

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

1

Análisis causa raíz de falla de camión grúa de brazo articulado

Jorge Andrés Leiva Morantes

Sergio Hernán Rojas Jiménez

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

Especialista en Gestión del Mantenimiento Industrial

Asesores

Daniel Sanín Villa

María Isabel Ardila Marín

Instituto Tecnológico Metropolitano - ITM

Facultad de Ingenierías

Departamento Mecatrónica y Electromecánica

Medellín, Colombia

2024

1

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

2

1.	<i>INTRODUCCIÓN</i>	3
1.1.	Objetivo General.....	5
1.2.	Objetivos Específicos	5
2.	<i>MARCO TEÓRICO</i>	6
3.	<i>ESTADO DEL ARTE</i>	9
4.	<i>METODOLOGÍA PROPUESTA</i>	21
5.	<i>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</i>	23
5.1.	Métodos de Análisis Causa-Raíz	23
5.1.1.	Análisis de los 5 Porques.....	23
5.2.	Selección de Método a Aplicar	49
5.3.	Fallas en los Cilindros Hidráulicos del Brazo Articulado de Camión Grúa y Aplicación de Método de Ishikawa para la Identificación de sus Causa Raíz.....	52
5.4	Estrategias de mejoramiento al programa de mantenimiento.	64
6.	<i>CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO</i>	67
6.1.	Conclusión general	67
6.2.	Fortalezas, limitaciones y restricciones	67
6.3.	Conclusiones generales	68
6.4.	Recomendaciones.....	69

2

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

3

6.5. Trabajo futuro..... 69

7. *REFERENCIAS*..... 70

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

RESUMEN

Este trabajo tiene como objetivo realizar un análisis causa raíz de las fallas recurrentes en los cilindros hidráulicos de un camión grúa en la empresa Global Tech, equipo fundamental en sus operaciones. Inicialmente, se estudiaron diversos métodos de análisis de causa raíz, tales como el análisis de Pareto, los cinco porqués y el árbol de fallas, considerando la naturaleza multifactorial de la problemática. Sin embargo, el método que se seleccionó fue el diagrama de Ishikawa o espina de pescado, dada su capacidad para organizar las causas en categorías clave como materiales, maquinaria, personal y medio ambiente, permitiendo así una estructuración visual clara de los factores implicados en la falla y facilitando el análisis colaborativo.

La metodología se desarrolló con una recolección detallada de datos históricos de mantenimiento, entrevistas al equipo técnico y la elaboración del diagrama de Ishikawa, complementado por los otros métodos, para desglosar y priorizar las causas. Cada posible causa se evaluó con criterios de impacto, viabilidad de implementación y costos asociados, permitiendo jerarquizar soluciones efectivas para abordar la falla.

Los resultados indicaron que las causas principales eran la baja calidad de los racores, la falta de personal calificado y las condiciones ambientales extremas que afectan al equipo. A partir de estos hallazgos, se recomendó fortalecer el plan de mantenimiento preventivo, mejorar la capacitación del personal y emplear materiales de mejor calidad. Estas acciones buscan minimizar las fallas y optimizar la confiabilidad del camión grúa en operaciones

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

2

RECONOCIMIENTOS

Queremos expresar nuestro más profundo y sincero agradecimiento, en primer lugar, a Dios, por su guía y fortaleza incondicional en cada paso de este camino. A nuestros padres, cuyo amor y sacrificio han sido el pilar fundamental de nuestras vidas; a nuestros hermanos, por su constante apoyo y cariño; a nuestros hijos, quienes han sido nuestra mayor fuente de inspiración y motivación diaria; y a nuestras esposas, por su paciencia, comprensión y amor inquebrantable. A nuestros amigos, cuyo aliento y compañía nos han sostenido en los momentos más difíciles, les extendemos nuestra más sincera gratitud. Finalmente, queremos hacer un especial reconocimiento al personal docente de esta institución, cuyo conocimiento, dedicación y esfuerzo han sido esenciales para la culminación de este trabajo. Sin el apoyo de todos ustedes, este logro no habría sido posible.

También queremos expresar agradecimiento a la empresa Global Tech, Servicios y Soluciones, ubicada en Tauramena, Casanare, y a su gerente, Andrés López Pabón. Sin el respaldo de la organización y sus recursos, este trabajo no habría sido posible. Su compromiso con el desarrollo profesional y su apoyo han sido cruciales para el éxito de este proyecto. A todos ellos, mi más sincero agradecimiento.

2

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

3

1. INTRODUCCIÓN

Global Tech S.A.S, es una empresa dedicada a la construcción, montaje y mantenimiento de obras metalmecánicas, obras civiles, eléctricas e instrumentación para diferentes sectores de la industria, comprometidos con la seguridad, bienestar y salud de los colaboradores, protección del ambiente, satisfacción de necesidades y expectativas de clientes y demás partes interesadas.

Para el año 2027 GLOBAL TECH SERVICIOS & SOLUCIONES SAS, será una compañía reconocida en el sector energético, generando impactos positivos, sociales, ambientales y económicos. Así mismo, buscará incrementar su valor corporativo por medio de operaciones eficientes y respetuosas del ambiente, afianzando las relaciones con sus clientes y partes interesadas, basadas en el respeto, la confianza, la ética profesional y la responsabilidad social.

Ubicada en Tauramena Casanare, con más de 10 años de experiencia en el sector oil/gas, cuentan con una variedad de equipos y herramientas utilizadas para el desarrollo de sus actividades industriales, además cuentan con una flota de vehículos y maquinaria como camiones grúa para realizar levantamiento mecánico de cargas.



Figura 1. Imagen empresa Global Tech, autoría propia

3

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

4

Global Tech es una empresa con una trayectoria significativa en la ejecución de proyectos, alcanzando aproximadamente 200 proyectos ejecutados y acumulando 398,594 horas de trabajo. Esta empresa ha obtenido una calificación de satisfacción de 4.85 sobre 5 por parte de sus clientes, lo que refleja la alta calidad de sus productos y servicios. Global Tech ofrece una amplia gama de soluciones en el sector industrial, que incluyen el diseño, construcción y puesta en marcha de instalaciones de producción. Además, realiza labores de ingeniería, obras civiles y especializadas, así como la construcción de líneas de flujo para oleoductos y gasoductos. Su capacidad operativa se complementa con la gestión de facilidades mediante personal altamente calificado, garantizando la ejecución de operaciones eficientes.

Entre los servicios adicionales que ofrece la empresa, destaca el alquiler de equipos especializados como scrubbers, generadores eléctricos, cabinas (contenedores adaptados como oficinas o bodegas) y estructuras para cargaderos de pruebas iniciales. Asimismo, Global Tech presta servicios de mantenimiento preventivo y correctivo, específicamente en el área de válvulas, donde desarrolla diagnósticos, pruebas funcionales, reparaciones y pruebas de presión que abarcan desde ANSI 150 hasta ANSI 2500. También ofrece servicios de izaje de carga con camiones grúa de diferentes capacidades (12, 18, 21 y 40 toneladas), así como retrocargadores tipo "pajarita".

La capacidad operativa de Global Tech es amplia, lo que le permite ofrecer múltiples servicios a diferentes empresas. Esta flexibilidad hace imprescindible contar con planes de mantenimiento estructurados y planificados para prevenir fallas, evitar mantenimientos correctivos no programados, y mitigar retrasos en las operaciones que podrían generar incidentes o accidentes. Dentro de los equipos con mayor nivel de operatividad, se encuentran los camiones grúa,

4

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

5

destacándose como críticos para la empresa. Estos vehículos, marca International, modelo 2013, están equipados con grúas marca HIAB, modelo 245E, las cuales tienen una capacidad máxima de carga de 11,300 kg. No obstante, estos equipos han presentado problemas recurrentes en los cilindros hidráulicos, lo que ha generado la necesidad de establecer planes de mantenimiento correctivo debido a derrames constantes de fluido.

1.1. Objetivo General

Identificar la causa raíz de las fallas recurrentes en los cilindros hidráulicos del brazo articulado del camión grúa de la empresa GLOBAL TECH, para mejorar la confiabilidad y el rendimiento del activo, impedir accidentes con el personal de operarios y afectación a la operatividad de la empresa.

1.2. Objetivos Específicos

Seleccionar el método de análisis causa raíz más conveniente para intervenir adecuadamente el brazo hidráulico.

Identificar las fallas más recurrentes mediante la recolección de datos del historial de fallas presentadas en los cilindros hidráulicos del brazo articulado del camión grúa.

Aplicar el método de análisis causa raíz seleccionado para establecer las acciones de mejora al plan de mantenimiento preventivo

5

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

2. MARCO TEÓRICO


Global Tech es una empresa especializada en montajes metalmecánicos, cuya operación se apoya en el uso de equipos mecánicos. Entre estos, destaca un camión grúa de brazo articulado, cuya función principal es realizar levantamientos mecánicos de cargas, así como el transporte de insumos y la movilización de herramientas necesarias para llevar a cabo sus proyectos.

La utilización de este tipo de equipos es fundamental para garantizar el óptimo desempeño de las operaciones en Global Tech. La empresa reconoce que cualquier falla en estos equipos podría resultar en pérdidas humanas y económicas, lo que tendría un impacto significativo en el crecimiento de la organización.

Para mitigar estos riesgos, Global Tech ha implementado planes de mantenimiento rigurosos para todos sus equipos críticos. Entre ellos se encuentra un camión grúa de la marca International, modelo 2013, que es propiedad de la empresa. Este equipo cuenta con un plan de mantenimiento específico, así como rutinas establecidas que se adaptan tanto al tipo de vehículo como al contexto operacional en el que se utiliza. De esta manera, Global Tech se asegura de que su flota de equipos funcione de manera eficiente y segura, protegiendo así la integridad de sus operaciones y de su personal.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

7

	HOJA DE VIDA VEHICULOS	FOR-MTO-002
		REV 0
		09/09/2019

CAMION GRÚA 11.3 TONELADAS, BRAZO ARTICULADO



Figura 2. Camión grúa empresa Global Tech, imagen propia de la empresa

DATOS DE IDENTIFICACIÓN DEL CAMION GRÚA			
Propietario:	GLOBAL TECH SERVICIOS & SOLUCIONES S.A.S		
Grúa Marca:	HIAB	Camión Marca:	INTERNATIONAL
Grúa Modelo:	245E	Camión Modelo:	2013
Grúa Serie:	245285	Placa Camión:	TSU561
Tipo de Grúa:	MONTADO SOBRE CAMIÓN		
Año Fabricación Grúa:	2005	Id Interno:	N/A
Capacidad Máxima:	11300 Kg	Color:	BLANCO

Figura 3. Imagen ficha técnica del camión grúa de la empresa Global Tech

7

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

8

Una de las principales fallas que se presentan en este tipo de equipos hidráulicos son las fugas de aceite hidráulico, especialmente en la parte de los cilindros y en los acoples de las mangueras. Sin embargo, no es habitual que se produzcan fugas constantes. Este problema debe ser mitigado para evitar impactos negativos en la operación de la organización. Es esencial que Global Tech implemente medidas adecuadas para abordar y solucionar estas fugas, garantizando así el buen funcionamiento de sus equipos y la continuidad de sus operaciones.

La fuga en los cilindros hidráulicos constituye una falla importante, ya que puede provocar pérdida de presión, respuesta de presión lenta, deslizamiento del pistón y otros problemas operativos. Las fugas pueden ser causadas por múltiples factores, como picaduras en el pistón, fractura de los sellos o rayaduras en la pared del cilindro. La detección temprana de estas fugas es crucial, ya que las mismas pueden reducir gravemente el rendimiento de los sistemas hidráulicos. Sin embargo, la detección no intrusiva de fugas internas en línea resulta difícil debido a las condiciones dinámicas de operación de los cilindros.

Es necesario identificar las causas específicas de las fugas en los cilindros hidráulicos para establecer soluciones efectivas. Entre las principales causas se incluyen el desgaste de sellos y juntas, que puede ser provocado por fatiga, abrasión o degradación química; la contaminación del fluido, que introduce partículas extrañas que dañan los sellos y las superficies internas del cilindro; la sobrepresión, que puede dañar los sellos y provocar fugas; y la instalación incorrecta, como un mal montaje de los componentes o uniones mal selladas. Todos estos factores contribuyen a la aparición de fallas que, de no ser tratadas adecuadamente, pueden derivar en daños mayores.

8

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

9

En la práctica, la implementación de programas de mantenimiento adecuados es fundamental para evitar daños futuros y reducir la necesidad de mantenimiento correctivo. Al desarrollar un estudio enfocado en la optimización del funcionamiento de los equipos, se deben mitigar los factores que comprometen su desempeño. De esta manera, se pueden establecer modelos de control que garanticen el funcionamiento óptimo de los equipos, previniendo no sólo daños materiales, sino también posibles impactos ambientales y accidentes laborales. Esto es especialmente relevante en empresas como Global Tech, donde el uso intensivo de equipos pesados y especializados requiere de un enfoque preventivo para mantener la seguridad y la eficiencia operativa.

3. ESTADO DEL ARTE.

El artículo “El análisis de causa raíz como herramienta en la mejora de la confiabilidad” de Carolina Altman (2006) aborda la importancia del análisis de causa raíz (ACR) en la optimización de procesos y la mejora de la confiabilidad en las organizaciones. En este caso, se refiere a un equipo de barrido mecánico diésel-hidráulico montado sobre un camión simple, similar al camión grúa de la empresa Global Tech, que será objeto de análisis.

Al encontrar una situación de baja confiabilidad operacional por las constantes fallas presentadas, en el caso particular del equipo de barrido, el análisis de causa raíz se aplicó a múltiples fallas, encontrando deterioro en el embrague centrífugo, desgaste acelerado en el interior de la tolva y desgaste acelerado en la turbina de aspiración.

9

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

El enfoque de la Cultura de la Confiabilidad, combinado con la aplicación del análisis de causa raíz (RCA), permite identificar la causa raíz del problema al examinar las raíces físicas, que se relacionan con la confiabilidad y mantenibilidad del equipo.

Altman sostiene que el ACR es esencial para identificar y abordar las causas subyacentes de fallas en sistemas y procesos, lo que permite no solo resolver problemas inmediatos, sino también prevenir su recurrencia. La autora enfatiza que un enfoque sistemático en el ACR contribuye a establecer una cultura organizacional proactiva, donde se prioriza la mejora continua y se fomenta la participación activa de todos los empleados en el proceso de identificación de problemas.

Además, se destaca que la implementación efectiva del ACR requiere una adecuada capacitación del personal y el desarrollo de metodologías adaptadas a las particularidades de cada organización. Esto asegura que las soluciones propuestas sean prácticas y aplicables, lo que a su vez potencia la confiabilidad operativa. En resumen, el análisis de causa raíz no solo es una herramienta técnica, sino un componente clave en la estrategia global de mejora continua y gestión de riesgos dentro de las empresas, promoviendo así una mayor eficiencia y sostenibilidad a largo plazo.

En el artículo "Herramientas para el análisis de causa raíz (RCA)" realizado por Ovalles Acosta, J. C., Gisbert Soler, V., y Pérez Molina, A. I. (2017), se destaca la importancia de implementar un método para la solución de problemas, con el objetivo de eliminar o disminuir las causas que los originan a través del análisis de causa raíz (RCA). El artículo responde a preguntas

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

clave como: ¿por qué es tan importante identificar el problema?, ¿qué herramientas y técnicas se pueden utilizar para identificar dicha causa?, y ¿qué efectos tiene la mejora del proceso?

A lo largo de la historia, se ha identificado la necesidad de mejorar los procesos de manera eficiente, con el fin de disminuir fallas, errores, defectos, y reducir costos o tiempos. Esto ha llevado al desarrollo de herramientas que permitan establecer la causa directa de fallos o contratiempos en las organizaciones. El análisis de causa raíz (RCA) se presenta como un conjunto de metodologías que permite identificar las causas subyacentes de diferentes problemas. Para ello, se requiere un enfoque objetivo que permita comprender qué ha fallado.

Entre las herramientas que facilitan este análisis se encuentra la propuesta por el Dr. Kaoru Ishikawa, quien contribuyó con el desarrollo del diagrama de causa-efecto, además de destacar la importancia de las siete herramientas de calidad. Otro aporte relevante es el de Vilfredo Pareto, quien introdujo el principio de Pareto, también conocido como la regla 80-20, la ley de los pocos vitales o el principio de escasez del factor. Este establece que el 20% de los defectos impactan el 80% de los procesos, ayudando así a priorizar las acciones correctivas.

Asimismo, Alex Faickney Osborn ideó la herramienta de la lluvia de ideas, la cual promueve un enfoque interactivo de grupo que genera más y mejores ideas que aquellas obtenidas de manera individual. Existen diversas pautas para llevar a cabo un análisis de causa raíz, cuyo propósito es identificar las causas que generan los eventos. Estas pautas incluyen:

1. Identificar el problema
2. Definir el problema.
3. Entender el problema.
4. Identificar la causa raíz.
5. Realizar acciones correctivas.
6. Monitorear el sistema.



Figura 4. Pautas para realizar un análisis de causa raíz (RCA), imagen tomada del artículo: Ovalles Acosta, J.C, Gisbert Soler, V. y Pérez Molina, A.I. (2017) Herramientas para el análisis de causa raíz.

El primer paso en el análisis de causa raíz consiste en identificar el problema, lo cual implica el monitoreo de diferentes aspectos de la organización, con el fin de detectar posibles áreas problemáticas. Una vez identificado el problema, se recomienda seguir cinco pasos básicos para complementar el análisis de causa raíz:

1. Definir el problema.
2. Entender el problema.
3. Implementar acciones inmediatas.
4. Implementar acciones correctivas.
5. Confirmar la solución.

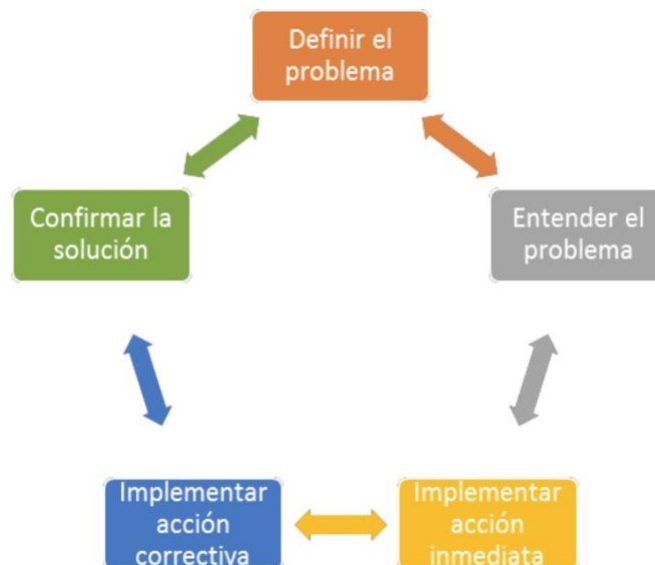


Figura 5. Pasos para completar el análisis de causa raíz (RCA), imagen tomada del artículo: Ovalles Acosta, J.C, Gisbert Soler, V. y Pérez Molina, A.I. (2017) Herramientas para el análisis de causa raíz.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Wang, K., Liu, C., & Lu, Y. (2024). Ensemble Bayesian Network for root cause analysis of product defects via learning from historical production data. *Journal of Manufacturing Systems*, 75, 102–115. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2024.06.001>, este artículo presenta una propuesta innovadora para el análisis de causa raíz (RCA, por sus siglas en inglés) de defectos en productos mediante el uso de Redes Bayesianas (BN) y técnicas de aprendizaje por conjunto. El RCA es fundamental para mejorar la calidad y productividad en la manufactura, pero los métodos tradicionales tienen limitaciones en cuanto a robustez, descubrimiento de causalidad y representación del conocimiento. Para superar estos desafíos, los autores proponen una Red Bayesiana por Conjunto (EBN) que combina múltiples algoritmos de aprendizaje estructural, permitiendo un razonamiento probabilístico interpretativo bajo incertidumbre.

El enfoque modular de la EBN facilita la identificación de causas raíz de problemas de calidad mediante el análisis de datos históricos de producción en la industria plástica, logrando una mejora significativa en la identificación de riesgos de calidad y causas probables de defectos. El modelo se evaluó mediante estudios de caso reales, y los resultados experimentales demuestran su robustez y precisión en la predicción de causas raíz y riesgos de calidad, mostrando una mejora en comparación con los modelos individuales.

Por otro lado, DeZoort, F. T., & Pollard, T. J. (2023). An evaluation of root cause analysis use by internal auditors. *Journal of Accounting and Public Policy*, 42, 107081. <https://doi.org/10.1016/j.jaccpubpol.2023.107081>, analiza el uso del análisis de causa raíz (RCA) por parte de auditores internos, con el objetivo de comprender cómo aplican este método en la resolución de problemas dentro de las organizaciones. Basado en entrevistas con 21 auditores

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

15

internos de alto nivel, el artículo revela que, aunque la mayoría considera que el RCA es una herramienta valiosa para identificar y resolver problemas fundamentales, existe una gran variabilidad en la comprensión y aplicación del método. Los auditores se enfrentan a limitaciones de recursos y preocupaciones sobre su independencia, lo que afecta la rigurosidad y la efectividad del análisis de causa raíz. Además, la investigación destaca la necesidad de formación adicional y de una mayor estandarización en la aplicación de RCA dentro de la profesión.

Este artículo es relevante para el estado del arte de los métodos de análisis de causa raíz, ya que proporciona evidencia empírica sobre las barreras y oportunidades que enfrentan los auditores internos al aplicar el RCA en sus tareas diarias. Aporta una perspectiva valiosa sobre cómo mejorar la práctica del RCA en entornos empresariales, subrayando la importancia de la independencia y la objetividad en el proceso de auditoría.

Kottre, A., Schöler, T. y Legat, C. (2023)., con su artículo: Aprovechamiento del análisis de causa raíz basado en semántica con reducción de inundaciones de alarmas (<https://doi.org/10.31234/osf.io/zt4qj>) aborda la implementación de un sistema basado en el análisis de causa raíz (RCA) para optimizar la gestión de fallas en sistemas industriales mediante la reducción de alarmas en bloque. El enfoque se centra en la integración de técnicas semánticas para correlacionar alarmas y determinar rápidamente la causa raíz de los problemas, donde se destaca que los sistemas tradicionales de RCA requieren el procesamiento de grandes volúmenes de datos, lo que dificulta su adaptabilidad a diferentes máquinas.

15

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Este enfoque resulta relevante para el estado del arte en la ingeniería de mantenimiento, ya que ofrece una solución para reducir el tiempo de inactividad en entornos de fabricación complejos, mejorando tanto la precisión como la eficiencia del RCA. El estudio sugiere que este tipo de sistema podría aplicarse de manera efectiva en diversas industrias, aumentando la productividad y reduciendo los costos asociados al mantenimiento reactivo.

Arias Velásquez, RM, & Mejía Lara, JV (2022)., con su artículo “Conversión de datos en conocimiento con metodología *RCA mejorada para análisis de fallas en inversores*” (Heliyon, 8, e10094 <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10094>), presenta una metodología mejorada de análisis de causa raíz (RCA) aplicada al análisis de fallas en inversores de plantas solares fotovoltaicas. La propuesta se enfoca en la integración del análisis de fallos con la gestión del conocimiento, lo que permite una identificación más precisa de los modos de fallo y una optimización del mantenimiento preventivo y correctivo en sistemas energéticos complejos. La metodología incluye el uso del modelo de gráficos Erdos-Renyi para correlacionar múltiples modos de falla y optimizar el análisis espacio-temporal, logrando así una precisión del 99.2% en la identificación de fallas.

El artículo es relevante para el estado del arte del análisis de fallas en sistemas de energía debido a su enfoque en el manejo de grandes volúmenes de datos y la mejora en la detección de fallas tempranas. La investigación demuestra que la incorporación de la gestión del conocimiento en el RCA permite un análisis más completo y efectivo, especialmente en entornos donde la confiabilidad del sistema es crítica, como en plantas solares fotovoltaicas.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Martínez-Gil, J., Buchgeher, G., Gabauer, D., Freudenthaler, B., Filipiak, D., y Fensel, A. (2022). Análisis de causa raíz en el ámbito industrial mediante gráficos de conocimiento: un estudio de caso sobre transformadores de potencia (Procedia Computer Science, 200, 944–949 <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.01.292>), presenta una novedosa aplicación del análisis de causa raíz (RCA) mediante el uso de gráficos de conocimiento (KGs) en el contexto industrial, con un enfoque particular en transformadores de potencia. Los autores proponen un sistema que permite la identificación, comprensión y corrección de fallas mediante la clasificación de fallas, recomendación de causas y consultas avanzadas utilizando lenguaje de consulta gráfica (SPARQL). El estudio de caso en transformadores de potencia demuestra la eficacia del modelo propuesto, que supera a otros enfoques tradicionales, como los basados en máquinas de soporte vectorial y bosques aleatorios, en términos de precisión y capacidad de interpretación. El uso de KGs permite automatizar el razonamiento sobre fallas y brinda a los operadores humanos una herramienta más interpretativa y fácil de entender que los sistemas de inteligencia artificial de "caja negra".

Este enfoque es relevante para el estado del arte de RCA en entornos industriales, ya que introduce una metodología capaz de integrar grandes volúmenes de datos de manera estructurada, mejorando la precisión y eficiencia en el diagnóstico y prevención de fallas. Su aplicación es particularmente útil en el mantenimiento de equipos complejos como los transformadores, donde el tiempo de inactividad y las fallas tienen un alto costo.

Por otro lado, Mulenga, K., Zhao, X., Xie, M. y Chikamba, C. (2018) con su publicación “*Investigación de las causas fundamentales de las principales fallas de los componentes críticos:*

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

con un estudio de caso de las tuberías de fibrocemento” (Ingeniería <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2017.08.0>) analiza las causas raíz de fallas significativas en componentes críticos, utilizando como caso de estudio las tuberías de cemento-amianto (AC) en una red de distribución de agua en Zambia. Los autores implementan el análisis de causa raíz (RCA) mediante el sistema de información basado en problemas (IBIS), con el fin de abordar los problemas desde un enfoque sistémico. El estudio identifica múltiples fallas, tanto en la fase de fabricación como en la instalación y operación, las cuales aceleran la degradación de las tuberías de AC. Los resultados del análisis destacan la importancia de incorporar tanto los aspectos técnicos como los organizacionales para evitar la recurrencia de fallas. Asimismo, se sugiere que la implementación de políticas de mantenimiento preventivo y la mejora en la gestión de los activos de infraestructura pueden prolongar la vida útil de las tuberías.

Este artículo es relevante para el estado del arte de los métodos de análisis de fallas en infraestructuras críticas, ya que combina la metodología RCA con herramientas avanzadas como el software DesignVUE para mejorar la comprensión de las fallas sistémicas. Su enfoque holístico es particularmente útil para optimizar la toma de decisiones en el mantenimiento y la gestión de redes de distribución de agua.

Hassan, YB, Orabi, M. y Gaafar, MA (2023). *Análisis de causas de fallas de inversores fotovoltaicos conectados a la red basado en análisis de firmas de fallas (FCA-B-FSA)* (Energía solar, <https://doi.org/10.1016/j.solener.2023.111831>), propone una metodología innovadora para el análisis de las causas de fallas en inversores fotovoltaicos conectados a la red mediante el análisis de firmas de fallos (FCA-B-FSA). Dado que los inversores son componentes críticos en

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

plantas solares fotovoltaicas a gran escala, las fallas en estos sistemas pueden afectar considerablemente la disponibilidad y eficiencia de la planta. Los autores analizan las firmas de fallos para vincularlas con sus causas raíz, abordando las principales fuentes de fallas, como la sobrecarga térmica, los cortocircuitos y el envejecimiento de los componentes. El estudio utiliza técnicas avanzadas de análisis como la transformación.

Este trabajo es relevante para el estado del arte sobre el análisis de fallas en sistemas fotovoltaicos, ya que ofrece un enfoque estructurado para detectar y mitigar fallas, mejorando el mantenimiento basado en condiciones y reduciendo los tiempos de inactividad no planificados. La presentación es aplicable no solo a plantas solares a gran escala, sino también a otros sistemas de energía renovable, lo que subraya su importancia en el campo de la electrónica de potencia.

Steenwinckel, B., De Paepe, D., Vanden Hautte, S., Heyvaert, P., Bentefrit, M., Moens, P., ... y Ongena, F. (2021). FLAGS : una metodología para la detección adaptativa de anomalías y el análisis de la causa raíz en flujos de datos de sensores mediante la fusión del *conocimiento experto con el aprendizaje automático* (*Future Generation Computer Systems*, 116 , 30-48 . <https://doi.org/10.1016/j.future.2020.10.015>), artículo que propone una metodología innovadora llamada FLAGS, que combina técnicas de detección de anomalías y análisis de causa raíz (RCA) en flujos de datos provenientes de sensores mediante la fusión de conocimiento experto con técnicas de aprendizaje automático. El objetivo de la metodología es optimizar la identificación y resolución de fallas en sistemas monitoreados por sensores, minimizando la intervención humana. FLAGS integra tanto técnicas impulsadas por datos como técnicas impulsadas por conocimiento, para superar las limitaciones que cada enfoque presenta de manera individual, como los falsos

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

positivos en las técnicas basadas en datos y la falta de adaptabilidad de las técnicas basadas en conocimiento.

El estudio es relevante para el estado del arte en análisis de fallas y mantenimiento predictivo, especialmente en el contexto de la industria del Internet de las Cosas (IoT) y el monitoreo de sistemas complejos, como el mantenimiento de trenes. Al combinar conocimientos semánticos con algoritmos de aprendizaje automático, FLAGS permite detectar y explicar anomalías de manera más precisa, reduciendo falsos positivos y proporcionando interpretaciones más claras de las causas raíz de las fallas.

Brandón, Á., Solé, M., Huélamó, A., Solans, D., Pérez, MS, & Muntés-Mulero, V. (2020). *Análisis de causa raíz basado en gráficos para arquitecturas de microservicios y orientadas a servicios* (<https://doi.org/10/j.jss.2019.110>), proponen un método innovador basado en gráficos para realizar análisis de causa raíz (RCA) en arquitecturas orientadas a servicios y microservicios. El enfoque se centra en utilizar representaciones gráficas para capturar información clave sobre la topología y las conexiones tanto lógicas como físicas dentro de un sistema, lo que facilita la identificación de la causa raíz de anomalías en entornos distribuidos y complejos. A través de la comparación de gráficas anómalas con un conjunto de patrones previamente identificados, el sistema permite a los usuarios diagnosticar fallas de manera más eficiente en arquitecturas de microservicios, donde el análisis manual sería extremadamente complejo y tedioso.

Este trabajo es particularmente relevante para el estado del arte en el análisis de fallas en sistemas distribuidos, ya que aborda un problema crítico en el monitoreo y la gestión de infraestructuras tecnológicas modernas. El enfoque propuesto supera a los métodos tradicionales

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

al ser un 19.41% más efectivo en la identificación de anomalías, al considerar las relaciones entre los diferentes elementos del sistema, lo que permite una mayor precisión en la determinación de las causas raíz. Además, el uso de patrones previos de anomalías facilita una respuesta más rápida y efectiva en la resolución de problemas en estos entornos complejos.

4. METODOLOGÍA PROPUESTA

Para cumplir con los objetivos planteados en esta investigación, se ha diseñado una metodología que se estructura en tres fases, cada una alineada con los objetivos específicos previamente definidos. A continuación, se describen detalladamente las etapas a seguir para garantizar la consecución de los objetivos.

La primera etapa consiste en seleccionar el método de análisis de causa raíz que resulte más adecuado para identificar las fallas recurrentes en el brazo hidráulico del camión grúa. Para ello, se realiza una revisión exhaustiva de los métodos de análisis disponibles, tales como el diagrama de Ishikawa, el análisis de Pareto, y la técnica de los 5 porqués, entre otros. Se evalúan las características de cada uno, considerando su aplicabilidad en el contexto del sistema hidráulico, la precisión en la identificación de causas y su capacidad para integrar datos históricos. La selección final se fundamenta en criterios como la complejidad de las fallas, la facilidad de implementación del método en el entorno industrial y el impacto esperado en la mejora de los procesos de mantenimiento.

En la segunda fase, se procede a la identificación de las fallas recurrentes en los cilindros hidráulicos del brazo articulado del camión grúa. Para ello, se lleva a cabo una recolección

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

sistemática de los datos históricos de fallas, obtenidos de los registros de mantenimiento de la maquinaria. Este proceso involucra la consulta de informes técnicos, reportes de servicio y análisis de rendimiento previos. La información obtenida se organiza y clasifica según la frecuencia de las fallas y su impacto en la operación del brazo hidráulico. Posteriormente, se aplican técnicas estadísticas para identificar patrones y tendencias que permitan enfocar la investigación en las fallas más críticas y recurrentes.

Una vez seleccionado el método de análisis de causa raíz y recopilados los datos necesarios, se procede a su aplicación para determinar las causas subyacentes de las fallas en los cilindros hidráulicos del brazo articulado. Este paso implica un análisis detallado del comportamiento de los componentes del sistema, así como la identificación de factores internos y externos que puedan estar contribuyendo a la aparición de dichas fallas. A partir de este análisis, se establecen acciones de mejora concretas que permitan optimizar el plan de mantenimiento preventivo. Estas acciones se integran en un plan revisado de mantenimiento, con el objetivo de reducir la frecuencia de las fallas y aumentar la eficiencia operativa del camión grúa.

En resumen, esta metodología permite abordar de manera estructurada el proceso de identificación y análisis de fallas, garantizando que se seleccionen acciones de mejora basadas en un análisis riguroso de la información disponible y en la implementación de un método adecuado de análisis de causa raíz.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Métodos de Análisis Causa-Raíz.

Existen diferentes metodologías de análisis de causa raíz para la identificación de fallas en el área de mantenimiento, a continuación, los métodos más usados para realizar RCA:

5.1.1. Análisis de los 5 Porqués.

La técnica de los cinco porqués es una herramienta originaria de Japón, desarrollada por Sakichi Toyoda para su aplicación en la línea de manufactura de Toyota. Esta técnica forma parte de un conjunto de estrategias diseñadas para mejorar la productividad y resolver problemas durante esa época. A pesar de su antigüedad, estas técnicas siguen siendo relevantes en la actualidad y respaldan el enfoque Kaizen.

El método consiste en formular la pregunta "¿por qué?" hasta cinco veces para llegar a la causa raíz de un problema. Cada respuesta genera una nueva pregunta, aunque es importante señalar que no siempre es necesario limitarse a cinco interrogantes; el número puede variar según la complejidad del problema en cuestión.

Según Betancourt D.F. (2018), la técnica de los cinco porqués, también conocida como "escalera de porqués", es un método de análisis que comienza con una pregunta inicial, de la cual se deriva la siguiente pregunta. Esta técnica parte de la premisa de que no todos los problemas tienen una única causa; de hecho, pueden existir múltiples factores que a menudo no se consideran.

Existen diferentes formas de plasmar las preguntas, una de ellas es de la siguiente forma:

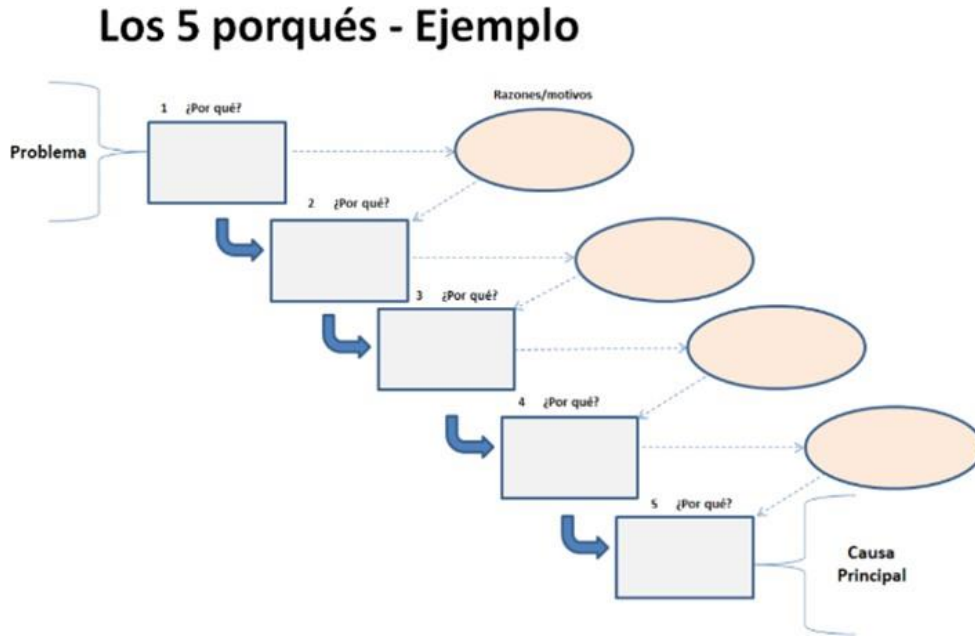


Figura 6. Ejemplo 5 porques, Imagen tomada de: <https://i0.wp.com/webdayanaromero.com/wp-content/uploads/2020/09/los-5-porques.png?resize=1024%2C822&ssl=1>

Ejemplo 2.

Problema:		
	¿Por qué?	Motivo
1		
2		
3		
4		
5		
Causa Raíz:		

Figura 7. Ejemplo 5 porques. Imagen tomada de: <https://i0.wp.com/webdayanaromero.com/wp-content/uploads/2020/09/plantilla-2.png?w=738&ssl=1>

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Ventajas del método de los 5 porqués en problemas de mantenimiento

Simplicidad y accesibilidad: Una de las principales ventajas del método de los 5 porqués es su simplicidad. No requiere de conocimientos técnicos avanzados ni herramientas complejas para su implementación. Es una técnica que cualquier miembro del equipo puede aplicar con facilidad, facilitando la identificación rápida de la causa raíz de un problema de mantenimiento. Según Ohno (1988), creador de este método dentro del sistema de producción de Toyota, su enfoque directo y sencillo permite realizar un análisis eficaz sin necesidad de recursos adicionales.

Enfoque en la causa raíz: Este método se caracteriza por llevar al investigador a profundizar en las causas subyacentes del problema, no solo abordando los síntomas visibles. Al preguntarse repetidamente "¿Por qué?" cinco veces, se logra identificar las causas fundamentales, lo que resulta esencial en los problemas de mantenimiento, donde las fallas superficiales a menudo están relacionadas con problemas sistémicos más profundos (Bhasin, 2015). Esto permite implementar acciones correctivas duraderas que minimicen la recurrencia del problema.

Fomento del trabajo en equipo: La aplicación del método de los 5 porqués en los problemas de mantenimiento generalmente se realiza en un entorno colaborativo. El enfoque participativo en la búsqueda de soluciones anima a los equipos de trabajo a compartir sus experiencias y conocimientos, mejorando así la comprensión colectiva del problema (Liker & Meier, 2006). Esta colaboración no solo genera una mayor cantidad de ideas, sino que también fortalece la cohesión del equipo y mejora la toma de decisiones conjunta.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Aplicabilidad en tiempo real: Otra ventaja del método es su utilidad en el análisis de fallas en tiempo real, especialmente durante el mantenimiento de equipos críticos. Dado que el proceso es rápido, los equipos de mantenimiento pueden identificar y corregir problemas de manera inmediata, minimizando el tiempo de inactividad de las máquinas (Ishikawa, 1990). Esto es particularmente relevante en contextos donde cada minuto de paralización implica pérdidas económicas significativas para la empresa.

Bajo costo de implementación: El método de los 5 porqués no requiere inversiones en software, formación avanzada o consultores externos. Es una herramienta de bajo costo que puede ser implementada rápidamente en cualquier organización, lo cual lo convierte en una opción atractiva para empresas con recursos limitados (Bhasin, 2015). Esto lo diferencia de otros métodos de análisis que pueden requerir un mayor desembolso económico o técnico.

Desventajas del método de los 5 porqués en problemas de mantenimiento

Subjetividad en la identificación de causas: Una de las principales críticas al método de los 5 porqués es su subjetividad. Debido a que se basa en preguntas abiertas y consecutivas, la identificación de la causa raíz puede depender en gran medida de las interpretaciones personales de los miembros del equipo (Ohno, 1988). Esto puede llevar a sesgos en el análisis y a conclusiones diferentes dependiendo de quién realice las preguntas, lo que afecta la consistencia y fiabilidad de los resultados en los problemas de mantenimiento.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

27

Falta de profundidad en algunos casos: Aunque el método busca llegar a la causa raíz, no siempre es efectivo en problemas complejos o multifactoriales. Algunos problemas de mantenimiento pueden tener varias causas interrelacionadas que no pueden ser abordadas con un análisis lineal de cinco preguntas. Según Wilson (2017), cuando el problema tiene múltiples capas o involucra sistemas complejos, es necesario emplear herramientas adicionales como el análisis de modos y efectos de fallos (FMEA) o el diagrama de Ishikawa para complementar el enfoque del método de los 5 porqués.

Foco limitado en los síntomas iniciales: El método de los 5 porqués puede correr el riesgo de centrarse demasiado en el primer síntoma del problema, ignorando las posibles ramificaciones de fondo. En el ámbito del mantenimiento, esto puede ser problemático, ya que algunas fallas pueden estar relacionadas con condiciones operativas generales, deficiencias en el diseño o problemas sistémicos que no se abordan de manera efectiva con este enfoque simplificado (Liker & Meier, 2006).

Descuido de interacciones sistémicas: Otro de los desafíos del método es que no tiene en cuenta la posible interacción entre diferentes fallas. En los sistemas de mantenimiento, muchos problemas están interconectados y el enfoque lineal de los 5 porqués podría pasar por alto estos factores (Wilson, 2017). Las interacciones entre componentes del sistema de mantenimiento podrían requerir un enfoque más integral para evitar fallas repetitivas o el agravamiento de otras áreas relacionadas.

27

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Dependencia del conocimiento de los operadores: Dado que el método de los 5 porqués requiere que los participantes hagan preguntas sobre el porqué de una falla, su éxito depende en gran medida del conocimiento técnico y experiencia de quienes lo aplican. Si los encargados del mantenimiento no cuentan con la experiencia suficiente o no poseen una visión global del sistema, las respuestas pueden ser superficiales o erróneas, llevando a conclusiones incorrectas y a la aplicación de soluciones inadecuadas (Bhasin, 2015).

Conclusión

El método de los 5 porqués ofrece una herramienta sencilla y accesible para identificar causas raíces en problemas de mantenimiento, lo que permite a las organizaciones realizar acciones correctivas rápidas y eficaces. Sin embargo, su simplicidad también puede ser una desventaja en situaciones más complejas donde las causas de las fallas son multifactoriales o interrelacionadas. Además, su dependencia de la experiencia de los operadores y su tendencia a la subjetividad pueden limitar su efectividad si no se utiliza de manera adecuada. Por tanto, se recomienda complementar este método con otras técnicas más detalladas para obtener una visión más completa y precisa en la gestión del mantenimiento.

5.1.2. Diagrama de Ishikawa (Diagrama Espina de Pescado)

El Diagrama de Ishikawa, conocido también como diagrama de espina de pescado o diagrama causa-efecto, es una herramienta que facilita la visualización de las causas subyacentes de un problema, organizándose en diversas categorías como personas, procesos, materiales y

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

equipos. Este método, ampliamente utilizado en el ámbito industrial, se creó en 1943 por el químico japonés Dr. Kaoru Ishikawa, con el propósito de mejorar el análisis de fallas en procesos, productos y servicios.

El Diagrama de Ishikawa se caracteriza por su capacidad para presentar de manera gráfica los factores que pueden contribuir a un fenómeno observado. Aunque es efectivo para organizar la información y proporcionar claridad sobre las causas que originan un problema, no identifica por sí mismo la causa raíz.

Entre las funcionalidades esenciales de esta herramienta, se destacan:

Proporciona una representación visual de los diversos factores que pueden influir en un efecto o fenómeno en estudio.

Especifica claramente la interrelación entre los factores causales, permitiendo que un mismo factor aparezca en diferentes secciones del diagrama.

Las interrelaciones se establecen generalmente de forma cualitativa e hipotética, sirviendo como un primer paso para desarrollar la información necesaria para establecer causalidades empíricas.

En resumen, el Diagrama de Ishikawa es una valiosa herramienta para cualquier organización que busque entender mejor los problemas que enfrenta y mejorar sus procesos de manera efectiva.

Figura 8. Ejemplo de diagrama deI shikawa.

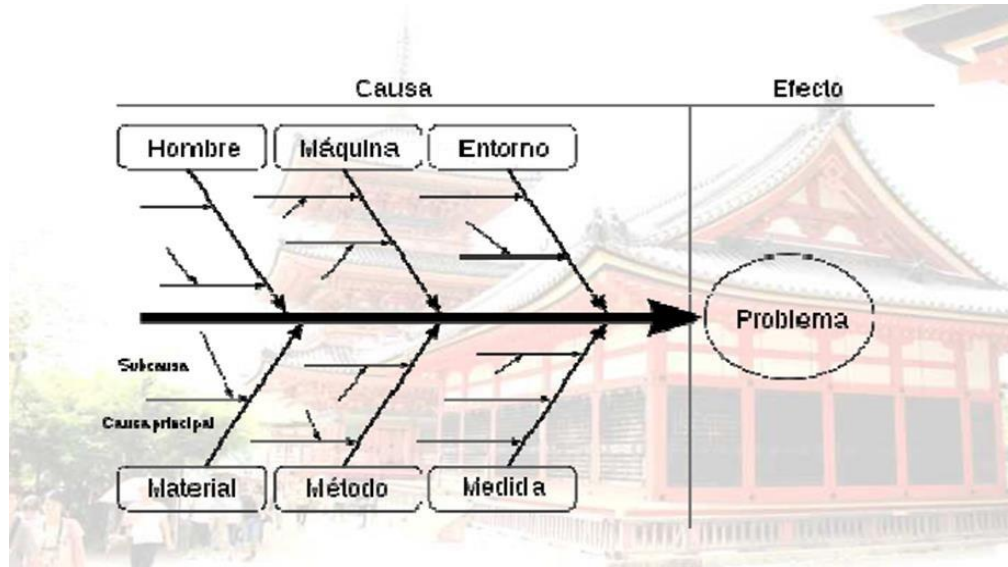


Imagen tomada de: Valenzuela, L. (2000). Diagrama de ishikawa. *Santiago de Chile, Chile: UNAB.*

Marytere Narváez, en su artículo "Diagrama de Ishikawa: Qué es y cómo realizarlo", explica que el diagrama de Ishikawa se compone de varios elementos esenciales para su estructura.

En primer lugar, se encuentra el **efecto o problema**, que se sitúa en el extremo derecho del diagrama. Este representa el punto de partida para identificar las posibles causas subyacentes.

La **espina principal** se extiende desde el efecto o problema, funcionando como la línea central del diagrama. Su forma recuerda a la espina de un pez, lo que le da el nombre de "espina de pescado".

A continuación, están las **categorías de causas**, que agrupan los factores generales que podrían contribuir al problema. Estas se representan como líneas perpendiculares a la espina principal y comúnmente incluyen:

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Personas: Factores relacionados con los individuos involucrados.

Procesos: Elementos del proceso o la cadena de producción.

Máquinas: Problemas asociados con el equipo o maquinaria.

Materiales: Factores vinculados a los materiales utilizados.

Métodos: Procedimientos o métodos de trabajo.

Medio ambiente: Influencias del entorno que podrían afectar.

Medición: Aspectos relacionados con la medición y el control de calidad.

Dentro de cada categoría, se pueden identificar **causas potenciales**, que son subcategorías específicas desglosadas. Estas se representan como líneas secundarias que se ramifican desde las categorías principales.

La **línea de flecha** conecta cada causa potencial con su categoría, y finalmente con el efecto o problema. Esto ayuda a visualizar claramente las relaciones entre los elementos.

Además, es fundamental incluir la **identificación de causas**, donde se proporciona una breve descripción de cómo cada causa podría contribuir al efecto o problema en cuestión.

La **colaboración y participación** de las personas o equipos que ayudaron a identificar las causas y posibles soluciones es también un aspecto importante del diagrama. Esto fomenta un sentido de responsabilidad compartida y trabajo en equipo.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Finalmente, incluir la **fecha y el contexto** en el que se creó el diagrama es útil. Esto no solo proporciona un registro histórico, sino que también establece un contexto valioso para futuras referencias.

De esta manera, se pueden llevar a cabo análisis de causa raíz mediante el uso del diagrama de espina de pescado. Este diagrama permite visualizar y considerar todos los aspectos de un proceso o servicio. Además, resulta ser una herramienta efectiva para documentar y plasmar las causas de un problema, lo que facilita que todo el personal, incluidos directivos y empleados, comprenda la naturaleza del problema y sus causas.

Ventajas del Diagrama de Ishikawa en problemas de mantenimiento

Visualización clara y estructurada: Una de las principales ventajas del Diagrama de Ishikawa es su capacidad para representar de manera visual y organizada las posibles causas de un problema. En el contexto del mantenimiento, este diagrama permite identificar rápidamente las áreas clave que pueden estar contribuyendo a una falla, como los materiales, los métodos, la mano de obra o el entorno (Ishikawa, 1990). La representación gráfica facilita que los equipos de mantenimiento puedan analizar de manera clara y ordenada las posibles causas, lo que les ayuda a enfocar sus esfuerzos en las áreas que tienen mayor impacto.

Enfoque sistemático en la identificación de causas: El Diagrama de Ishikawa proporciona un enfoque sistemático que ayuda a los equipos a descomponer el problema en categorías y subcategorías, lo que resulta beneficioso en situaciones donde las fallas en el mantenimiento pueden deberse a múltiples factores. Este enfoque estructurado minimiza la probabilidad de que alguna causa importante pase desapercibida, lo que mejora la precisión en la identificación de la

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

causa raíz (Gryna, Chua, & DeFeo, 2007). Así, es posible prevenir futuras fallas y mejorar los procesos de mantenimiento.

Fomento del trabajo colaborativo: Este método promueve la colaboración entre diferentes departamentos y profesionales. Para elaborar un diagrama de Ishikawa eficaz, es necesario que participen personas con diferentes perspectivas y conocimientos dentro de la organización. Esto fomenta una mayor cohesión entre los equipos de trabajo y asegura que el análisis de las causas sea más exhaustivo y preciso, ya que incluye la opinión de diversas áreas implicadas en el proceso de mantenimiento (Juran & Godfrey, 1999).

Aplicable a diversos tipos de fallas: Otra ventaja relevante es que el Diagrama de Ishikawa puede ser utilizado en una amplia variedad de problemas de mantenimiento, tanto para identificar fallas en equipos como para optimizar procesos operativos. Su versatilidad lo convierte en una herramienta adaptable que puede emplearse tanto para problemas sencillos como para aquellos que requieren un análisis más profundo (Tague, 2005). Por esta razón, es ampliamente utilizado en la gestión de calidad y mantenimiento industrial.

Facilitador para la identificación de soluciones correctivas: Al desglosar visualmente las posibles causas, el diagrama permite que el equipo identifique acciones correctivas más efectivas para abordar las causas fundamentales de las fallas. Esto puede ayudar a implementar soluciones más dirigidas y eficientes, minimizando el riesgo de que el problema se repita y aumentando la confiabilidad del sistema de mantenimiento (Ishikawa, 1990).

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Desventajas del Diagrama de Ishikawa en problemas de mantenimiento

Complejidad en su implementación en problemas multifactoriales: Aunque el Diagrama de Ishikawa es una herramienta eficaz en la identificación de causas, su uso en problemas complejos puede resultar en diagramas demasiado extensos y difíciles de manejar. En los casos de mantenimiento que involucran múltiples factores interrelacionados, como sistemas mecánicos y electrónicos avanzados, el diagrama puede convertirse en una representación confusa y poco práctica (Tague, 2005). Esto puede complicar la priorización de las causas y ralentizar la toma de decisiones correctivas.

Dependencia del conocimiento y experiencia del equipo: Para que el Diagrama de Ishikawa sea efectivo, es crucial que los participantes tengan un conocimiento profundo tanto del problema como de los procesos de mantenimiento involucrados. Si los miembros del equipo no tienen suficiente experiencia o conocimientos técnicos sobre las posibles causas, el análisis puede ser superficial o incompleto (Gryna, Chua, & DeFeo, 2007). Esto puede llevar a que no se identifiquen todas las causas relevantes y, en consecuencia, las soluciones propuestas no sean las más adecuadas.

Enfoque limitado en las interrelaciones de las causas: Aunque el Diagrama de Ishikawa permite visualizar las causas de un problema, no necesariamente refleja cómo interactúan entre sí. En muchos problemas de mantenimiento, las fallas pueden estar interrelacionadas o influir unas en otras, pero el diagrama no ofrece una forma explícita de mostrar estas conexiones (Juran & Godfrey, 1999). Esto puede llevar a un análisis incompleto si las relaciones causales no se examinan más a fondo mediante otros métodos complementarios.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Falta de priorización de las causas: Otra desventaja es que el Diagrama de Ishikawa no ofrece un mecanismo inherente para priorizar las causas identificadas. Si bien identifica todas las posibles causas, no proporciona una guía clara sobre cuáles deben abordarse primero. Esto puede ser un problema en el mantenimiento, donde algunas causas pueden tener un impacto mucho mayor que otras en la operación del equipo o en la eficiencia del proceso (Gryna, Chua, & DeFeo, 2007). Para solucionar esta limitación, es recomendable complementarlo con herramientas como el análisis de Pareto para determinar las causas de mayor impacto.

Enfoque en el análisis cualitativo: El Diagrama de Ishikawa tiende a centrarse en un análisis cualitativo, lo que significa que a menudo se basa en las percepciones y opiniones del equipo. Aunque esto puede ser útil en una primera fase de análisis, puede carecer de la robustez necesaria cuando se necesita un análisis cuantitativo más riguroso, como ocurre en ciertos problemas de mantenimiento donde es esencial medir la gravedad, la frecuencia o el impacto económico de las fallas (Tague, 2005). Esta falta de datos cuantitativos puede limitar la efectividad de las soluciones propuestas.

Conclusión

El Diagrama de Ishikawa es una herramienta poderosa y versátil para la identificación de causas en problemas de mantenimiento, ofreciendo una visualización clara y un enfoque sistemático que facilita el análisis. Sin embargo, su efectividad depende en gran medida de la experiencia del equipo y puede volverse complejo cuando se enfrentan problemas multifactoriales. Asimismo, su enfoque cualitativo y su falta de priorización intrínseca pueden limitar su utilidad en situaciones que requieran un análisis más detallado o cuantitativo. Por tanto, se recomienda

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

utilizar el Diagrama de Ishikawa como parte de un enfoque integral, complementado con otras herramientas que permitan una priorización adecuada y un análisis más profundo de las interrelaciones entre las causas.

5.1.3. Análisis de Pareto

El análisis de Pareto, también conocido como la regla del 80/20, es una herramienta fundamental en la gestión de mantenimiento que permite identificar y priorizar problemas o causas que generan la mayor parte de los efectos no deseados. Esta metodología se basa en el principio de que, en muchas situaciones, aproximadamente el 80% de los problemas provienen del 20% de las causas.

El análisis de Pareto es un enfoque cuantitativo que utiliza gráficos para visualizar datos y facilitar la identificación de áreas críticas que requieren atención. En el contexto del mantenimiento, este análisis permite a los equipos identificar cuáles fallas o problemas son responsables de la mayor parte del tiempo de inactividad o costos operativos.

Este concepto fue propuesto por el ingeniero y consultor Joseph M. Juran, quien en 1954 realizó un estudio sobre la contribución de los "pocos vitales" y los "muchos triviales". Según su análisis, el 20% de los factores es esencial, mientras que el 80% restante es menos significativo. Este enfoque, conocido como el principio de Juran, muestra cómo un fenómeno influye proporcionalmente en otro. A principios del siglo XX, Juran sugirió la inclusión de gráficos para este tipo de análisis, conocidos como "gráficos de Lorenz" (Tolentino, 2015), los cuales posteriormente serían renombrados como el diagrama de Pareto.

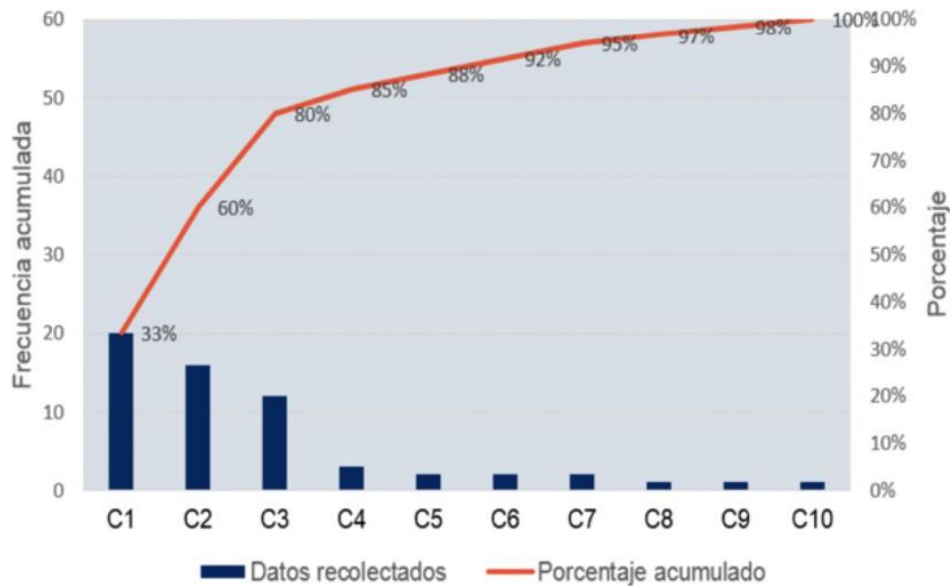


Figura 9. Diagrama de Pareto, imagen tomada de Decisiones gerenciales bajo el Principio de Pareto “Aranzazu Drouaillet Pedrero Barrientos, Alejandro de la Cruz Garnica Fernández y Aranxa Garnica Oropeza”

En un gráfico de Pareto, el eje X representa la cantidad de causas identificadas, mientras que el eje Y izquierdo muestra la cantidad de datos recolectados o la frecuencia acumulada. En el eje Y derecho, se representa el porcentaje acumulado. La línea roja en el gráfico ilustra el porcentaje acumulado, y las tres primeras barras más grandes suelen concentrar el 80% de los problemas identificados.

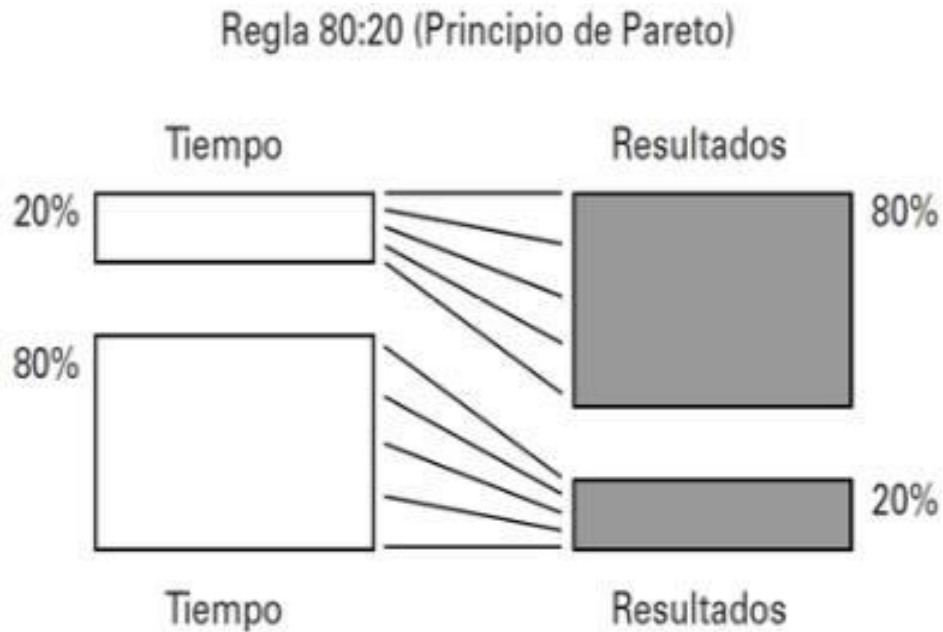


Figura 10. Principio de Pareto 80/20, imagen tomada de El Libro de las Habilidades Directivas, Luis Puchol (2003).

En el ámbito empresarial, muchas personas tienden a dedicar gran parte de su tiempo a problemas secundarios en lugar de centrarse en actividades cruciales. Esto conduce a una acumulación gradual de problemas que pueden convertirse en crisis, afectando el rendimiento de la empresa. En relación con la gráfica de Pareto, se observa que el 80% del tiempo invertido en problemas menores resulta en tan solo un 20% de resultados efectivos. Sin embargo, si se invierte el análisis, el 20% del tiempo dedicado a actividades clave puede generar un 80% de resultados positivos.

Para construir un gráfico de Pareto es fundamental seguir los siguientes pasos:

- a) Definir el problema e incluir todas las posibles causas.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

- b) Cuantificar y valorar la importancia de cada causa identificada.
- c) Presentar los datos en un gráfico de barras o histograma que refleje los porcentajes.
- d) Identificar los problemas más relevantes.

Ventajas del método de análisis de causa raíz de Pareto en problemas de Mantenimiento

Identificación de las causas más relevantes: El método de Pareto permite identificar las causas que generan la mayor parte de las fallas dentro de los sistemas de mantenimiento. Según la regla 80/20, el 20% de las causas son responsables del 80% de los problemas (Juran, 1954). Esta proporción permite enfocar los esfuerzos en la resolución de un número reducido de problemas que, al ser corregidos, mejorarán significativamente los procesos operativos y evitarán paradas innecesarias de los equipos.

Mejor asignación de recursos: Al centrarse en las fallas que tienen el mayor impacto, el análisis de Pareto permite una asignación eficiente de los recursos tanto humanos como financieros (Juran, 1954). Los responsables de mantenimiento pueden priorizar sus esfuerzos en resolver los problemas más críticos, optimizando el uso del personal y los equipos. Esto se traduce en una reducción de costos y tiempos en el mantenimiento de las maquinarias y equipos.

Simplicidad y rapidez de aplicación: El análisis de Pareto es un método sencillo de aplicar, ya que se basa en la recolección de datos y en la representación gráfica de los mismos. No requiere de complejas técnicas estadísticas para su interpretación, lo que lo hace accesible y fácil de

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

40

implementar en cualquier nivel de una organización. Esto facilita que las empresas lo adopten como una herramienta estándar en la gestión del mantenimiento (Tolentino, 2015).

Visualización clara de los problemas: La representación gráfica mediante diagramas de Pareto ofrece una visión clara y rápida de cuáles son los problemas más importantes que afectan el mantenimiento. Este gráfico permite a los encargados de la toma de decisiones visualizar con facilidad las áreas que requieren atención urgente, lo que simplifica el proceso de diagnóstico y facilita la priorización de acciones correctivas (Tolentino, 2015).

Incremento en la productividad y eficiencia: Al enfocarse en resolver las fallas más significativas, el método de Pareto genera una mejora notable en la productividad y eficiencia de los sistemas de mantenimiento. La resolución de los problemas principales reduce el tiempo de inactividad de los equipos, lo que permite que los recursos productivos se utilicen de manera óptima (Juran, 1954). Además, una vez corregidos estos problemas, los sistemas de mantenimiento tienden a funcionar de manera más fluida y con menos interrupciones.

Desventajas del método de análisis de causa raíz de Pareto en problemas de Mantenimiento

Dependencia de la calidad de los datos: El éxito del análisis de Pareto depende en gran medida de la calidad y precisión de los datos recopilados sobre las fallas. Si los datos no son fiables o están incompletos, los resultados del análisis pueden ser inexactos, lo que llevaría a decisiones incorrectas en el ámbito del mantenimiento (Garcia & Romero, 2018). Esto significa que es crucial contar con un sistema adecuado para la recolección y el análisis de datos.

40

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Enfoque limitado en las causas subyacentes: Aunque el análisis de Pareto permite identificar las causas más comunes y visibles, no siempre profundiza en las causas subyacentes o sistémicas de los problemas de mantenimiento. En algunos casos, las fallas pueden estar vinculadas a factores más complejos, como errores en el diseño, envejecimiento de los equipos o problemas en los procedimientos operativos. Sin un análisis complementario más detallado, es posible que solo se traten los síntomas y no las causas raíces reales de las fallas (Montoya, 2019).

Posible exclusión de problemas poco frecuentes pero críticos: El enfoque del análisis de Pareto se centra en los problemas más recurrentes, lo que podría llevar a la subestimación o exclusión de fallas menos comunes, pero potencialmente más graves. En el ámbito del mantenimiento, una falla rara puede tener un impacto catastrófico en la operación de los equipos, y el análisis de Pareto podría no considerar adecuadamente estos eventos (Tolentino, 2015). Por lo tanto, es fundamental utilizar este método en combinación con otras herramientas de análisis para obtener una visión más completa.

Enfoque a corto plazo: El método de Pareto tiende a resolver problemas inmediatos que generan los mayores inconvenientes. Sin embargo, esta orientación hacia soluciones a corto plazo puede limitar la planificación estratégica y las soluciones preventivas a largo plazo en el mantenimiento de equipos (García & Romero, 2018). Es decir, se puede priorizar la solución de las fallas actuales sin considerar cómo prevenir la recurrencia de problemas en el futuro.

Interacciones entre problemas no consideradas: El análisis de Pareto asume que las causas de las fallas son independientes entre sí, lo que en muchos casos puede no ser cierto. En el mantenimiento de equipos complejos, las fallas pueden estar interrelacionadas y solucionarlas de

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

42

manera aislada puede no ser suficiente para resolver el problema en su totalidad (Montoya, 2019). Esto implica que, aunque el análisis de Pareto puede ser útil, se debe complementar con otras técnicas de análisis que tomen en cuenta estas interdependencias.

Conclusión

El método de análisis de causa raíz de Pareto ofrece claras ventajas en la identificación y resolución de fallas críticas en los sistemas de mantenimiento. Su simplicidad, rapidez de aplicación y capacidad para priorizar problemas lo convierten en una herramienta valiosa para mejorar la eficiencia operativa y reducir costos. Sin embargo, este método presenta limitaciones importantes, como su dependencia de la calidad de los datos y su enfoque en problemas recurrentes, lo que puede dejar de lado fallas menos frecuentes pero críticas. Por ello, es recomendable utilizar el análisis de Pareto junto con otros métodos de análisis más detallados para obtener una visión completa y duradera en la gestión del mantenimiento.

5.1.4. Análisis de Árbol de Fallas

El árbol de fallos es una metodología desarrollada en la década de 1960 que se ha consolidado como una herramienta esencial en el análisis de riesgos. Su objetivo es identificar y evaluar posibles fallos que puedan afectar el funcionamiento de sistemas complejos, y se aplica en una amplia gama de sectores, como el mecánico, económico, ambiental y organizacional. Esta técnica también resulta fundamental en la gestión de riesgos en plantas de producción y en la detección de fallos en equipos industriales. La estructura del árbol de fallos se basa en un modelo gráfico en forma de árbol, donde los eventos y fallos se representan de manera jerárquica, facilitando así la identificación de causas y sus interrelaciones.

42

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

43

Una de las características más destacadas del árbol de fallos es su capacidad para identificar no solo el evento principal que puede desencadenar una falla, sino también los eventos secundarios que contribuyen a dicho fallo. Este proceso, conocido como análisis de importancia, permite priorizar los eventos según su grado de relevancia para el sistema, lo que facilita la toma de decisiones informadas en la gestión de riesgos. Es crucial, en este sentido, seleccionar adecuadamente el evento inicial, denominado "cabeza del árbol", ya que de esta elección dependerá la precisión del análisis.

El Fault Tree Analysis (FTA) se organiza en tres componentes principales que conforman su estructura gráfica: símbolos de evento, símbolos de compuerta lógica y símbolos de transferencia.

1. Símbolos de evento: Estos representan los acontecimientos que pueden desencadenar o contribuir a una falla en el sistema. Se clasifican en:

- Rectángulo: Señala eventos primarios e intermedios, representando condiciones que se buscan evitar. Indica también eventos derivados a lo largo del análisis.

- Círculo: Marca un evento base, señalando el final de una ruta de análisis, sin permitir más divisiones.

- Diamante: Simboliza un evento no desarrollado o en construcción, lo que implica la necesidad de recopilar más información.

- Elipse: Representa un evento condicionante, que solo ocurre si se cumple una secuencia específica de circunstancias.

43

- Pentágono: Indica un evento externo o foráneo al sistema analizado, pero que puede influir en el resultado final.

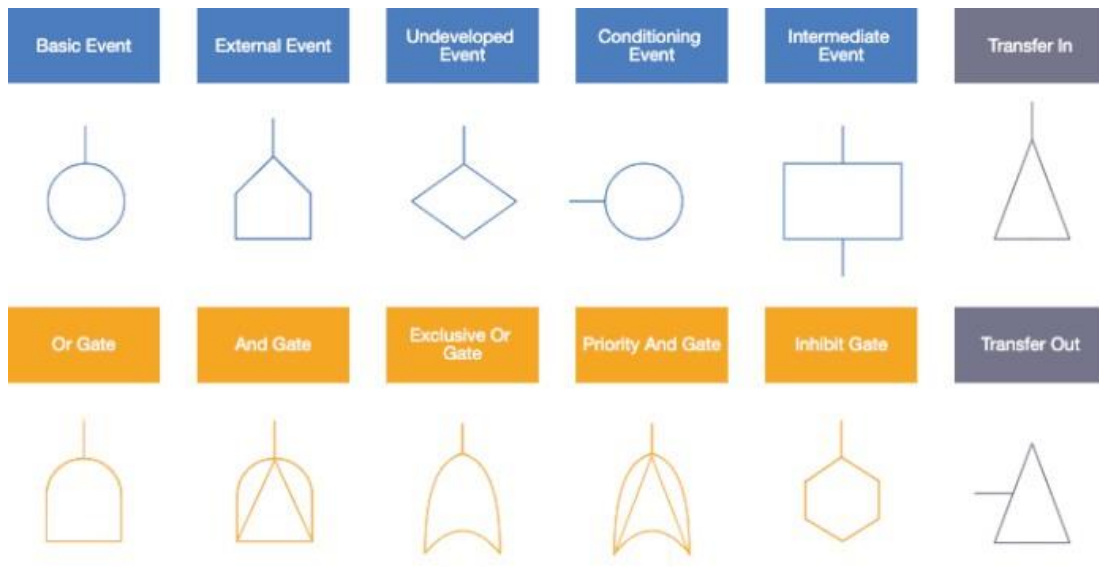


Figura 11. Símbolos de análisis árbol de fallas FTA, imagen tomada de <https://blog.infraspeak.com/es/analisis-de-arbol-de-fallos/>

2. Símbolos de compuerta lógica: Estos símbolos establecen la relación entre los eventos de entrada y salida, basándose en la lógica booleana. Permiten representar diferentes condiciones de salida y validarlas mediante tablas de verdad, ayudando a determinar si se cumplen las condiciones necesarias para que ocurra el evento analizado. Las compuertas lógicas más comunes son:

- Compuerta OR: El evento ocurre si cualquiera de los eventos de entrada se cumple.
- Compuerta AND: El evento solo ocurre si todos los eventos de entrada se cumplen.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

45

- Compuerta XOR (exclusive OR): El evento ocurre si uno, y solo uno, de los eventos de entrada se cumple.

- Compuerta PRIORITY AND: El evento ocurre si los eventos de entrada se cumplen en un orden específico.

3. Símbolos de transferencia: Estos se utilizan para conectar partes del árbol que están relacionadas o para continuar el análisis en otras secciones del diagrama. Se clasifican en:

- Transferencia entrante: Indica la conexión desde otro árbol o diagrama.

- Transferencia saliente: Señala la continuación del análisis en otro punto del árbol o en otro diagrama.

El desarrollo de un árbol de fallos sigue una serie de pasos bien definidos. En primer lugar, se debe realizar una definición precisa del evento no deseado que será la cabeza del árbol. Luego, se procede con la construcción del árbol, organizando los símbolos de eventos y compuertas lógicas de manera jerárquica y lógica. Posteriormente, se lleva a cabo la evaluación del árbol, determinando la probabilidad y el impacto de cada evento en la cadena de fallos. A continuación, se implementan medidas de control de riesgos basadas en los resultados del análisis. Finalmente, se realiza una comparación con otros métodos analíticos para validar la eficacia y precisión del árbol de fallos, y para determinar si es necesario complementar el análisis con otras técnicas de evaluación de riesgos (Aven & Renn, 2019).

45

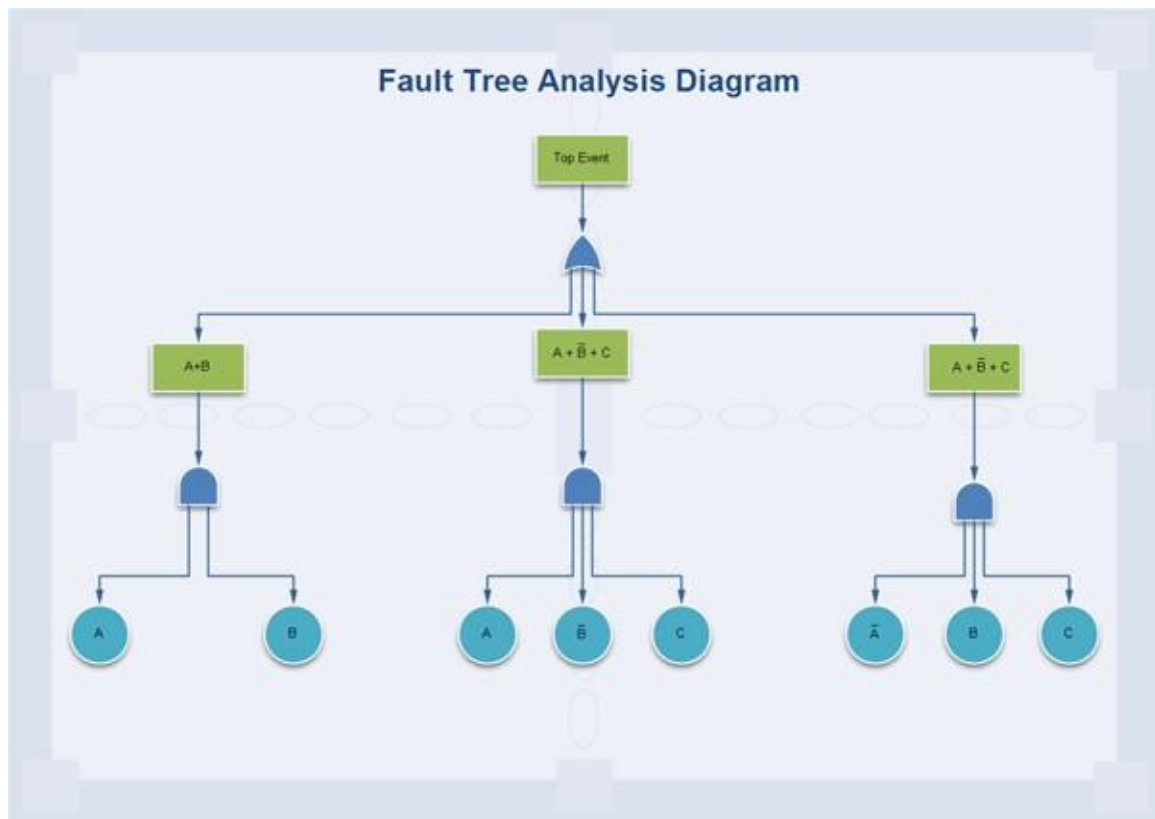


Figura 12. Estructura del árbol de fallas FTA, imagen tomada de <https://www.edrawsoft.com/es/fault-tree-analysis-introduction.html>

El uso del método del árbol de fallos (FTA) en el análisis de problemas de mantenimiento ofrece tanto ventajas como desventajas, las cuales deben ser cuidadosamente consideradas desde una perspectiva investigativa y técnica.

Ventajas del empleo del árbol de fallas en el área de Mantenimiento

Una de las principales ventajas del FTA es su capacidad para realizar una **identificación sistemática de causas. Este método descompone los problemas complejos en eventos más simples y manejables, facilitando la detección de las causas raíz dentro del sistema (Lee, 2018). En el

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

47

ámbito del mantenimiento, esto es especialmente útil, ya que permite aislar los fallos que pueden no ser evidentes a simple vista, mejorando así la precisión en la identificación del problema.

Además, el FTA ofrece una visualización clara y jerárquica de los eventos. El formato en forma de árbol facilita la representación de las relaciones causales entre los distintos eventos, lo que proporciona a los ingenieros y equipos de gestión una herramienta visual efectiva para comprender las interacciones entre los diferentes elementos del sistema (Aven & Renn, 2019). Esto permite una toma de decisiones más informada en las estrategias de mantenimiento.

Otra ventaja significativa es que el FTA permite la priorización de fallos a través del análisis de importancia. Esto ayuda a identificar cuáles eventos tienen un impacto mayor en el sistema, permitiendo que los recursos se asignen de manera más eficiente a las áreas críticas del mantenimiento (Smith, 2020). De esta forma, se optimizan tanto los costos como los tiempos de reparación, lo que resulta crucial en entornos industriales.

Asimismo, el FTA permite un enfoque de prevención proactiva en el mantenimiento. Al identificar posibles fallos antes de que ocurran, los responsables del mantenimiento pueden implementar acciones correctivas anticipadas, lo que disminuye los tiempos de inactividad y los daños potenciales a los equipos (Vesely et al., 2019). Esto es clave en la planificación de mantenimiento preventivo y predictivo.

Finalmente, la flexibilidad de aplicación del FTA lo convierte en una herramienta adaptable a distintos tipos de sistemas, desde maquinaria simple hasta infraestructuras industriales complejas. Esta versatilidad lo hace aplicable en diversos sectores industriales, maximizando su utilidad en la gestión de riesgos y problemas de mantenimiento (Smith, 2020).

47

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Desventajas del empleo del árbol de fallas en el área de Mantenimiento

No obstante, el FTA también presenta desventajas importantes. Una de ellas es la dependencia de datos precisos y completos. La precisión del análisis depende de la calidad de la información disponible sobre los fallos del sistema. En situaciones donde no se dispone de un historial detallado de fallos o de suficiente información técnica, el análisis puede verse comprometido, afectando su eficacia (Aven & Renn, 2019).

Otra limitación del método es la complejidad en sistemas grandes. Cuando el análisis se aplica a sistemas de mantenimiento de gran envergadura, el árbol de fallos puede volverse demasiado extenso, dificultando su interpretación y manejo. Esto, a su vez, incrementa el tiempo necesario para completar el análisis, lo que puede ser poco práctico en situaciones donde se requieren soluciones rápidas (Lee, 2018).

El FTA también presenta dificultades en cuanto a los costos y tiempo de implementación. La construcción de un árbol de fallos detallado puede requerir una inversión significativa de tiempo y recursos, lo que puede no ser viable en el contexto de mantenimiento correctivo urgente, donde se necesita una respuesta inmediata para mitigar fallos (Vesely et al., 2019).

Asimismo, el FTA tiene la limitación de que no considera fallos no anticipados. Este método solo es efectivo para analizar eventos previamente identificados dentro del sistema. Fallos completamente nuevos o no previstos no pueden ser analizados adecuadamente mediante este enfoque, lo que puede llevar a omisiones en la evaluación del sistema (Smith, 2020).

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Por último, el FTA no cuantifica el impacto económico de los fallos identificados. Aunque permite priorizar los fallos en términos técnicos, no proporciona una evaluación directa del impacto financiero que estos pueden tener en el sistema. En problemas de mantenimiento, donde el costo es un factor crucial, esta limitación puede requerir la integración de herramientas complementarias para una evaluación completa del impacto (Aven & Renn, 2019).

Conclusión

En resumen, el uso del árbol de fallos en el análisis de problemas de mantenimiento presenta ventajas significativas, como su capacidad para identificar causas raíz, priorizar fallos y prevenir problemas de manera proactiva. Sin embargo, también tiene desventajas, como la complejidad en sistemas grandes, la necesidad de datos precisos y su incapacidad para prever fallos no anticipados. Aunque el FTA es una herramienta valiosa, su aplicación debe estar acompañada de una planificación adecuada y, en ocasiones, de herramientas complementarias para abordar las limitaciones señaladas.

5.2. Selección de Método a Aplicar.

En la evaluación de los métodos de análisis de causa raíz para abordar la falla recurrente de derrames de líquido en los cilindros hidráulicos del brazo articulado del camión grúa de la empresa Global Tech, se considera que el diagrama de Ishikawa, también conocido como diagrama de espina de pescado, es la opción más adecuada. Al compararlo con otros enfoques como el diagrama de Pareto, los cinco porqués y el árbol de fallas, el método de Ishikawa se destaca por su capacidad para abordar problemas complejos desde una perspectiva integral y estructurada, proporcionando así una solución más práctica y eficiente.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

El diagrama de Ishikawa se caracteriza por organizar visualmente las posibles causas de un problema en diferentes categorías clave, tales como maquinaria, métodos, materiales, mano de obra, medio ambiente y mediciones (Ishikawa, 1986). Este enfoque permite identificar no solo las causas técnicas del derrame de líquido en los cilindros hidráulicos, sino también los factores humanos y organizativos que podrían estar contribuyendo a la recurrencia del fallo. Su diseño visual facilita la colaboración entre equipos multidisciplinarios, permitiendo una comprensión global del problema y un análisis que va más allá de los factores evidentes.

Aunque la regla del 80/20 sugiere que un pequeño número de causas es responsable de la mayoría de los problemas, esto puede llevar a ignorar causas menos frecuentes, pero potencialmente críticas. Al centrarse únicamente en las principales causas identificadas, se corre el riesgo de pasar por altos problemas que, aunque menos comunes, pueden tener un impacto significativo en la operación. (Juran & Godfrey, 1999). Si bien ayuda a identificar las áreas de mayor criticidad, no profundiza en las causas subyacentes de estos fallos, limitando su capacidad para ofrecer soluciones a largo plazo en casos como el derrame de líquido en los cilindros hidráulicos.

El método de los cinco porqués, desarrollado por Toyota, utiliza un proceso de interrogación iterativo que se centra en cuestionar por qué ocurrió un problema hasta cinco veces para encontrar la causa raíz (Ohno, 1988). Este método es útil en problemas simples, pero en casos más complejos, como los derrames en sistemas hidráulicos, su simplicidad puede ser insuficiente. La interacción entre múltiples factores, tanto técnicos como humanos, puede pasar desapercibida

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

con esta técnica, limitando su efectividad en problemas multifactoriales como el que enfrenta Global Tech.

El árbol de fallas, si bien ofrece un análisis jerárquico detallado de las posibles causas mediante la representación de eventos y fallos en una estructura lógica (Vesely et al., 2019), puede resultar demasiado complejo para problemas de mantenimiento recurrentes como los derrames en cilindros hidráulicos. La construcción y análisis del árbol requieren un considerable esfuerzo en la recopilación de datos técnicos detallados, lo que puede ser poco práctico para una intervención rápida y efectiva. Además, el enfoque de este método está más orientado a sistemas críticos, dejando de lado los aspectos humanos y organizativos que también podrían estar involucrados en el fallo.

En contraste, el diagrama de Ishikawa se presenta como la herramienta más equilibrada y práctica para Global Tech, dado que permite analizar simultáneamente tanto factores técnicos como no técnicos que podrían estar causando el derrame de líquido en los cilindros hidráulicos. Su estructura clara facilita la identificación de causas múltiples, y su enfoque visual permite una rápida comprensión por parte de los equipos técnicos y de gestión. Asimismo, este método promueve un enfoque colaborativo, lo que incrementa la probabilidad de encontrar una solución integral y efectiva al problema.

En conclusión, debido a sus características de practicidad, visión integral y capacidad de identificación de causas múltiples, el diagrama de Ishikawa es la mejor opción para la empresa Global Tech en la solución de la falla recurrente de derrames de líquido en los cilindros hidráulicos del brazo articulado del camión grúa. Este método no solo proporciona una comprensión profunda

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

de las causas del fallo, sino que también facilita la implementación de acciones correctivas más efectivas y sostenibles a largo plazo.

5.3. Fallas en los Cilindros Hidráulicos del Brazo Articulado de Camión Grúa y Aplicación de Método de Ishikawa para la Identificación de sus Causa Raíz.

En la empresa Global Tech, se presentó una falla significativa en el camión grúa, caracterizada por fugas de aceite en los racores y acoples de las mangueras de los cilindros hidráulicos del brazo articulado. En este trabajo se detalla el proceso de análisis de causa raíz llevado a cabo para identificar los factores subyacentes de esta falla y las acciones correctivas propuestas.

Según el historial de mantenimiento del camión grúa, el equipo ha identificado una falla recurrente en los reportes de mantenimiento correctivo. Esta falla está asociada a fugas de aceite hidráulico en los racores y acoples de las mangueras de los cilindros hidráulicos del brazo articulado. Además, se han registrado temperaturas elevadas del aceite hidráulico, lo que sugiere problemas adicionales en el sistema.

Ante esta situación, el equipo decidió llevar a cabo un análisis exhaustivo de las posibles fallas. Para ello, se optó por implementar un método de Análisis de Causa Raíz, diagrama de Ishikawa, con el objetivo de identificar y abordar los factores que contribuyen a estos problemas recurrentes.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020



Figura 13. Cambio de racor de brazo articulado camión grúa Global Tech.

El equipo del departamento de mantenimiento de Global Tech, integrado por ingenieros, técnicos de mantenimiento, operadores de grúas y personal de seguridad, se reunió para desarrollar la metodología de análisis propuesta. La reunión se llevó a cabo en las instalaciones de la empresa, donde se contó con la presencia de todos los miembros mencionados. Durante el encuentro, se expusieron los objetivos que se pretendían alcanzar y se ofreció una breve charla para contextualizar el tema a tratar, asegurando que todos los asistentes comprendieran la importancia del análisis y su impacto en las operaciones de la empresa.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020



Figura 14. foto de reunión para desarrollo de RCA



Figura 15. foto de reunión para desarrollo de RCA

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

55

Durante la reunión, se explicó en qué consiste el diagrama de Ishikawa y cómo se desarrolla esta metodología. Se expusieron las diferentes categorías del diagrama y se comenzó a trabajar en la elaboración del esquema.



Figura 16. foto de reunión para desarrollo de RCA

Finalmente, se dio forma al diagrama de Ishikawa y a cada una de sus categorías, quedando estructurado de la siguiente manera:

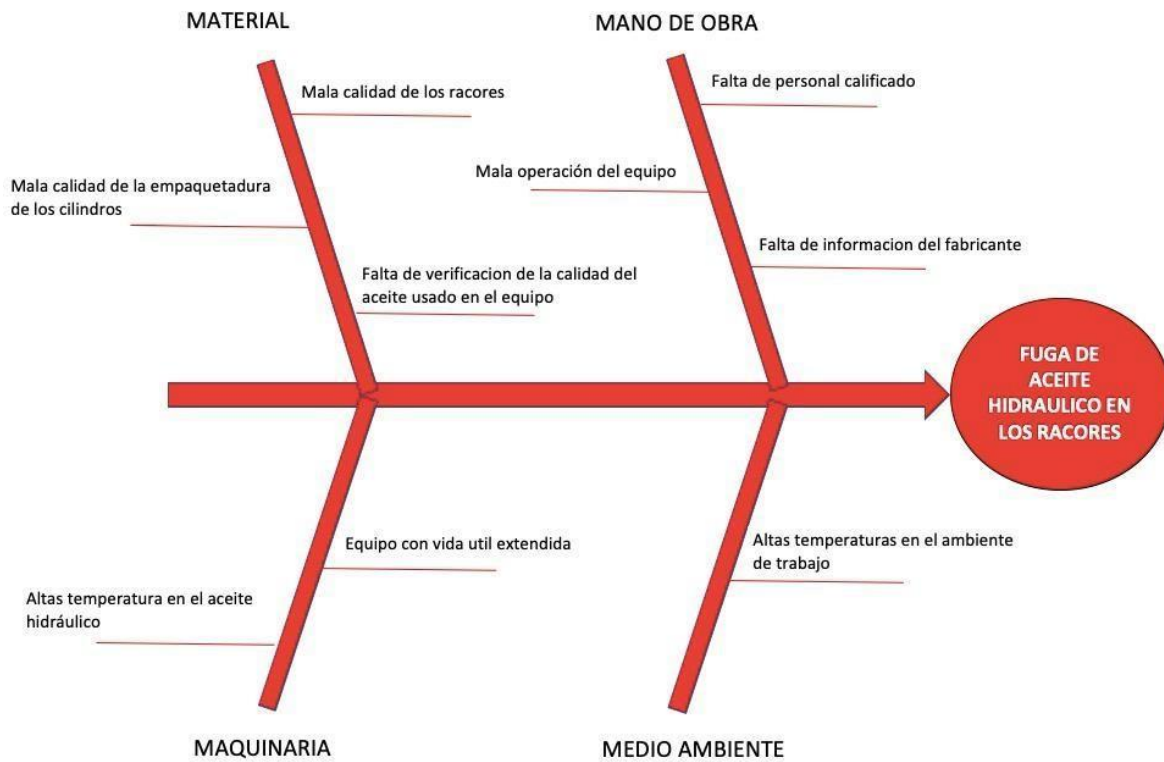


Figura 17. Imagen de diagrama de Ishikawa.

Mano de obra

- Falta de conocimiento por parte del operador del equipo.
- Insuficiencia de personal calificado para realizar el mantenimiento de este tipo de equipos.
- Falta de información por parte del fabricante acerca del funcionamiento y mantenimiento del equipo.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

57

Material

- Mala calidad de los racores instalados, lo que podría comprometer la eficiencia del sistema.

- Deficiente calidad de la empaquetadura de los cilindros, que puede causar fugas y fallas en el funcionamiento.

- Necesidad de verificar el tipo de aceite utilizado, ya que un aceite inadecuado puede afectar el rendimiento del equipo.

Maquinaria

- Tiempo de uso del equipo, que puede influir en su desgaste y necesidad de mantenimiento.

- Temperatura del aceite hidráulico, un factor crítico que afecta la operatividad y durabilidad del equipo.

Medio ambiente

- Temperatura del ambiente, que puede impactar en el funcionamiento del equipo y en la calidad de los materiales utilizados.

Este esquema proporciona una base sólida para identificar y analizar las posibles causas de problemas en el proceso, facilitando la implementación de mejoras efectivas.

57



Figura 18. foto de reunión para desarrollo de RCA.


	REGISTRO DE ASISTENCIA					FOR-HSEQ-030
						REV. 05
						16/09/2023
LUGAR: <i>Global Tech</i>			FECHA: <i>17/10/2024</i>		DURACIÓN: <i>2 H.</i>	
EXPOSITOR: <i>Sergio Heron Rgms</i>			TITULO / CARGO: <i>Coord. Mantenimiento</i>			
EMPRESA: <i>Global Tech</i>			FIRMA: <i>[Signature]</i>			
REUNIÓN	GERENCIAL	CALIDAD QA/QC	PROYECTOS	C. PESV	COPASST	
	HSE	ADMINISTRACIÓN	AUDITORIA	ARL	C.C.L	
ACTIVIDAD	INDUCCIÓN	CAPACITACIÓN	CAMPAÑA	DIVULGACION	CHARLA	
	REINDUCCIÓN	ENTRENAMIENTO	SIMULACRO	OTRO	LEY 50	
TEMA: <i>Análisis causa raíz para falla en camión grúa TSU 561. Global Tech.</i>						
ASISTENTES						
No	NOMBRES Y APELLIDOS	N° CEDULA	CARGO / EMPRESA	FIRMA		
1	<i>Juan Parado</i>	<i>1051467438</i>	<i>op Camioneros</i>	<i>[Signature]</i>		
2	<i>Juan Sanchez</i>	<i>1115910780</i>	<i>Aprendiz / Global</i>	<i>[Signature]</i>		
3	<i>Daniel Morales</i>	<i>1007466585</i>	<i>Aux. Mecanico</i>	<i>[Signature]</i>		
4	<i>Jefferson Bahamon</i>	<i>1110413489</i>	<i>Electromecanico / Global</i>	<i>[Signature]</i>		
5	<i>Sergio Rgms</i>	<i>1110499669</i>	<i>Coord. mantenimiento</i>	<i>[Signature]</i>		
6	<i>Elián Felipe Arce</i>	<i>1007410378</i>	<i>IAJ. Junior</i>	<i>[Signature]</i>		
7						
8						
9						

Figura 19. Registro de asistencia a reunión RCA.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Con todas las causas recopiladas, se procede a elaborar una tabla en Excel que refleja dichas causas junto con sus posibles soluciones. En esta tabla, se evalúan los criterios de cada causa y se asignan valores del 1 al 3, donde 1 representa el valor más bajo y 3 el más alto. Además, se incluye una de las soluciones propuestas para cada causa, la evaluación de los criterios se realizó con todo el personal de mantenimiento y operadores del equipo.

En el desarrollo de la tabla de evaluación para el análisis de los resultados de la espina de Ishikawa, se plantea un enfoque sistemático que abarca seis columnas organizadas de manera que facilitan la interpretación y la toma de decisiones. La estructura de la tabla está diseñada para abordar las posibles causas de una falla, sus soluciones y una evaluación cuantitativa de estas. Este esquema sigue una lógica coherente que permite a los investigadores analizar la relevancia y viabilidad de cada posible causa y su respectiva solución.

La primera columna está destinada a identificar las causas, las cuales se agrupan bajo las categorías establecidas por la espina de Ishikawa. Estas categorías incluyen, entre otras, factores como la mano de obra, materiales, maquinaria y medio ambiente. Debajo de cada categoría, se enlistan las posibles causas específicas que podrían estar contribuyendo a la falla en análisis.

En la segunda columna, se describe la solución planteada para cada causa identificada. Esta columna es clave, ya que proporciona las acciones correctivas o preventivas que pueden implementarse para mitigar o eliminar la falla en cuestión.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

A partir de la tercera columna, el análisis se vuelve más profundo con la incorporación de los criterios de evaluación, que se organizan en las siguientes preguntas clave:

1. ¿Es un factor que lleva al problema? Esta pregunta permite identificar si la causa mencionada tiene un peso significativo en la ocurrencia de la falla, es decir, si es un factor relevante que contribuye directamente al problema.

2. ¿Ocasiona directamente el problema? Aquí se busca determinar si la causa es el detonante directo de la falla. En este sentido, es crucial evaluar el impacto directo de la causa en el fallo del equipo o proceso.

3. Si esto es eliminado, ¿se corrige el problema? Este criterio explora si la eliminación de la causa resolvería por completo el problema, o si su mitigación simplemente reduce los efectos, pero no los elimina.

4. ¿Se puede plantear una solución factible? En este punto, se evalúa si la solución propuesta es viable, tanto técnica como operacionalmente. Es decir, se cuestiona si la implementación de la solución es realista dentro de las capacidades de la empresa.

5. ¿Se puede medir si la solución funciona? Este criterio mide la efectividad de la solución en términos tangibles, como reducción de costos, mejoras en el rendimiento o retorno sobre la inversión. El objetivo es saber si los resultados podrán ser cuantificados y si se podrá verificar la eficacia a largo plazo.

6. ¿La solución es de bajo costo? Finalmente, se evalúa el costo de la solución. Este criterio es esencial, ya que permite identificar soluciones que no solo sean efectivas, sino también

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

61

económicamente viables. En un entorno empresarial, la reducción de costos y la optimización de recursos son elementos fundamentales para la toma de decisiones.

Cada uno de estos criterios se califica en una escala de 1 a 3, donde 1 representa una valoración baja, 2 una valoración intermedia y 3 la más alta. Este sistema de evaluación asegura una cuantificación clara y objetiva de cada causa y solución.

61

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

63

CAUSAS	SOLUCIONES	CRITERIOS						TOTALES
MANO DE OBRA	SOLUCIÓN	FACTOR	CAUSA DIRECTA	SOLUCIÓN	FACTIBLE	MEDIBLE	BAJO COSTO	TOTAL
Falta de personal calificado	Capacitar al personal mediante programas de formación especializada en el mantenimiento y operación de equipos hidráulicos	2	1	1	3	1	1	9
Mala operación del equipo	Implementar procedimientos operativos estandarizados (SOP) y capacitar al personal en el uso adecuado del equipo para evitar prácticas inadecuadas.	2	1	1	1	1	3	9
Falta de información del fabricante	Solicitar y distribuir los manuales y guías técnicas del fabricante a todo el personal. Además, establezca un canal directo con el proveedor para resolver dudas técnicas.	3	1	3	1	1	2	11
MATERIAL	SOLUCIÓN	FACTOR	CAUSA DIRECTA	SOLUCION	FACTIBLE	MEDIBLE	BAJO COSTO	TOTAL
Mala calidad de los racores instalados	Utilizar racores de alta calidad y certificados para sistemas hidráulicos, verificando las especificaciones del fabricante.	3	3	3	3	3	1	16
Mala calidad de la empaquetadura de los cilindros	Sustituir la empaquetadura por componentes de mayor calidad que sean adecuados para las condiciones de operación, como presión y temperatura.	2	2	1	3	3	1	12
Falta de verificación de la calidad del aceite usado en el equipo	Implementar un programa regular de análisis de aceite para verificar su calidad y propiedades mediante ficha técnica, y cambiar el aceite de acuerdo plan de mantenimiento.	3	2	1	3	3	2	14
MAQUINARIA	SOLUCIÓN	FACTOR	CAUSA DIRECTA	SOLUCION	FACTIBLE	MEDIBLE	BAJO COSTO	TOTAL
Equipo con vida útil extendida	Realice evaluaciones regulares de la condición del equipo para identificar signos de desgaste crítico. Considere la renovación o reemplazo del equipo cuando sea necesario.	2	1	3	1	3	1	11
Altas temperatura en el aceite hidráulico	Instalar un sistema de enfriamiento adicional para el aceite hidráulico o mejorar el sistema de refrigeración existente para mantener temperaturas óptimas de operación.	3	3	2	3	3	2	16
MEDIO AMBIENTE	SOLUCIÓN	FACTOR	CAUSA DIRECTA	SOLUCIÓN	FACTIBLE	MEDIBLE	BAJO COSTO	TOTAL
Altas temperaturas en el ambiente de trabajo	Implementar medidas para mejorar la ventilación o enfriamiento en el área de trabajo, como la instalación de ventiladores industriales o sistemas de aire acondicionado para reducir la temperatura ambiente.	1	2	1	1	1	2	8

Figura 20. Cuadro de evaluación a los criterios de causa y solución.

63

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Finalmente, en la última columna, se suman los resultados de la evaluación para obtener un puntaje total. Este puntaje global permite identificar las causas y soluciones con mayores probabilidades de éxito. Las causas con los puntajes más altos son aquellas que deben ser priorizadas en la toma de decisiones, dado que cumplen con los criterios de relevancia, factibilidad y costo, lo que garantiza una estrategia de intervención más efectiva.

Este enfoque estructurado no solo facilita la identificación de las causas más relevantes, sino que también permite evaluar soluciones de manera integral, apoyando la toma de decisiones informada y optimizada para la resolución de fallas en el contexto empresarial.

5.4 Estrategias de mejoramiento al programa de mantenimiento.

Con los resultados del análisis RCA sobre las fallas del camión grúa, se procede a implementar cambios en el programa de mantenimiento del equipo. Este ajuste busca asegurar la ejecución efectiva del cronograma y la inclusión de nuevos criterios que aborden las fallas identificadas, garantizando así la operatividad del camión a lo largo del tiempo.

Una de las primeras estrategias a aplicar, según el análisis, consiste en realizar cambios programados y periódicos de los racores y acoples de las mangueras, ya que se han identificado como la principal causa de las fallas. Para llevar a cabo esta tarea, es esencial coordinar con el área de compras para verificar tanto la calidad como la capacidad de los racores que serán reemplazados. El reemplazo se realizará de manera controlada, registrando la fecha de instalación para asegurar una adecuada trazabilidad. Según las recomendaciones del fabricante, es necesario cambiar los racores cada 1500 horas de operación o al menos una vez al año. Esto se debe a que,

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

al estar expuestos a condiciones medioambientales adversas, las juntas tóricas y de elastómero pueden verse comprometidas.

La segunda causa identificada se relaciona con la temperatura del aceite hidráulico. Se llevará a cabo una revisión exhaustiva del sistema de enfriamiento del aceite, con el objetivo de verificar todas sus conexiones y su funcionamiento. Esta revisión se incorporará en cada mantenimiento preventivo, garantizando así el buen rendimiento del sistema y facilitando la trazabilidad de las intervenciones. Además, se realizará una evaluación del tipo de aceite utilizado, para confirmar que sea el más adecuado para el funcionamiento óptimo del equipo.

Con estas acciones, se busca no solo corregir las fallas existentes, sino también establecer un programa de mantenimiento proactivo que prolongue la vida útil del camión grúa y asegure su disponibilidad operativa.

GLOBAL TECH SERVICIOS & SOLUCIONES		CRONOGRAMA DE MANTENIMIENTO PARA VEHICULOS										FOR-MTO-023		
												REV: 02		
												4/12/2023		
RESPONSABILIDADES														
Gerente:		1. Responsable de garantizar y aprobar los recursos para la adecuada implementación del programa.												
Coordinador HSE		1. Responsable de planear y coordinar la implementación de las actividades relacionadas con el programa, así como de realizar la medición y seguimiento del mismo, tiene la autoridad de tomar decisiones referentes a la protección de la salud y seguridad del trabajador, al ambiente y a los intereses de la empresa.												
Supervisor SYSO:		1. Responsable de verificar el cumplimiento de los lineamientos definidos en el programa y los demás elementos que lo conforman para asegurar que las actividades programadas se ejecuten de acuerdo con los lineamientos.												
Ejecutor del programa de mantenimiento:		1. Realizar todas la actividades programadas. 2. cumplir con las normas de salud y seguridad en el trabajo convenientes para desarrollar los mantenimientos. 3. Seguir las recomendaciones de seguridad y cumplimiento de lineamientos del programa cada vez que realicen una actividad de mantenimiento.												
ACTIVIDADES ESPECÍFICAS PARA MANTENIMIENTO DE VEHICULO CAMION GRUA INTERNATIONAL TSU561														
N.º	ACTIVIDAD	RECURSOS	11000 H	11300 H	11600 H	11900 H	12200 H	12500 H	12800 H	13100 H	13400 H	13700 H	14000 H	14300 H
1	Numero de mantenimientos realizados	Equipo de oficina	P											
			E											
Implementación														
2	Inspeccion, cambio de aceite y filtro de motor	Presupuesto	P											
			E											
3	Cambio de Filtro purificador de aire (tipo papel seco)	Presupuesto	P											
			E											
4	Inspeccion sistema de refrigeracion de motor	Presupuesto	P											
			E											
5	Cambio de correa para accesorios motor y rodillo patin	Presupuesto	P											
			E											
6	Realizar engrase de rodamientos y cardan	Presupuesto	P											
			E											
7	Inspección o cambio de filtro de combustible	Presupuesto	P											
			E											
8	Realizar inspeccion a tolerancia de las valvulas de entrada y salida	Presupuesto	P											
			E											

Figura 21. Formato cronograma de mantenimiento para vehículos.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

66

Se llevará a cabo la inclusión de dos nuevos puntos en el cronograma de mantenimiento de vehículos de la empresa Global Tech, con el objetivo de garantizar el cumplimiento riguroso de las rutinas de mantenimiento. Esta modificación permitirá llevar un registro detallado de los cambios implementados y su impacto en el indicador de confiabilidad del equipo.


		CRONOGRAMA DE MANTENIMIENTO PARA VEHICULOS												FOR-MTO-029 REV: 02 26/10/2024	
RESPONSABILIDADES															
Gerente:		1. Responsable de garantizar y aprobar los recursos para la adecuada implementación del programa.													
Coordinador HSE		1. Responsable de planear y coordinar la implementación de las actividades relacionadas con el programa, así como de realizar la medición y seguimiento del mismo, tiene la autoridad de tomar decisiones referentes a la protección de la salud y seguridad del trabajador, al ambiente y a los intereses de la empresa.													
Supervisor SYSO:		1. Responsable de verificar el cumplimiento de los lineamientos definidos en el programa y los demás elementos que lo conformen para asegurar que las actividades programadas se ejecuten de acuerdo con los lineamientos.													
Ejecutor del programa de mantenimiento:		1. realizar todas la actividades programadas. 2. cumplir con las normas de salud y seguridad en el trabajo convenientes para desarrollar los mantenimientos. 3. Seguir las recomendaciones de seguridad y cumplimiento de lineamientos del programa cada vez que realicen una actividad de mantenimiento.													
ACTIVIDADES ESPECÍFICAS PARA MANTENIMIENTO DE VEHICULO CAMION GRUA INTERNATIONAL TSU561															
N o.	ACTIVIDAD	RECURSOS		11000 H	11300 H	11600 H	11900 H	12200 H	12500 H	12800 H	13100 H	13400 H	13700 H	14000 H	14300 H
1	Numero de mantenimientos realizados	Equipo de oficina		P	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E
Implementación															
2	Realizar revisión y cambio de racores cada 1500 horas o un año después de su instalación.	Presupuesto		P	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E
3	Realizar revisión de sistema de enfriamiento de brazo articulado para verificar su funcionamiento.	Presupuesto		P	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E
4	Inspección sistema de refrigeración de motor	Presupuesto		P	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E
5	Cambio de correa para accesorios motor y rodillo patin	Presupuesto		P	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E

Figura 22. Cronograma de mantenimiento para vehículos, con los cambios realizados.

Con la incorporación de estos nuevos puntos, se considera que se han alcanzado los tres objetivos específicos planteados en este trabajo. Además, el departamento de mantenimiento realizará un seguimiento continuo del funcionamiento del camión grúa para evaluar si las modificaciones realizadas han generado un efecto positivo en el desarrollo de las operaciones de la organización.

66

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

67

Este enfoque proactivo no solo busca optimizar el rendimiento del camión grúa, sino también contribuir a una cultura de mejora continua en Global Tech, asegurando que cada cambio implementado se traduzca en beneficios tangibles para la eficiencia operativa.

6. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

6.1. Conclusión general

El análisis de causa raíz de las fallas recurrentes en los cilindros hidráulicos del brazo articulado del camión grúa de Global Tech evidencia la efectividad del diagrama de Ishikawa como herramienta para identificar y organizar las causas principales de estas averías. Los resultados destacan que las causas con mayor impacto son la mala calidad de los racores instalados y las altas temperaturas en el aceite hidráulico, factores que generan fugas recurrentes y reducen la vida útil del sistema hidráulico. Este enfoque no solo permite abordar de manera sistemática estas deficiencias, sino que también contribuye a incrementar la confiabilidad del equipo, previniendo accidentes laborales y asegurando una operatividad continua que apoya las actividades industriales de la empresa.

6.2. Fortalezas, limitaciones y restricciones

Una de las fortalezas de este análisis es su enfoque sistemático, que facilita una colaboración efectiva entre los técnicos al presentar visualmente las causas de las fallas y su relación con factores críticos. Sin embargo, la dependencia de los registros históricos de

67

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

68

mantenimiento limita la aplicabilidad del análisis a condiciones operativas similares. Además, el éxito de las recomendaciones está condicionado a la capacidad de Global Tech para implementar medidas preventivas continuas, incluyendo la mejora en la capacitación del personal y la calidad de los componentes empleados.

6.3. Conclusiones generales

La elección del diagrama de Ishikawa como método de análisis de causa raíz resulta adecuada para tratar problemas multifactoriales. Este enfoque permite identificar y priorizar factores críticos como la calidad de los racores y las altas temperaturas del aceite, facilitando la toma de decisiones para optimizar la confiabilidad del camión grúa e implementar intervenciones precisas en el plan de mantenimiento.

La revisión de los datos históricos de fallas en el equipo revela patrones consistentes de deterioro y fugas en los racores, junto con sobrecalentamiento en el sistema hidráulico. Estos hallazgos ofrecen una base sólida para implementar soluciones específicas, tales como la selección de puntos de alta calidad y la revisión del sistema de enfriamiento, aspectos fundamentales para reducir la recurrencia de las fallas.

La aplicación del análisis de causa raíz permite definir acciones concretas para el plan de mantenimiento preventivo, como la incorporación de inspecciones periódicas para el monitoreo de los racores y el control de la temperatura del aceite hidráulico. Estas acciones están orientadas

68

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

a mitigar las causas principales de las fallas, optimizando la operatividad y reduciendo la incidencia de problemas mecánicos en el mediano y largo plazo.

6.4. Recomendaciones

Para mejorar la durabilidad y el rendimiento del camión grúa, se recomienda la instalación de sensores de monitoreo en tiempo real para detectar fugas y variaciones en la presión y temperatura del sistema hidráulico. Además, se sugiere la adquisición de racores de alta calidad y la capacitación periódica del personal técnico, lo cual contribuye a una intervención más oportuna y efectiva de las fallas.

6.5. Trabajo futuro

Este estudio abre la posibilidad de realizar futuras investigaciones sobre el mantenimiento predictivo, empleando tecnologías de monitoreo en tiempo real y análisis de datos. Asimismo, se plantea la exploración de herramientas de inteligencia artificial que optimizan la predicción de fallas y la programación de ciclos de mantenimiento en otros equipos críticos de la empresa, asegurando una mayor eficiencia y seguridad en las operaciones de Global Tech.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

70

7. REFERENCIAS

Acosta, J. D. C. O., Soler, V. G., & Molina, A. I. P. (2017). Herramientas para el análisis de causa raíz (ACR). *3c Empresa: investigación y pensamiento crítico*, (1), 1-9.

Altmann, C. (agosto de 2006). *2nd Congreso Uruguayo de Mantenimiento, Gestión de Activos y Confiabilidad, Montevideo, Uruguay*.

Arias Velásquez, RM, & Mejía Lara, JV (2022). Conversión de datos en conocimiento con metodología *RCA mejorada para análisis de fallas en inversores* . *Heliyon*, 8, e10094 .
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10094>

Aven, T., & Renn, O. (2019). *Risk Management and Governance: Concepts, Guidelines, and Applications*. Springer.

Aven, T., & Renn, O. (2019). *Risk Management and Governance: Concepts, Guidelines, and Applications*. Springer.

Bhasin, S. (2015). *Lean management beyond manufacturing: A holistic approach*. Springer.

Bonet, C. (2005). Ley de Pareto aplicada a la fiabilidad. *Instituto Superior Politécnico*, 8(3).
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=225118188010>.

Brandón, Á., Solé, M., Huélamo, A., Solans, D., Pérez, MS, & Muntés-Mulero, V. (2020). *Análisis de causa raíz basado en gráficos para arquitecturas de microservicios y orientadas a servicios* .
<https://doi.org/10/j.jss.2019.110>.

70

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

71

Castro-Castro, J. D., & Cendales-Ladino, E. D. (2019). Casos aplicados del análisis de causa raíz: revisión. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 29(1), 95-134.

DeZoort, F. T., & Pollard, T. J. (2023). An evaluation of root cause analysis use by internal auditors. *Journal of Accounting and Public Policy*, 42, 107081. <https://doi.org/10.1016/j.jaccpubpol.2023.107081>

García, R., & Romero, L. (2018). Estrategias de mantenimiento predictivo y su impacto en la eficiencia de los sistemas industriales. *Revista de Ingeniería Industrial*, 24(1), 45-59.

Gryna, F. M., Chua, R. C. H., & DeFeo, J. A. (2007). *Juran's quality planning and analysis for enterprise quality* (5th ed.). McGraw-Hill.

Hassan, YB, Orabi, M. y Gaafar, MA (2023). *Análisis de causas de fallas de inversores fotovoltaicos conectados a la red basado en análisis de firmas de fallas (FCA-B-FSA)* . *Energía solar*, [2https://doi.org/10.1016/j.solener.2023.111831](https://doi.org/10.1016/j.solener.2023.111831) .

Hidromas. (mayo de 2017). *Comprender qué causas y cómo evitar las principales fallas de los cilindros hidráulicos en la línea de la carretera*. Obtenido de hidromas brasil: <https://www.hidromasbrasil.com/articulos/comprender-que-causas-y-como-evitar-las-principales-fallas-de-los-cilindros-hidraulicos-en-la-linea-de-la-carretera>.

Ishikawa, K. (1990). *Introduction to quality control*. Chapman & Hall.

Juran, J. M. (1954). *Quality control handbook*. McGraw-Hill.

71

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

72

Juran, J. M., & Godfrey, A. B. (1999). *Juran's quality handbook* (5th ed.). McGraw-Hill.

Kottre, A., Schöler, T. y Legat, C. (2023). Aprovechamiento del análisis de causa raíz basado en semántica con reducción de inundaciones de alarmas. <https://doi.org/10.1007/s12220-023-10031-1>.

Lee, J. (2018). *Fault Tree Analysis in System Maintenance: A Practical Guide*. *Industrial Maintenance Journal*, 34(2), 45-59.

Liker, J., & Meier, D. (2006). *The Toyota way fieldbook*. McGraw-Hill.

Lin Li a, Y. H. (2018). Método de segmentación temporal destacado y detector AdaBoost-BP para evaluación de fugas internas de un cilindro hidráulico. *Sciencedirect*.

Martínez-Gil, J., Buchgeher, G., Gabauer, D., Freudenthaler, B., Filipiak, D., y Fensel, A. (2022). Análisis de causa raíz en el ámbito industrial mediante gráficos de conocimiento: un estudio de caso sobre transformadores de potencia . *Procedia Computer Science*, 200, 944–9 <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.01.292> .

Montoya, P. (2019). Optimización de procesos de mantenimiento mediante análisis de datos y herramientas estadísticas. [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Ingeniería].

Mulenga, K., Zhao, X., Xie, M. y Chikamba, C. (2018). *Investigación de las causas fundamentales de las principales fallas de los componentes críticos: con un estudio de caso de las tuberías de fibrocemento* . *Ingeniería* <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2017.08.0>

Ohno, T. (1988). *Toyota production system: Beyond large-scale production*. Productivity Press.

72

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

73

Pedro Ruiz-Lopez, C. G.-S.-E. (2005). *Revista de Calidad Asistencial*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1134282X08747262>

Smith, P. (2020). System Reliability and Fault Tree Analysis. *Engineering Risk Management*, 12(3), 97-113.

Steenwinckel, B., De Paepe, D., Vanden Haute, S., Heyvaert, P., Bentefrit, M., Moens, P., ... y Ongena, F. (2021). FLAGS : una metodología para la detección adaptativa de anomalías y el análisis de la causa raíz en flujos de datos de sensores mediante la fusión del *conocimiento experto con el aprendizaje automático* . *Future Generation Computer Systems*, 116 , 30-48 . <https://doi.org/10.1016/j.future.2020.10.015> .

Tague, N. R. (2005). *The quality toolbox* (2nd ed.). ASQ Quality Press.

Tolentino, M. (2015). El impacto del diagrama de Pareto en la mejora de procesos industriales. *Revista Internacional de Ingeniería y Tecnología*, 3(2), 78-85.

Tolentino, S. (2015). Principio de Pareto su uso en la Industria cervecera y su posible vinculación con la enseñanza de las matemáticas. [Tesis de Maestría, Instituto Politécnico Nacional]. Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada.

Vesely, W. E., Goldberg, F. F., Roberts, N. H., & Haasl, D. F. (2019). *Fault Tree Handbook with Aerospace Applications*. NASA

73

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

74

Wang, K., Liu, C., & Lu, Y. (2024). Ensemble Bayesian Network for root cause analysis of product defects via learning from historical production data. *Journal of Manufacturing Systems*, 75, 102–115. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2024.06.001>.

Wilson, F. (2017). *Root cause analysis: Improving performance for bottom-line results*. CRC Press

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

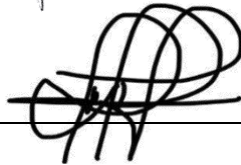
1

FIRMA ESTUDIANTES

Sergio Hernán Rojas Jiménez



Jorge Andrés Leiva Morantes



FIRMA ASESORES

Daniel S. V.



FECHA ENTREGA: 12 de noviembre de 2024.

1