestas para fortalecer el seguimiento de las condiciones operativas del equipo Giros REDROCK, se desarrolló un formato de

inspección predictiva orientado al monitoreo de variables asociadas al comportamiento mecánico e hidráulico del sistema.

El diseño de este formato, mostrado en la Figura 11, tiene como finalidad facilitar el registro periódico de parámetros relacionados con vibraciones, aceleración, velocidad y condiciones del aceite hidráulico, permitiendo documentar información relevante para la detección temprana de anomalías en componentes críticos del equipo. Asimismo, el formato incorpora espacios para observaciones técnicas y criterios básicos de evaluación que contribuyen al seguimiento preventivo del estado operativo del sistema.

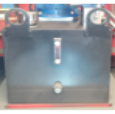
GREENBRIER Sahagún		PREDICTIVO		MANTENIMIENTO GREENBRIER Sahagún																									
Predictivo Giro Red Rock																													
Equipo					Realizó																								
Nombre	Giro Red Rock				Revisó																								
Ubicación																													
Fecha del reporte																													
Análisis de vibraciones																													
Elemento	Fecha	Punto	Posición	Aceleración mm/s ²	Velocidad mm/s	Distancia mm																							
Motor Principal		1	Horizontal																										
			Vertical																										
			Axial																										
		2	Horizontal																										
			Vertical																										
			Axial																										
Análisis de vibraciones																													
Elemento	Fecha	Punto	Posición	Aceleración mm/s ²	Velocidad mm/s	Distancia mm																							
Motor de bomba de aceite		1	Horizontal																										
			Vertical																										
			Axial																										
		2	Horizontal																										
			Vertical																										
			Axial																										
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Giro RedRock</th> <th colspan="3">Parámetros para vibraciones</th> <th rowspan="2">Comentarios</th> </tr> <tr> <th>Medición</th> <th>Limit aceptable</th> <th>Limit Precaución</th> <th>Limit Emergencia</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Aceleración</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Velocidad</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Distancia</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>						Giro RedRock	Parámetros para vibraciones			Comentarios	Medición	Limit aceptable	Limit Precaución	Limit Emergencia	Aceleración					Velocidad					Distancia				
Giro RedRock	Parámetros para vibraciones			Comentarios																									
Medición	Limit aceptable	Limit Precaución	Limit Emergencia																										
Aceleración																													
Velocidad																													
Distancia																													
Análisis de aceite																													
Elemento	Fecha																												
Deposito de aceite																													
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Giro RedRock</th> <th rowspan="2">Comentarios</th> </tr> <tr> <th>Resultado</th> <th>Parámetro para análisis de aceite</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Verde</td> <td>Aceite en buen estado</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Amarillo</td> <td>A tiempo para remplazar</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Rojo</td> <td>Remplazar (aceite muy desgastado)</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>						Giro RedRock		Comentarios	Resultado	Parámetro para análisis de aceite	Verde	Aceite en buen estado		Amarillo	A tiempo para remplazar		Rojo	Remplazar (aceite muy desgastado)											
Giro RedRock		Comentarios																											
Resultado	Parámetro para análisis de aceite																												
Verde	Aceite en buen estado																												
Amarillo	A tiempo para remplazar																												
Rojo	Remplazar (aceite muy desgastado)																												

Figura 11. Formato de inspección predictiva para el equipo Giros REDROCK.

El formato presentado permite estructurar el registro sistemático de variables operativas relacionadas con el desempeño mecánico del equipo Giros REDROCK, particularmente en componentes asociados al sistema de transmisión y al sistema hidráulico.

La incorporación de parámetros de vibración y análisis de aceite proporciona una herramienta básica de monitoreo orientada a identificar comportamientos anormales, desgaste progresivo o condiciones de operación que puedan favorecer la aparición de fallas críticas.

De igual forma, la utilización de este tipo de formatos contribuye a fortalecer las actividades de inspección preventiva dentro del área de mantenimiento, permitiendo generar registros técnicos que faciliten el seguimiento histórico de las condiciones operativas del equipo y apoyen la toma de decisiones relacionadas con futuras intervenciones de mantenimiento.

Para el caso de la Remachadora Parker, se desarrolló un formato de inspección predictiva orientado al monitoreo de variables operativas relacionadas con el comportamiento mecánico e hidráulico del equipo.

El diseño de este formato, mostrado en la Figura 12, permite registrar información asociada a ciclos de trabajo, análisis de vibraciones y condiciones del aceite hidráulico, facilitando el seguimiento técnico de parámetros que influyen directamente en la estabilidad operativa del sistema.

Asimismo, la incorporación de límites de referencia para variables como aceleración, velocidad y distancia permite establecer criterios básicos de evaluación orientados a la detección oportuna de condiciones anormales durante la operación del equipo.



PREDICTIVO



Predictivo Remachadora Parker

Equipo		Realizo reporte	
Nombre	Remachadora Parker	Reviso reporte	
Ubicación			
Fecha del reporte			

Ciclos de trabajo

Fecha	Ciclos

Análisis de Vibraciones

Fecha	Punto	Posición	celeración mm/s ²	velocidad mm/s	Distancia mm
	1	Horizontal			
		Vertical			
		Axial			
	2	Horizontal			
		Vertical			
		Axial			

Remachadora Parker	Parámetro			Comentarios
Medición	Limit aceptab	Limit Precaución	Limit Emergencia	
Aceleración	30	-	55	
Velocidad	30	-	55	
Distancia	30	-	55	

Análisis de aceite

Elemento	Fecha	Instrumento de medición
Deposito de aceite		

Giro RedRock		Comentarios
Resultado	Parámetro para analisis de aceite	
Verde	Aceite en buen estado	
Amarillo	A tiempo para remplazar	
Rojo	Remplazar (aceite muy	

Figura 12. Formato de inspección predictiva para la Remachadora Parker.

El formato presentado fue estructurado con el propósito de facilitar el monitoreo periódico de las condiciones operativas de la Remachadora Parker, particularmente en los componentes asociados al sistema hidráulico y elementos de transmisión de vibraciones durante el proceso de operación.

La integración de registros relacionados con ciclos de trabajo, parámetros vibracionales y análisis visual del estado del aceite permite generar información técnica útil para el seguimiento preventivo del comportamiento del equipo y la identificación temprana de posibles anomalías operativas.

De igual forma, el uso de este tipo de herramientas favorece la generación de registros históricos de mantenimiento, contribuyendo al fortalecimiento de las actividades de inspección y control dentro del área de mantenimiento, así como a la toma de decisiones orientadas a reducir la recurrencia de fallas y mejorar la disponibilidad operativa del equipo.

Rutina de mantenimiento preventivo propuesta

Con el propósito de establecer una planificación organizada para las actividades de mantenimiento propuestas, se elaboró un programa general orientado a calendarizar las intervenciones preventivas correspondientes a los equipos críticos analizados durante el desarrollo del estudio.

La elaboración de esta programación permitió distribuir las actividades de inspección, revisión y seguimiento técnico de acuerdo con la periodicidad definida para cada equipo, considerando factores como el nivel de criticidad, comportamiento operativo y recurrencia de fallas detectadas durante el diagnóstico.

De igual manera, el programa incorpora un sistema visual de control que facilita la identificación de actividades calendarizadas, ejecutadas y pendientes, permitiendo mantener un mejor control administrativo y operativo sobre las rutinas de mantenimiento.

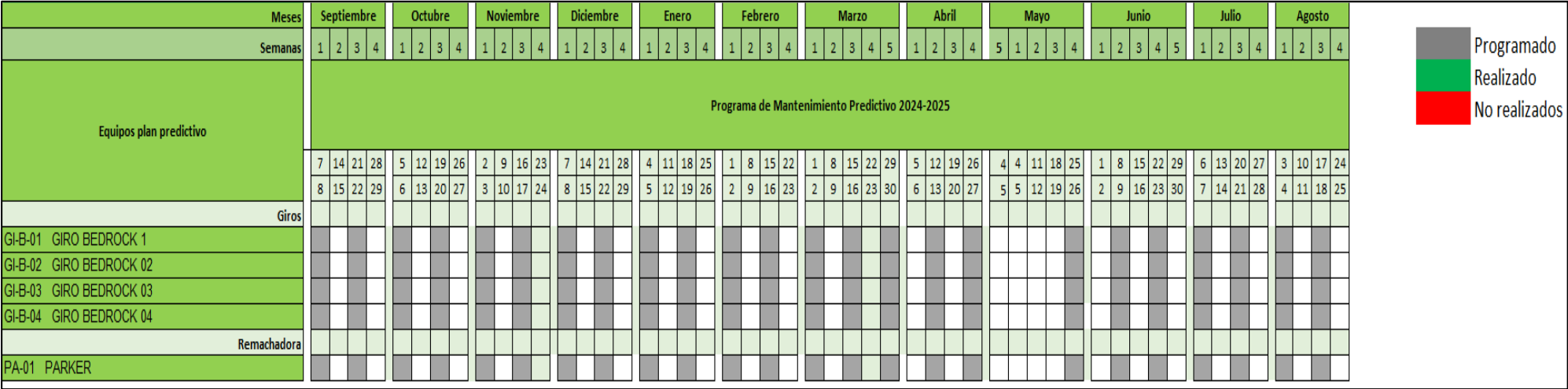


Figura 13. Rutina de mantenimiento preventivo propuesta

El cronograma presentado corresponde a una propuesta de programación preventiva desarrollada a partir de las condiciones operativas observadas durante el diagnóstico, los modos de falla identificados y los niveles de criticidad determinados para los equipos analizados.

La distribución de actividades fue planteada con la finalidad de establecer una referencia inicial para la organización de intervenciones preventivas dentro del área de mantenimiento, considerando frecuencias de revisión acordes con el comportamiento operativo y las necesidades detectadas durante el estudio.

Cabe señalar que la programación propuesta no representa un esquema definitivo de intervención, sino una herramienta de apoyo susceptible de ajustes y adecuaciones por parte del personal técnico y del área de mantenimiento de la organización, en función de factores como carga operativa, disponibilidad de recursos, tiempos de producción y condiciones reales de funcionamiento de los equipos.

En este sentido, la propuesta desarrollada busca proporcionar una base estructurada que facilite la planificación de actividades preventivas, contribuya al seguimiento de las intervenciones programadas y sirva como referencia para fortalecer la gestión del mantenimiento dentro del entorno productivo.

Asimismo, la incorporación de un esquema visual de control permite mejorar la supervisión del cumplimiento de actividades y favorecer una administración más organizada de las rutinas de mantenimiento, apoyando la reducción de fallas asociadas a la ausencia de seguimiento periódico sobre los equipos críticos.

Formatos propuestos para el control y seguimiento de mantenimiento

Derivado de los hallazgos obtenidos durante el diagnóstico inicial y el análisis de fallas realizado en los equipos críticos, se identificó que la organización no cuenta con registros históricos estructurados, bases de datos de mantenimiento, formatos de seguimiento ni mecanismos documentales que permitan conservar evidencia técnica relacionada con fallas, intervenciones o condiciones de operación de los equipos.

Durante la evaluación efectuada en campo, se observó que gran parte de las actividades de mantenimiento realizadas dentro del área operativa se ejecutan sin la generación de registros técnicos formales, dificultando el seguimiento histórico de fallas, la identificación de comportamientos recurrentes y el análisis de antecedentes relacionados con el desempeño de los equipos.

En este sentido, y con la finalidad de fortalecer el control documental de las actividades de mantenimiento, se desarrollaron una serie de formatos propuestos orientados al registro y seguimiento de incidencias, intervenciones técnicas y condiciones operativas de los equipos críticos analizados.

La propuesta de estas herramientas busca establecer una base inicial de documentación técnica que facilite el control de actividades preventivas, la recopilación de información operativa y la generación de antecedentes que puedan servir como apoyo para futuras actividades de análisis, inspección y toma de decisiones dentro del área de mantenimiento.

Cabe señalar que los formatos desarrollados corresponden a una propuesta de apoyo documental elaborada con base en las necesidades identificadas durante el estudio, por lo que su estructura y contenido pueden ser modificados, adaptados o complementados por el área de mantenimiento de la organización en función de sus requerimientos operativos, disponibilidad de recursos y criterios internos de control.

El formato de registro de fallas, mostrado en la Figura 14 fue diseñado con el propósito de documentar eventos relacionados con paros operativos, tiempos de arranque y posibles causas asociadas a las fallas presentadas en los equipos críticos de producción.

		REGISTRO DE FALLAS				
EQUIPO	MODELO	PARADA		ARRANQUE		CAUSA POTENCIAL
		FECHA	HORA	FECHA	HORA	

Figura 14. Formato propuesto para el registro de fallas en equipos críticos.

La estructura propuesta permite generar un control básico de incidencias operativas mediante el registro cronológico de eventos relacionados con fallas y detenciones de equipo, facilitando la identificación de patrones recurrentes y la recopilación de información útil para futuras actividades de análisis y seguimiento técnico.

Asimismo, la implementación de este tipo de herramientas puede contribuir al desarrollo gradual de antecedentes históricos de mantenimiento, favoreciendo una gestión más estructurada de la información operativa y permitiendo contar con referencias técnicas para la programación de futuras intervenciones preventivas.

De manera complementaria al registro de fallas, se consideró necesario desarrollar una herramienta orientada al seguimiento de las actividades de intervención realizadas sobre los equipos críticos, debido a que durante el diagnóstico también se identificó la ausencia de formatos que permitieran documentar de manera estructurada las revisiones, reparaciones y acciones ejecutadas por el área de mantenimiento.

En este sentido, además de registrar la ocurrencia de fallas, resulta indispensable contar con mecanismos documentales que permitan dar seguimiento a las actividades técnicas efectuadas sobre los equipos, así como conservar evidencia relacionada con componentes inspeccionados, tiempos de intervención y observaciones operativas derivadas de las revisiones realizadas.

Como respuesta a esta necesidad, se desarrolló el formato propuesto para el control de daños e intervenciones de mantenimiento, mostrado en la Figura 15.



				FORMATO DE CONTROL DE DAÑOS DE LA MAQUINARIA					
MAQUINARIA:				CÓDIGO:		UBICACIÓN:			
MARCA:				MODELO:					
HORA:						TRABAJO REALIZADO	OBSERVACIONES O ESPECIFICACIONES	RESPONSABLE	FIRMA
FECHA	GRUPO	PARTE REVISADA	INCIO	FIN					

Figura 15. Formato propuesto para el control de daños e intervenciones de mantenimiento.

El formato presentado fue diseñado con la finalidad de fortalecer el control documental de las actividades de mantenimiento realizadas sobre los equipos críticos de producción, permitiendo registrar de manera estructurada información relacionada con inspecciones, revisiones técnicas, componentes intervenidos y observaciones operativas detectadas durante las actividades de mantenimiento.

La estructura propuesta facilita el seguimiento de las intervenciones efectuadas por el personal técnico, permitiendo conservar evidencia de las actividades ejecutadas, tiempos de atención y responsables involucrados en cada intervención realizada sobre los equipos.

Asimismo, la implementación de este tipo de herramientas puede contribuir a mejorar la trazabilidad de las actividades de mantenimiento dentro de la organización, favoreciendo la generación progresiva de antecedentes técnicos que apoyen futuras actividades de análisis, planeación y seguimiento operativo.

4.5 Resultado de la Fase 5: Definición de indicadores de desempeño

Como parte de la propuesta técnica de mantenimiento preventivo, se definieron indicadores de desempeño orientados al seguimiento futuro del comportamiento de los equipos críticos y de las actividades de mantenimiento. La selección de estos indicadores se realizó considerando su amplia utilización en la gestión del mantenimiento industrial y su capacidad para proporcionar información relevante para la toma de decisiones.

Los indicadores propuestos son el Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF), el Tiempo Medio de Reparación (MTTR) y la Disponibilidad Operativa. Estos indicadores permitirán, en una etapa posterior, evaluar la frecuencia de ocurrencia de fallas, la eficiencia de las intervenciones de mantenimiento y el nivel de disponibilidad de los equipos.

Tiempo medio entre fallas (MTBF)

El indicador MTBF (Mean Time Between Failures) o Tiempo Medio Entre Fallas permite evaluar la confiabilidad operativa de los equipos mediante el análisis del tiempo promedio de funcionamiento transcurrido entre una falla y otra.

El seguimiento de este indicador permitiría identificar tendencias relacionadas con la recurrencia de fallas y evaluar el comportamiento operativo de los equipos críticos conforme se desarrollen las actividades preventivas propuestas.

Tiempo medio de reparación (MTTR)

El indicador MTTR (Mean Time To Repair) o Tiempo Medio de Reparación permite determinar el tiempo promedio requerido para restablecer las condiciones operativas de un equipo después de la ocurrencia de una falla.

La aplicación de este indicador facilitará el análisis de la eficiencia de las actividades de mantenimiento y permitiría identificar oportunidades de mejora relacionadas con los tiempos de intervención y atención de fallas.

Disponibilidad operativa

La disponibilidad operativa representa el porcentaje de tiempo en que un equipo permanece en condiciones adecuadas para operar respecto al tiempo total programado de funcionamiento.

El seguimiento de este indicador permitiría evaluar el impacto de las fallas y actividades de mantenimiento sobre la continuidad operativa de los equipos críticos analizados.

Propuesta de seguimiento de indicadores de mantenimiento

Con la finalidad de fortalecer el control y seguimiento del desempeño operativo de los equipos, se desarrolló una propuesta básica para la recopilación y monitoreo de información relacionada con los indicadores de mantenimiento definidos durante el estudio.

La propuesta considera como fuente principal de información los formatos de registro y control desarrollados en las etapas previas de la investigación, permitiendo establecer una relación directa entre las actividades de mantenimiento propuestas y los mecanismos de seguimiento operativo.

Tabla 12. Propuesta de seguimiento de indicadores de mantenimiento.

La propuesta de seguimiento presentada busca establecer una base inicial

Indicador	Información requerida	Fuente de información propuesta	Finalidad del indicador
MTBF	Horas de operación y número de fallas registradas	Formato de registro de fallas y bitácora de mantenimiento	Evaluar la frecuencia de fallas y comportamiento operativo del equipo
MTTR	Tiempo total de intervención y número de reparaciones	Formato de control de daños e intervenciones	Evaluar la eficiencia de las actividades de mantenimiento
Disponibilidad operativa	Tiempo operativo y tiempo fuera de servicio	Registros operativos y bitácoras de mantenimiento	Determinar la continuidad operativa de los equipos

para el monitoreo del desempeño operativo de los equipos críticos, tomando como apoyo los formatos y registros de mantenimiento desarrollados durante la presente investigación.

La incorporación de indicadores de mantenimiento permitiría fortalecer el control técnico sobre el comportamiento de los equipos, facilitando la identificación de tendencias relacionadas con frecuencia de fallas, tiempos de intervención y continuidad operativa.

Asimismo, el uso sistemático de registros técnicos y formatos de seguimiento podría contribuir a la generación progresiva de información histórica dentro del área de mantenimiento, favoreciendo futuras actividades de análisis, planeación y toma de decisiones relacionadas con la gestión de mantenimiento.

Cabe señalar que la propuesta desarrollada representa una base inicial de seguimiento operativo susceptible de ser ajustada o ampliada por el área de mantenimiento de la organización en función de sus necesidades operativas, disponibilidad de información y criterios internos de control.

Capítulo V. Discusión

El desarrollo de la presente investigación permitió identificar que la problemática existente dentro del área de mantenimiento no se relaciona exclusivamente con la ocurrencia de fallas en los equipos críticos, sino principalmente con la ausencia de una estructura formal para la gestión del mantenimiento preventivo. Durante el diagnóstico se observó que las actividades de mantenimiento se ejecutaban predominantemente bajo un enfoque correctivo, situación que coincide con lo señalado por Duffuaa, Raouf y Dixon Campbell (1999), quienes establecen que la falta de planificación y control dificulta la administración eficiente de los activos industriales.

Asimismo, se identificó la inexistencia de registros históricos sistematizados, formatos de seguimiento e indicadores de desempeño que permitieran documentar el comportamiento operativo de los equipos y apoyar la toma de decisiones basada en información técnica. Esta situación coincide con lo reportado por Pérez y Rodríguez (2020), quienes señalan que una de las principales limitaciones en la gestión del mantenimiento industrial es la falta de información estructurada para el análisis y seguimiento de fallas.

El análisis realizado mediante herramientas como el diagrama de Ishikawa y el Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF) permitió identificar que las principales problemáticas se concentraban en componentes hidráulicos y sistemas de transmisión mecánica, asociados principalmente a fugas, pérdida de presión, desgaste de componentes y condiciones de operación continuas. Estos hallazgos son consistentes con los planteamientos de Stamatis (2003), quien señala que el AMEF constituye una herramienta eficaz para identificar modos de falla, analizar sus causas y establecer prioridades de atención con base en criterios de criticidad.

De igual manera, el análisis evidenció que una proporción importante de las fallas identificadas correspondía a procesos de deterioro progresivo y no necesariamente a eventos repentinos o impredecibles. Esta situación refuerza la importancia de incorporar mecanismos sistemáticos de inspección, monitoreo y seguimiento dentro de la gestión del mantenimiento, tal como lo plantean Jardine y

Tsang (2013) al destacar la relevancia del análisis técnico de fallas para la planificación de actividades preventivas.

A partir de los resultados obtenidos, se formuló una propuesta técnica de programa de mantenimiento preventivo integrada por rutinas de inspección, cronogramas de intervención, formatos de seguimiento e indicadores de desempeño. La estructura de esta propuesta se diseñó considerando las condiciones reales de operación observadas en los equipos críticos seleccionados y los modos de falla identificados durante el estudio. En este sentido, la propuesta guarda correspondencia con los planteamientos de García Garrido (2003), quien señala que un programa de mantenimiento debe sustentarse en información técnica derivada del comportamiento real de los equipos y no únicamente en actividades genéricas o experiencias empíricas.

Asimismo, la incorporación de indicadores como MTBF, MTTR y disponibilidad operativa responde a la necesidad de establecer mecanismos que permitan, en una etapa posterior, dar seguimiento al comportamiento de los equipos y generar información útil para la toma de decisiones. De acuerdo con Wireman (2005), estos indicadores constituyen herramientas fundamentales para evaluar el desempeño de los sistemas de mantenimiento cuando se dispone de información sistematizada y registros consistentes.

Es importante señalar que el alcance de la presente investigación se limitó al diagnóstico, análisis de fallas y formulación de una propuesta técnica de mantenimiento preventivo, sin contemplar su implementación dentro del periodo de prácticas profesionales. Por tal motivo, los resultados obtenidos no permiten establecer relaciones causales ni demostrar mejoras en la disponibilidad, confiabilidad o desempeño operativo de los equipos.

En consecuencia, la principal contribución del estudio radica en la estructuración de una propuesta técnica fundamentada en el análisis de fallas y en la aplicación de herramientas propias de la ingeniería de mantenimiento. Esta propuesta constituye una base metodológica que podrá ser utilizada por la empresa para futuras acciones de implementación, seguimiento y evaluación de su sistema de mantenimiento preventivo.

Conclusiones

La presente investigación permitió diagnosticar las condiciones actuales de la gestión del mantenimiento en los equipos críticos de producción de la empresa Gunderson Concarril R.L. de C.V., identificando que una de las principales problemáticas se relaciona con la ausencia de un programa estructurado de mantenimiento preventivo, la falta de registros sistemáticos y el predominio de actividades correctivas para la atención de fallas.

A partir del análisis realizado, fue posible identificar modos de falla recurrentes asociados principalmente a sistemas hidráulicos, componentes de transmisión mecánica y elementos sometidos a condiciones continuas de desgaste operativo. Entre las principales afectaciones detectadas se encontraron fugas de aceite, pérdida de presión, desgaste de componentes y sobrecalentamiento, las cuales fueron analizadas considerando sus causas, efectos y nivel de criticidad.

La aplicación de herramientas como el diagrama de Ishikawa y el Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF) permitió estructurar técnicamente la identificación y evaluación de los modos de falla presentes en los equipos analizados. Asimismo, estas herramientas facilitaron la priorización de fallas y proporcionaron información para sustentar técnicamente las acciones consideradas dentro de la propuesta desarrollada.

Durante el estudio también se identificó la inexistencia de formatos estandarizados para el registro de intervenciones, seguimiento de fallas y documentación de actividades de mantenimiento, situación que limita la generación de información histórica y dificulta el análisis sistemático del comportamiento operativo de los equipos.

Como resultado de la investigación, se diseñó una propuesta técnica de programa de mantenimiento preventivo integrada por rutinas de inspección, cronogramas de intervención, formatos de seguimiento, registros de fallas, formatos de control e indicadores de desempeño. La estructura de la propuesta fue

desarrollada con base en la información obtenida durante el diagnóstico y en los resultados del análisis de fallas realizado sobre los equipos críticos seleccionados.

De esta manera, se cumple el objetivo general de la investigación al formular una propuesta técnica de mantenimiento preventivo basada en el análisis de fallas para equipos críticos de producción. La propuesta constituye una herramienta estructurada que puede servir como referencia para futuras acciones de gestión del mantenimiento dentro de la organización.

Finalmente, es importante señalar que el alcance del estudio se limitó al diagnóstico, análisis de fallas y formulación de la propuesta técnica durante el periodo de prácticas profesionales, por lo que no se contempló la implementación del programa ni la evaluación de sus resultados en condiciones reales de operación. En consecuencia, la validación de sus efectos sobre indicadores como disponibilidad, confiabilidad o frecuencia de fallas queda como una línea de trabajo futura para la empresa.



Recomendaciones

Derivado de los resultados obtenidos y considerando que el alcance del presente estudio se limitó al diagnóstico, análisis de fallas y formulación de una propuesta técnica de mantenimiento preventivo, se recomienda a la empresa considerar las siguientes acciones para fortalecer la gestión del mantenimiento de los equipos críticos:

- Implementar de manera gradual el programa de mantenimiento preventivo propuesto, iniciando con una prueba piloto en los equipos críticos analizados durante la investigación, con el fin de evaluar su factibilidad operativa y realizar los ajustes necesarios antes de una aplicación a mayor escala.
- Establecer mecanismos sistemáticos para el registro y documentación de fallas, intervenciones de mantenimiento, tiempos de reparación y condiciones operativas de los equipos, con el propósito de generar información histórica que facilite futuros análisis y la toma de decisiones basada en datos.
- Utilizar los indicadores de desempeño propuestos, tales como MTBF, MTTR y disponibilidad operativa, para monitorear el comportamiento de los equipos y evaluar el desempeño del sistema de mantenimiento una vez que el programa sea implementado.
- Capacitar al personal operativo y de mantenimiento en temas relacionados con mantenimiento preventivo, análisis de fallas, identificación de condiciones anormales y uso adecuado de los formatos de seguimiento, con el fin de fortalecer la cultura de mantenimiento dentro de la organización.
- Actualizar periódicamente el Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF), incorporando la información generada a partir de nuevas fallas, modificaciones en los equipos o cambios en las condiciones de operación, asegurando que las acciones preventivas permanezcan alineadas con la realidad operativa.
- Extender la aplicación de la metodología desarrollada a otros equipos y áreas de producción, con el propósito de establecer criterios homogéneos para la gestión del mantenimiento dentro de la organización.
- Desarrollar investigaciones futuras orientadas a la implementación y evaluación del programa de mantenimiento preventivo, con el fin de analizar su efecto sobre

indicadores como disponibilidad operativa, confiabilidad, frecuencia de fallas y tiempos de reparación.



Referencias

- Ahmad, R., & Kamaruddin, S. (2012). An overview of time-based and condition-based maintenance in industrial application. *Computers & Industrial Engineering*, 63(1), 135–149. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2011.02.002>
- Campos Landeo, J. A. (2024). *Implementación de un plan de mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad de equipos en una empresa industrial* [Tesis de licenciatura, Universidad]. Repositorio institucional.
- Carnero, M. C. (2012). Selection of diagnostic techniques and instrumentation in a predictive maintenance program. A case study. *Decision Support Systems*, 53(1), 115–124. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2012.01.003>
- Cherres Fajardo, D. A., & Ñauta Chuisaca, J. J. (2015). *Estudio de implementación del sistema de mantenimiento predictivo en la Compañía Ecuatoriana del Caucho ERCO* [Tesis de licenciatura, Universidad Politécnica Salesiana].
- Díaz-Concepción, A., Muñoz-González, E., Alfonso-Álvarez, A., González-González, A., López-Martínez, I., & Rodríguez-Soto, Á. A. (2021). Análisis de la confiabilidad de procesos en una empresa biofarmacéutica. *Ingeniería Mecánica*, 24(2), 12–18. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59442021000200012
- Duffuaa, S. O., Raouf, A., & Dixon Campbell, J. (1999). *Systems approach to maintenance management*. John Wiley & Sons.
- García Garrido, S. (2003). *Organización y gestión integral del mantenimiento*. Ediciones Díaz de Santos.
- García, J. L. (2019). *Propuesta de un plan de mantenimiento preventivo basado en análisis de fallas para equipos industriales* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Ingeniería].
- García, J., López, M., & Hernández, R. (2022). Evaluación del impacto del mantenimiento en la productividad de empresas metalmecánicas. *Revista Ingeniería Industrial*, 43(2), 85–98.
- González, F. (2005). *Mantenimiento industrial avanzado*. FC Editorial.
- Gutiérrez Pulido, H., & De la Vara Salazar, R. (2013). Análisis de modo y efecto de fallas (AMEF). En *Control estadístico de la calidad y Seis Sigma* (3.ª ed.). McGraw-Hill.
- Herón Bautista, J. L. (2021). *Diseño de un programa de mantenimiento preventivo basado en análisis de fallas en equipos industriales*.

- IBM. (2024). *What is mean time between failure (MTBF)?* <https://www.ibm.com/topics/mtbf>
- Jardine, A. K. S., & Tsang, A. H. C. (2013). *Maintenance, replacement, and reliability: Theory and applications* (2nd ed.). CRC Press.
- Jardine, A. K. S., Lin, D., & Banjevic, D. (2006). A review on machinery diagnostics and prognostics implementing condition-based maintenance. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 20(7), 1483–1510. <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2005.09.012>
- Leyva Jenns. (2020). *Propuesta de mejora del mantenimiento predictivo por análisis vibracional para aumentar la disponibilidad de los equipos críticos del área de lavaderos de una empresa azucarera* [Tesis de licenciatura].
- Liu, H. C., Liu, L., & Liu, N. (2013). Risk evaluation approaches in failure mode and effects analysis: A literature review. *Expert Systems with Applications*, 40(2), 828–838. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.08.010>
- López, A., Ramírez, D., & Torres, F. (2022). Mantenimiento predictivo basado en machine learning: Una revisión sistemática. *Revista de Ingeniería Industrial*, 15(1), 78–95.
- Martínez, P. (2021). Limitaciones en la implementación del mantenimiento predictivo en pymes industriales. *Revista ANFEI Digital*, 8(14), 1–12.
- Mena Arias, L. D., & Arias Calderón, D. A. (2020). *Desarrollo de un plan de gestión del mantenimiento para los equipos del laboratorio de máquinas herramientas, soldadura y fundición de la Universidad Politécnica Salesiana* [Tesis de licenciatura, Universidad Politécnica Salesiana].
- Mobley, R. K. (2002). *An introduction to predictive maintenance* (2nd ed.). Butterworth-Heinemann.
- Mobley, R. K. (2020). *Maintenance fundamentals* (3rd ed.). Elsevier.
- Moubray, J. (1997). *Reliability-centered maintenance* (2nd ed.). Industrial Press.
- Nakajima, S. (1988). *Introduction to TPM: Total productive maintenance*. Productivity Press.
- Olarte C., W., Botero A., M., & Cañón A., B. (2010). Importancia del mantenimiento industrial dentro de los procesos de producción. *Scientia et Technica*, 16(44), 354–356. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84917316066>

- Pérez, J., & Rodríguez, L. (2020). Gestión del mantenimiento en empresas metalmeccánicas con información limitada. *Ingeniería Libre*, 16(2), 120–135.
- Polus, J. (2026). *MTBF and MTTR explained: Key reliability metrics for facility managers*. Oxmaint. <https://oxmaint.com>
- Reyes Romero, H. O. (2008). *Análisis de modos y efectos de fallas potenciales (AMEF) para la mejora de la calidad en organizaciones de servicio* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México].
- Rivera Estay, J. L. (2015). *Modelo de toma de decisiones de mantenimiento para evaluar impactos en disponibilidad, mantenibilidad, confiabilidad y costos* [Tesis de maestría, Universidad de Chile]. Repositorio Académico Universidad de Chile.
- Salazar, R. (2021). Gestión del mantenimiento en pequeñas y medianas empresas industriales. *Revista Latinoamericana de Ingeniería*, 15(1), 45–60.
- Smith, R., & Hawkins, B. (2004). *Lean maintenance: Reduce costs, improve quality, and increase market share*. Butterworth-Heinemann.
- Stamatis, D. H. (2003). *Failure mode and effect analysis: FMEA from theory to execution* (2nd ed.). ASQ Quality Press.
- Stamatis, D. H. (2019). *Failure mode and effect analysis: FMEA from theory to execution* (3rd ed.). ASQ Quality Press.
- Talonia Francisco, J. C. (2007). *Mantenimiento preventivo y mantenimiento correctivo de equipos críticos para Albany International* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán].
- Tovar Porras, E. (2021). *Tipos de mantenimiento industrial*. Escuela Profesional de Metalmeccánica.
- Wireman, T. (2005). *Developing performance indicators for managing maintenance* (2nd ed.). Industrial Press.
- Wireman, T. (2010). *Total productive maintenance* (2nd ed.). Industrial Press.
- Wireman, T. (2019). *Total productive maintenance*. Industrial Press.
- Zonta, T., Da Costa, C. A., Da Rosa Righi, R., De Lima, M. J., Da Trindade, E. S., & Li, G. P. (2020). Predictive maintenance in Industry 4.0: A systematic literature review. *Computers & Industrial Engineering*, 150, Article 106889.