



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela Ingeniería Mecánica Industrial

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE UN PROGRAMA DE INSPECCIÓN DE MANTENIMIENTO
POR MEDIO DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS EN FLOTA DE REMOLQUES DE VOLTEO
Y CISTERNAS EN UNA EMPRESA UBICADA EN EL DEPARTAMENTO DE
ESCUINTLA, GUATEMALA**

Jonathan Oliver Guzmán Ruano

Asesorado por el MA Airons Alejandro Retana Esquivel

Guatemala, julio de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE UN PROGRAMA DE INSPECCIÓN DE MANTENIMIENTO
POR MEDIO DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS EN FLOTA DE REMOLQUES DE VOLTEO
Y CISTERNAS EN UNA EMPRESA UBICADA EN EL DEPARTAMENTO DE
ESCUINTLA, GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

JONATHAN OLIVER GUZMÁN RUANO

ASESORADO POR EL MA AIRONS ALEJANDRO RETANA ESQUIVEL

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL

GUATEMALA, JULIO DE 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

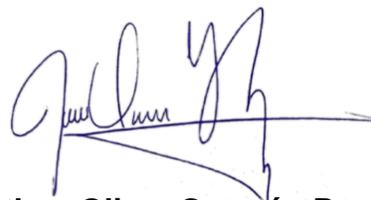
DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Inga. María del Rosario Colmenares De Guzmán
EXAMINADOR	Ing. Esdras Feliciano Miranda Orozco
EXAMINADOR	Ing. Pablo Fernando Hernández
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE UN PROGRAMA DE INSPECCIÓN DE MANTENIMIENTO
POR MEDIO DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS EN FLOTA DE REMOLQUES DE VOLTEO
Y CISTERNAS EN UNA EMPRESA UBICADA EN EL DEPARTAMENTO DE
ESCUINTLA, GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha 27 de junio de 2022.



Jonathan Oliver Guzmán Ruano



EEPFI-PP-0772-2022

Guatemala, 17 de junio de 2022

Director
César Ernesto Urquizú Rodas
Escuela Ingeniería Mecánica Industrial
Presente.

Estimado Ing. Urquizú

Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería.

El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el Diseño de Investigación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PROGRAMA DE INSPECCIÓN DE MANTENIMIENTO POR MEDIO DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS EN FLOTA DE REMOLQUES DE VOLTEO Y CISTERNAS EN UNA EMPRESA UBICADA EN EL DEPARTAMENTO DE ESCUINTLA, GUATEMALA**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Normalización del Mantenimiento - Fundamentación de Técnicas de Mantenimiento con Base a Normas Internacionales**, presentado por el estudiante **Jonathan Oliver Guzman Ruano** carné número **200112985**, quien optó por la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría en ARTES en Ingeniería De Mantenimiento.

Y habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Décimo, Inciso 10.2 del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Atentamente,


Alejandro Retana
Ingeniero Electricista
Colegiado 10992

Mtro. Airons Alejandro Retana Esquivel
Asesor(a)

"Id y Enseñad a Todos"



Mtra. Rocio Carolina Medina Galindo
Coordinador(a) de Maestría



Mtro. Edgar Darío Alvaréz Cotí
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería





EEP-EIMI-0772-2022

El Director de la Escuela Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador y Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, del Diseño de Investigación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PROGRAMA DE INSPECCIÓN DE MANTENIMIENTO POR MEDIO DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS EN FLOTA DE REMOLQUES DE VOLTEO Y CISTERNAS EN UNA EMPRESA UBICADA EN EL DEPARTAMENTO DE ESCUINTLA, GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario **Jonathan Oliver Guzman Ruano**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS



Ing. César Ernesto Urquizú Rodas
Director
Escuela Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, junio de 2022

Decanato
Facultad de Ingeniería
24189101- 24189102
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

LNG.DECANATO.OI.554.2022

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE UN PROGRAMA DE INSPECCIÓN DE MANTENIMIENTO POR MEDIO DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS EN FLOTA DE REMOLQUES DE VOLTEO Y CISTERNAS EN UNA EMPRESA UBICADA EN EL DEPARTAMENTO DE ESCUINTLA, GUATEMALA**, presentado por: **Jonathan Oliver Guzmán Ruano**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Aurelia Ariabela Cordova Estrada
Decana

Guatemala, julio de 2022

AACE/gaoc

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO.....	IX
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	5
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	11
4. JUSTIFICACIÓN	15
5. OBJETIVOS	17
5.1. Objetivo General.....	17
5.2. Objetivos Específicos	17
6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN	19
6.1. Primera etapa: Revisión documental	19
6.2. Segunda etapa: Identificación de fallas	20
6.3. Tercera etapa: Determinar las técnicas END	20
6.4. Cuarta etapa: Estimar los beneficios	20
7. MARCO TEÓRICO.....	23
7.1. Transporte de carga	23

7.1.1.	Gestión de flota	23
7.1.2.	Indicadores de desempeño	25
7.1.3.	Cadena de Suministro.....	26
7.1.3.1.	Definición.....	26
7.1.3.2.	Objetivo	27
7.1.3.3.	Administración	27
7.1.3.4.	Distribución.....	29
7.1.3.5.	Logística	29
7.2.	Gestión del mantenimiento.....	30
7.2.1.	Definición	30
7.2.2.	Función	30
7.2.3.	Objetivo.....	30
7.2.4.	Niveles	31
7.2.5.	CMD	32
7.2.6.	RCM.....	33
7.3.	Ensayos no destructivos	35
7.3.1.	Definición	35
7.3.2.	Objetivo.....	36
7.3.3.	Clasificación de los Ensayos No Destructivos.....	36
7.3.3.1.	Inspección o ensayo Visual Directo ..	37
7.3.3.2.	Inspección o ensayo Visual Remoto.	38
7.3.3.3.	Ensayo superficial por líquidos penetrantes.....	38
7.3.3.4.	Ensayo superficial por partículas magnéticas	40
7.3.3.5.	Ensayo volumétrico por radiografía ..	41
7.3.3.6.	Inspección o ensayo por ultrasonido	42
7.4.	Seguridad Vial.....	43
7.4.1.	Accidentabilidad	44

8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS	45
9.	METODOLOGÍA.....	47
9.1.	Enfoque	47
9.2.	Diseño	47
9.3.	Tipo de estudio	47
9.4.	Alcance.....	48
9.5.	Variables e indicadores	48
9.6.	Fases.....	49
9.7.	Resultados esperados	51
9.8.	Población y muestra	51
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN.....	53
10.1.	Herramientas de diagnóstico	53
10.2.	Análisis de la información	54
11.	CRONOGRAMA.....	55
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO.....	57
13.	REFERENCIAS.....	59
14.	APÉNDICES	65

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Esquema de solución	21
2.	Cadena de Suministro	27
3.	Modelo de la dirección de la cadena de suministro	28
4.	Niveles de manteniendo	32
5.	Cronograma	55

TABLAS

I.	Entrenamiento y experiencia	37
II.	Operacionalización de variables	49
III.	Presupuesto	57

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
F	Frecuencia
g	Gramo
kg	Kilogramo
L	Litro
mg	Miligramo
mL	Mililitro
N	Normal
ppm	Partes por millón
P	Peso

GLOSARIO

CMD	Confiabilidad, mantenibilidad, disponibilidad - RAM, <i>Reliability, Availability, Maintenance</i> .
Defecto	Es toda aquella discontinuidad que es rechazada por no cumplimiento de especificación.
Discontinuidad	Irregularidad detectada por algún método de ensayo.
Disponibilidad	Probabilidad de que el equipo funcione satisfactoriamente en el momento en que sea requerido.
RCM	<i>Reliability Centred Maintenance</i> (Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad).
MTBF	Tiempo Promedio entre Defectos (Unidad Vehicular está operativa hasta que ocurra un nuevo fallo).
MTTR	Tiempo Promedio de Defecto (La unidad vehicular se encuentra en el taller).
PMO	<i>Planned Maintenance Optimization</i> - Optimización del mantenimiento plomeado.

Riesgo	Situación de incertidumbre que puede darse con determinada probabilidad.
TMPR	Tiempo Medio de Reparación.
TPM	<i>Total Productive Maintenance</i> - Manejo y mantenimiento productivo total.

1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación consiste en una sistematización, que plantea la propuesta de un programa de inspección de mantenimiento por medio de la aplicación de ensayos no destructivos a flota de remolques de volteo y cisterna, el cual busca identificar y gestionar los diferentes modos de fallo, con alto grado potencial de falla crítica, que represente riesgo para la seguridad o medio ambiente.

Una falla en un equipo que afecte, la integridad física de una persona o la continuidad operativa de un equipo, deben ser clasificadas como críticas, a estas le siguen aquellas fallas que afecten de manera directa o indirectamente al medio ambiente.

Se puede seguir un programa de mantenimiento preventivo en base a las recomendaciones del fabricante, que en muchas ocasiones surgen de estudios de laboratorio en condiciones ideales, en la práctica al sumarle el factor humano y el modo de fallo técnico en su contexto operacional los resultados obtenidos no son los deseados, esto representa una oportunidad para mejorar las prácticas actuales de mantenimiento complementando las inspecciones con técnicas de ensayo no destructivas.

La importancia de la solución es identificar y gestionar los modos de fallo potenciales, para los elementos críticos del sistema de los remolques, con ello poder determinar las técnicas de ensayo no destructivas a aplicar, apoyado del uso de la tecnología disponible y al alcance de la compañía que le sumen valor en la gestión de activos, al encargado de mantenimiento al momento de la toma

de decisiones para garantizar la confiabilidad de los equipos, esto incluye la operación, el mantenimiento, la seguridad, entre otras.

Los aportes y beneficios de esta investigación se concentran en la prevención de accidentes, ya que el programa de inspección de mantenimiento por medio de técnicas de ensayo no destructivas brindará información oportuna de la condición de flota de los remolques de volteo y cisterna, y actuar de forma predictiva dentro de la curva de la falla.

El esquema que se ensayará en la solución constará de cuatro fases para resolver el problema planteado, dando inicio con la revisión documental para dar a conocer el contexto de los antecedentes del problema, en la segunda etapa se revisará el programa de mantenimiento actual y se identificarán las fallas críticas con el apoyo de herramientas de mantenimiento como RCM, en la tercera fase I se determinará las técnicas de ensayo no destructivo a utilizar, como lo es un ultrasonido, tintas penetrantes, entre otras, esto permitirá en la cuarta fase evaluar los beneficios de adoptar alguna de estas técnicas, dentro de las rutinas de mantenimiento e inspección a los equipos de remolque.

El trabajo de investigación es factible, porque se cuenta con todos los recursos necesarios, para llevar a cabo cada una de las fases y cumplir con los objetivos propuestos, tales como recursos humanos, materiales y tecnológicos, de significativa ayuda en el desarrollo del estudio.

El informe final de la investigación estará conformado por cinco capítulos como a continuación se mencionan:

Capítulo uno se hará la investigación documental de los trabajos previos, realizados que tienen relación con el tema del proyecto.

Capítulo dos, se desarrollarán los temas que sustentan los principales objetivos del trabajo de investigación.

Capítulo tres se realizará el desarrollo de la investigación, el cual está conformado por cuatro etapas, revisión documental, identificación de fallas críticas con alto potencial de accidente, determinación de las técnicas de ensayo no destructivas a utilizar y la evaluación de los beneficios del programa.

Capítulo cuatro se realizará la presentación de resultados obtenidos durante el proceso de investigación.

Capítulo cinco se realizará la discusión de resultados, se evaluará la trascendencia del trabajo de investigación.

2. ANTECEDENTES

La gestión de flota de transporte pesado es fundamental en la cadena de suministro de una empresa, clientes internos y externos buscan en el servicio la fiabilidad, que reduzca los riesgos de una interrupción en la entrega de un producto, la flexibilidad ante los constantes desafíos que afronta la industria y se logre adaptar con rapidez ante la demanda de un mercado cada vez más exigente, en un entorno competitivo que busque la excelencia al menor costo posible.

En Guatemala se utilizan tres medios de transporte principalmente, como lo son el terrestre, marítimo y aéreo. Dentro del medio terrestre se puede dividir en transporte liviano y pesado, en relación con la carga que traslade, siendo este último el de mayor demanda dentro de la industria, para el traslado de materia prima y graneles por su costo de operación.

Castillo (2019) en su investigación denominada “propuesta de un sistema de evaluación integral de la flota de reparto, en una industria de cemento, para el cumplimiento de la oferta comercial, en el segmento a granel” (pág. 1) de su tesis de maestría de la Universidad de San Carlos, la cual tuvo como objetivo poder identificar los factores claves que afectan el servicio de entrega en relación a la capacidad instalada, para luego analizar cómo el servicio de flota externa incide en el cumplimiento de los compromisos adquiridos con los clientes; así como, determinar las ventajas y desventajas del modelo propuesto, buscando mejorar los indicadores asociados al servicio, donde los resultados principales fueron identificar que la falta de cumplimiento en las entregas es integral, dado que los aspectos que inciden son variados, tales como la política de la oferta comercial,

oportunidades de mejora para la planeación de la demanda, rutas de entrega, gestión de riesgos, evaluaciones mecánicas de los equipos, entre otros factores claves.

El aporte para el presente trabajo de investigación radica desde el enfoque de mantenimiento, donde es evidente el rol importante dentro de la cadena, que busca reducir las fallas críticas con grado potencial de accidente para los equipos de remolque de volteo y cisterna.

Vargas (2019) en su tesis de maestría define la cadena de suministro como la “función de regular el movimiento de materiales de la manera más barata en todo el ciclo o proceso fabril, y empieza desde la planeación de la demanda hasta la entrega del producto ofertado” (pág. 7) donde busca determinar el tiempo óptimo para el despacho, establecer el tiempo de demora, definir el modelo para la evaluación y las herramientas a adoptar para la mejora en la gestión.

López Nuñez, Trinchet Varela, Pérez Rodríguez, y Vargas Guativa (2021) en su artículo de la Revista Ingeniería Mecánica habla sobre un “procedimiento para evaluar el mantenimiento en una flota de transporte de combustibles por carretera” (pág. 1), tuvo como objetivo el desarrollo del procedimiento, con la utilización de métodos estadísticos, análisis sistémico del proceso de mantenimiento, juntamente con la evaluación estratificada de los resultados, permitieron determinar los sistemas y componentes críticos, así como la base fundamental del plan de acción con las técnicas más efectivas a adoptar en la gestión.

Definiendo el mantenimiento como una serie de actividades, con cuya ejecución se logra alcanzar un mayor grado de confiabilidad en los equipos e instalaciones, preservando sus funciones, se puede expresar que cumple su

objetivo si un equipo consigue un determinado nivel de disponibilidad de producción en condiciones de calidad al mínimo coste y con el máximo de seguridad, considerando el enfoque del presente trabajo de investigación a la propuesta de un programa de inspección de mantenimiento con técnicas de ensayo no destructivo, que complementen las rutinas actuales de mantenimiento preventivo a los equipos de remolque de volteo y cisternas. Estrada (2020) en su trabajo de investigación de tesis de maestría en mantenimiento, clasificando el origen de las fallas; diseño de equipo no adecuado, por una mala operación, por desgaste, así como por el tiempo en que aparecen; tempranas, adultas y tardías.

Maya (2018) hace mención de las fases del RCM en su trabajo de investigación tesis de maestría, listando las funciones de los sistemas y subsistemas, el fallo funcional que lo incapacita para cumplir con su función principal y el fallo técnico que no impide el cumplimiento de su función pero representa potencial de fallo funcional de no ser atendido, donde cada uno de estos fallos podría presentar múltiples modos de fallo, con múltiples causas que lleguen a la raíz de la falla, y para determinar la criticidad de estos se analizan los efectos de cada uno y se clasifican de acuerdo con su gravedad considerando la consecuencia, se puede clasificar como falla crítico, importante y tolerable, con mucho peso el aspecto de la salud y seguridad así como el medio ambiente. Con la información obtenida se puede trabajar en la propuesta de medidas preventivas que permitan evitar el fallo o minimizar sus efectos, agrupando cada una de estas al momento de la puesta en marcha.

Tejaxún (2019) menciona en su trabajo de investigación las diferentes tecnologías END para monitoreo de condición, de acuerdo con la curva P-F, sugiere los ensayos no destructivos que se pueden utilizar para detectar las fallas incipientes de los equipos; sin embargo, pueden no ser las mismas en cada caso,

cada proceso posee singularidades que exigirán equipos específicos para el monitoreo de su condición, pudiendo mencionar la inspección visual, el ultrasonido, el análisis de vibraciones, la termografía IR, el análisis de lubricantes, las pruebas eléctricas estáticas, entre otras. Importante el aporte de este trabajo para el desarrollo del programa basado en condición, ya que requiere de algunas técnicas de mantenimiento con equipo especializado para tal fin.

“Los ensayos no destructivos son técnicas que emplean métodos físicos indirectos para la inspección de productos, partes, piezas o componentes de servicios, para detectar discontinuidades o defectos que afecten su calidad o utilidad” (Araujo, 2017, pág. 16), que contribuyen a que el nivel de calidad de los productos o servicios se mantenga uniforme, asegurando la funcionalidad de los sistemas y elementos.

El objetivo de estos ensayos en los materiales es detectar discontinuidades, evaluar las características de la discontinuidad y generar una calificación en base a los estudios de los resultados, de acuerdo con las normas de calidad y diseño.

En función de su aplicación se clasifican en técnicas de inspección superficial como inspección visual, líquidos penetrantes, partículas magnéticas, corrientes Eddy (electromagnetismo), termografía; inspección volumétrica como ultrasonido Industrial (no convencional: arreglo de fases, por difracción del tiempo de vuelo, por ondas guiadas), emisión acústica, radiografía Industrial; inspección de la integridad o hermeticidad, los cuales serán analizados durante el proceso de investigación para determinar los ensayos necesarios a aplicar dentro del programa de inspección de mantenimiento predictivo a la flota de remolques de volteo y cisterna.

Aguilar (2017) en su trabajo de investigación de soldadura, indica que comúnmente las discontinuidades presentes durante la aplicación de HLAW son la porosidad, el socavado, concavidades, fusión o penetración incompleta. En los procesos industriales automatizados se establecen controles de calidad estrictos antes, durante y después del proceso de fabricación, ya que las imperfecciones se pueden presentar de forma superficial, interna o transversal a la sección en estudio.

Para las reparaciones realizadas a los equipos de importación es importante tomar como base las recomendaciones del fabricante, sino se cuenta con el manual se debe realizar con personal certificado y realizar ensayos para evaluar el desempeño del trabajo, por ser un factor determinante en la seguridad del equipo y la integridad física del conductor de los equipos de remolque.

Estimar los beneficios de un programa de inspección de mantenimiento basado en la aplicación de ensayos no destructivos, desde el enfoque de salud y seguridad, servicio al cliente y costos de operación permite identificar el alcance del presente trabajo de investigación, atendiendo a la necesidad de complementar el mantenimiento preventivo de los equipos con tecnologías disponibles para conocer la condición de los mismos, permitiendo generar una base de datos de las mediciones realizadas y establecer referencias para la toma de decisiones.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1. Contexto general

Muchos factores contribuyen a que los equipos de volteo se vuelquen durante la maniobra de descarga de material, una de las causas más comunes es operar en una superficie irregular o en una pendiente, la cual altera el centro de gravedad del equipo aumentando la probabilidad de ocurrencia. Entre otras causas se pueden mencionar no tener una superficie uniforme y sólida que garantice la estabilidad necesaria del terreno, así también, cuando la carga de material no se distribuye de manera uniforme generando desequilibrio al iniciar el proceso de elevación, o cuando el material no fluye adecuadamente en la superficie del equipo durante la maniobra de descarga.

Una mala práctica durante la inspección, ejecución o supervisión del mantenimiento representa una falla potencial, que va desde los mecanismos de elevación hasta la presión desigual de los neumáticos en las ruedas traseras, cualquier tipo de falla que disminuya la estabilidad de la estructura puede provocar un vuelco. Es indispensable mantener en perfecto estado de funcionamiento los sistemas de suspensión trasera, los cilindros y pasadores de elevación y la compuerta trasera.

3.2. Descripción del problema

La incidencia de fallas en las estructuras metálicas de los diferentes equipos de volteo en una flota de remolques es crítica, una ocurrencia de falla puede

desencadenar consecuencias catastróficas para la integridad física del conductor como del equipo mismo.

Cuando los resultados financieros o imagen de la compañía se ven afectados por este tipo de accidentes de seguridad, genera un alto impacto que requiere de soluciones de ingeniería que aporten valor para corregir la problemática de raíz.

La falta de representación de fabricantes de equipos ocasiona que se deba improvisar en las prácticas de mantenimiento, ejecutadas por personal sin capacitación utilizando componentes o repuestos inadecuados por falta de inventario, a esto se suma que los equipos son operados por pilotos sin capacitación.

3.3. Formulación del problema

Se plantea una pregunta central y tres preguntas auxiliares en la búsqueda de una solución a la problemática actual

3.3.1. Pregunta central

¿Cómo la administración del mantenimiento por medio de ensayos no destructivos puede contribuir en la prevención de accidentes de remolques de volteo y cisternas en una empresa de transporte de carga?

3.3.2. Preguntas auxiliares

- ¿Cómo identificar las fallas críticas de los componentes con alto potencial de accidente en flota de remolques de volteo y cisterna?
- ¿Cómo determinar la técnica de ensayo no destructivo a utilizar de acuerdo con el tipo de elemento en estudio en cada uno de los sistemas del remolque de volteo y cisterna?
- ¿Cómo estimar los beneficios de un programa de inspección de mantenimiento que utiliza técnicas de ensayo no destructivas para equipos de remolque de transporte de carga?

3.4. Delimitación del problema

El presente trabajo de graduación se enfocará principalmente, en los equipos de remolque de volteo y cisterna de una empresa ubicada en el departamento de Escuintla; el cual consiste en identificar las fallas potenciales y determinar el ensayo no destructivo a realizar. Adicional se cuenta con los recursos necesarios para la realización del proyecto y con la autorización de las autoridades competentes. Dicho trabajo se realizará en el municipio de Escuintla, en los meses de enero a junio 2023.

4. JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo de estudio de la Maestría en Ingeniería de Mantenimiento de la Universidad de San Carlos de Guatemala, sigue la línea de investigación centrada en la aplicación de técnicas de ensayos no destructivos en el mantenimiento, y su relación con los resultados estimados para lograr los objetivos planteados.

La necesidad de investigación se basa en la situación actual del transporte pesado en Guatemala, donde el mantenimiento tiene un rol importante en la prevención de accidentes, y como la adaptación de técnicas de medición pueden aportar valor, y ser cruciales para la toma de decisiones oportunamente.

La importancia de la solución es poder diseñar un programa de inspección de mantenimiento, basado en la aplicación de técnicas de ensayos no destructivos que permitan la medición, seguimiento y monitoreo de los diferentes modos de fallo, que representen una situación de riesgo para la integridad física del personal y los equipos.

La relevancia social para la empresa es poder brindar un servicio de calidad a sus clientes en la industria del transporte pesado, gestionando sus activos con programas de inspección de mantenimiento que garanticen una operación segura de los equipos, que salvaguarden la vida del conductor y de los usuarios vulnerables en la vía pública.

El beneficio del estudio consiste en el diseño de un programa de inspección de mantenimiento, con aplicación de técnicas de ensayos no destructivos a una

flota de remolques de volteo y cisterna, que ayuden a identificar y gestionar los modos de falla potenciales que presenten los equipos.

El estudio beneficiará a la empresa, ya que el encargado de la gestión del mantenimiento de flota de transporte pesado, contará con herramientas que le permitan gestionar el riesgo dentro de la operación, ofreciendo al cliente interno y externo servicios de calidad, a los estudiantes de licenciatura o maestría como guía de mantenimiento para la aplicación de técnicas de ensayo no destructivos, en la gestión a los encargados de mantenimiento en las empresas proveedores de servicio de transporte pesado, a toda persona o empresa propietaria de un equipo remolque de volteo o cisterna.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Diseñar un programa de inspección de mantenimiento por medio de ensayos no destructivos en flota de remolques de volteo y cisternas en una empresa ubicada en el departamento de Escuintla, Guatemala

5.2. Específicos

1. Identificar las fallas críticas de los componentes con alto potencial de accidente en flota de remolques de volteo y cisterna.
2. Determinar la técnica de ensayo no destructivo a utilizar de acuerdo con el tipo de elemento en estudio en cada uno de los sistemas del remolque de volteo y cisterna.
3. Estimar los beneficios de un programa de inspección de mantenimiento que utiliza técnicas de ensayo no destructivas para equipos de remolque volteo y cisterna.

6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

El presente trabajo de investigación propone enfocar esfuerzos en los puntos críticos, que merman la confianza en el servicio brindado por la flota de remolques de volteo y cisterna, dotando al gestor de mantenimiento dentro de la empresa las herramientas disponibles en la industria, permitiendo llegar a identificar los modos de fallo potenciales de cada uno de los elementos críticos, para proponer un programa de mantenimiento adecuado a la necesidad del equipo, que garanticen su confiabilidad.

El estudio de investigación plantea el diseño de un programa, para la administración del mantenimiento en flota de remolques de volteo y cisterna, con aplicación de ensayos no destructivos, aportará información recomendada para toda empresa que posea estos equipos, contribuyendo a la toma de decisiones de los encargados de la administración del mantenimiento, evaluando factores técnicos y financieros oportunamente.

6.1. Primera etapa: Revisión documental

El esquema que se ensayará en la solución consta de cuatro fases para resolver el problema planteado, dando inicio con la revisión documental para dar a conocer el contexto de los antecedentes del problema, describiendo la situación actual de la operación y mantenimiento de la flota de remolques de volteo y cisterna.

6.2. Segunda etapa: Identificación de fallas

En la siguiente fase se llevará a cabo la identificación de fallas críticas, de los elementos que requieren ser sometidos a un ensayo no destructivo, de la flota de remolques de transporte pesado, como parte del programa de inspección de mantenimiento.

6.3. Tercera etapa: Determinar las técnicas END

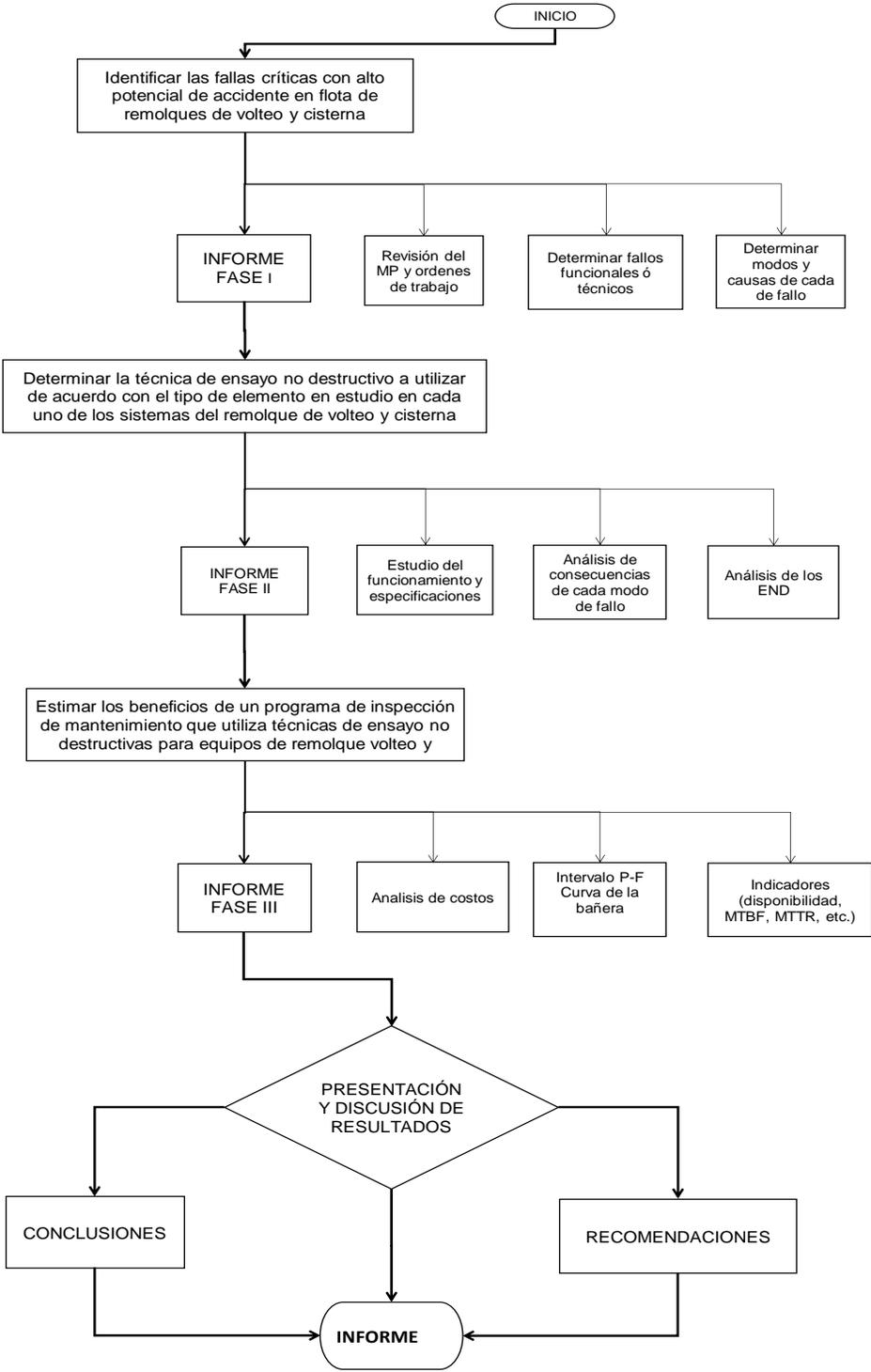
En esta etapa luego de haber listado las funciones de los sistemas y subsistemas, el fallo funcional, el fallo técnico, los modos de fallo con sus múltiples causas que lleguen a la causa raíz, y para determinar la criticidad de estos se analizan los efectos de cada uno y se clasifican de acuerdo a su gravedad considerando la consecuencia, se puede clasificar como falla crítico, importante y tolerable, con mucho peso el aspecto de la salud y seguridad así como el medio ambiente, aspectos a considerar en el método de ensayo a utilizar.

6.4. Cuarta etapa: Estimar los beneficios

En la fase final se estimarán los beneficios de un programa de administración del mantenimiento, con técnicas de ensayo no destructivas para equipos de remolque de transporte pesado, considerando especialmente el diseño del fabricante de los equipos, para el análisis e interpretación de resultados que ayuden como herramienta de apoyo en la toma de decisiones.

El trabajo de investigación tiene validez técnica porque se pretende utilizar los ensayos no destructivos en la administración del mantenimiento, para llevar a cabo la medición, seguimiento y monitoreo de elementos críticos de los remolques de volteo y cisterna.

Figura 1. Esquema de solución



Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

7. MARCO TEÓRICO

7.1. Transporte de carga

Cedeño y González (2020) en su trabajo de investigación de la gestión del transporte de carga, indica “el transporte de carga por carreteras permite entregas directas, ofreciendo servicios puerta a puerta, se considera transversal a toda la economía de un país” (p. 43).

7.1.1. Gestión de flota

Las normas y reglamentos en este sector de servicio son diversos en cada país; así mismo, los procesos de auditoría que se realizan a las empresas dueñas de flotas de transporte.

De acuerdo al tipo de industria al que presta el servicio, la gestión de la flota debe considerar aspectos dentro de la operación y mantenimiento; tales como, la programación de horarios que permita un descanso adecuado al conductor, la carga que se traslada este acorde al reglamento de pesos y dimensiones local, un adecuado plan de mantenimiento que garantice las condiciones mínimas para una conducción segura, que no represente riesgo a la integridad física del conductor y los usuarios de la vía pública; así como, la vida útil del equipo, debiendo asegurar los recursos necesarios para garantizar la confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad de los equipos, sin que se vea comprometida la satisfacción de los clientes.

El transporte de carga terrestre viene a complementar el transporte por ferrocarril, ya que su acceso está limitado. El aspecto de la salud y seguridad en carreteras es un tema que hoy aún tiene muchas áreas de oportunidad para cambiar los indicadores e índices de accidentes actuales, sobre todo en países de América Latina donde la falta de regulaciones y leyes permitan una gestión adecuada de flotas de transporte pesado.

El transporte juega un papel capital en la interpretación de las interrelaciones físicas y socioeconómicas entre los individuos y grupos en la sociedad; en los análisis de los movimientos de mercancías, personas e información; y en la exploración morfométrica y funcional de las infraestructuras, con el objetivo último de relacionar las restricciones espaciales y los atributos con el origen, extensión, naturaleza y propósito del movimiento. (Martínez , 2009, pág. 163)

La globalización, ha demostrado que la economía trabaja de acuerdo con los modelos de crecimiento y con una nueva geografía global, la cual considera a las regiones con mayores ventajas competitivas, para la concentración de riqueza (áreas metropolitanas) y aquellas áreas con recursos exportables disponibles

Rigol, Hidalgo, y Batista (2008) comentan que no es suficiente con evaluar los procesos de mantenimiento, al realizar la evaluación de los indicadores de productividad de dicha actividad y sus variaciones, son un medio que permite diagnosticar a través de sus efectos, y por medio de procesos de mejora continua e innovación minimizar o mitigar el impacto sobre las operaciones, en función de la salud y seguridad de las personas, equipos y el entorno.

Criterios como el liderazgo, estructura organizacional, responsabilidades, mantenimiento, evaluación de fallas, compras, activos fijos, entrenamiento y su continuidad, disponibilidad de equipos y planeación de mantenimiento.

El porcentaje de utilización o tiempo de trabajo de los vehículos automotores, dentro de una empresa con flota de transporte de carga, es un factor clave de medición del desempeño logístico, productividad, eficiencia, etc.

7.1.2. Indicadores de desempeño

Arango, Ruiz, Ortiz, y Zapata (2017) desarrollaron una propuesta teórica de un marco de indicadores, para el cálculo del desempeño de las compañías que administran o son dueñas de flota de transporte de carga, que incluye la definición de cada uno y como calcular, y lo define como “una representación cuantitativa, verificable, en la que se registra, procesa y presenta la información necesaria para medir el avance o retroceso de un determinado objetivo”. (p. 708)

Medir el funcionamiento de las compañías del transporte de carga, y con estos estimar las carencias que se están mostrando, y poder tomar decisiones oportunas con el objetivo de mejorar su competitividad, es parte de la gestión del desempeño.

La gerencia participa con el seguimiento a indicadores, tiempos de ciclo, compromiso de colaboradores, revisión de recurso, el área de soporte capacita al personal por medio de recursos humanos, operaciones coordina las actividades de mantenimiento, rutas, vehículos, despachos, y tecnología de procesos a identificar problemas y procesar información.

Tiempo promedio de respuesta, experiencia del personal, rotación, antigüedad de flota, capacitación de personal, quejas, cumplimiento de mantenimiento, costo promedio de transporte por tonelada, utilización de vehículos, factor de carga promedio, velocidad promedio de los vehículos, cumplimiento del tiempo de procesamiento logístico, retrasos en la entrega, recursos tecnológicos, accidentabilidad, satisfacción de clientes, entre otros, son algunos de los indicadores que se deben tener considerados dentro de la gestión.

7.1.3. Cadena de Suministro

Para Ballou (2004) la cadena de suministro es, como un conjunto de actividades que se desarrollan a través de un canal de flujo, que origina que la materia prima se convierta en producto terminado, con un valor añadido para el consumidor, por tanto, considerando que tanto el productor de materia prima, fábricas, almacenes y puntos de venta se encuentran dispersos geográficamente.

Además, sostiene que la logística genera valor para los clientes, proveedores y accionistas de la empresa, y este valor es expresado en términos de lugar y tiempo. Indica que un buen liderazgo logístico concibe cada actividad de la cadena de suministro como una contribución a los procesos de valor agregado.

7.1.3.1. Definición

“Un conjunto de actividades funcionales que se repiten a lo largo del canal de flujo del producto, mediante los cuales la materia prima se convierte en productos terminados y se añade valor al consumidor” (Ballou, 2004, p. 7).

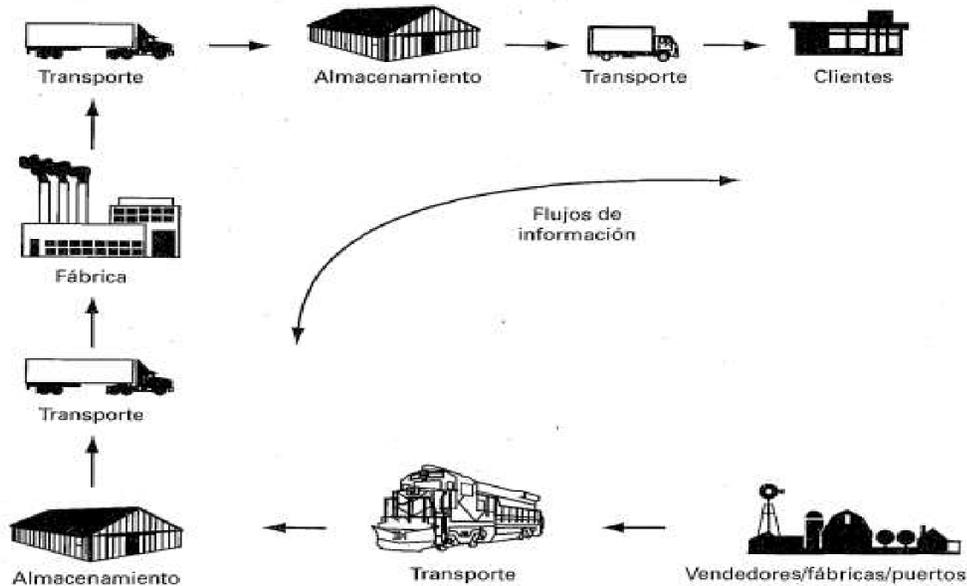
7.1.3.2. Objetivo

Chopra y Meindl (2008), indican que el objetivo de la cadena de suministro en las compañías es obtener el máximo valor total creado, debido a que de esta forma se puede obtener la mejor diferencia entre valor del producto final en el cliente y los costos que se obtienen para cumplir con las expectativas, de esta forma el valor de la cadena de suministro incide con la rentabilidad de esta.

7.1.3.3. Administración

“Es la integración de estas actividades mediante mejoramiento de las relaciones de la cadena de suministros para alcanzar una ventaja competitiva sustentable” (Ballou, 2004, p. 5).

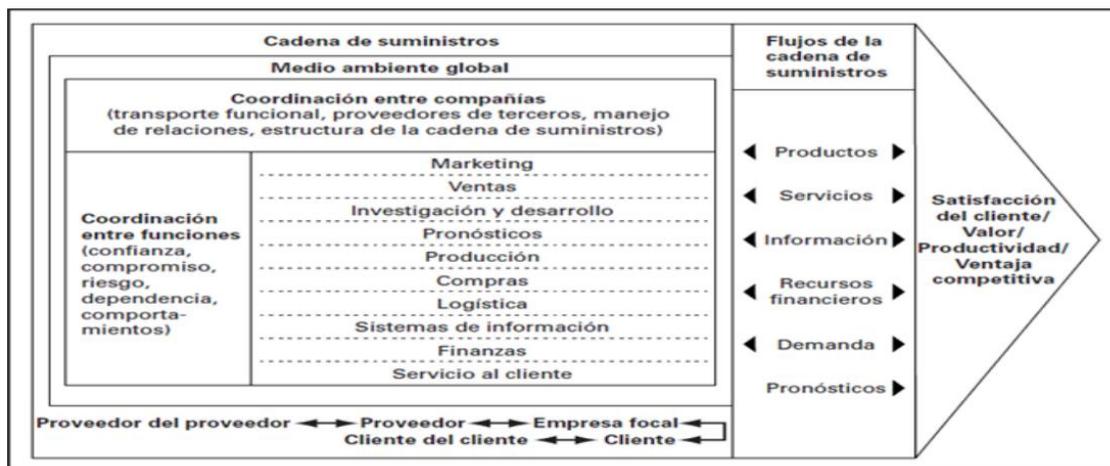
Figura 2. Cadena de Suministro



Fuente: Ballou, (2004) *Logística. Administración de la cadena de suministro*.

Chopra y Meindl (2008) indican que la cadena de suministro está integrada por las distintas áreas participantes en conseguir la satisfacción del cliente. Además, comenta que esta se inicia en el fabricante, proveedor, transportistas, bodegueros, vendedores al por mayor y menor y los clientes, abarca los distintos roles de cada uno de los participantes en la aceptación y en los requerimientos específicos de cada cliente.

Figura 3. **Modelo de la dirección de la cadena de suministro**



Fuente: Chavarry Infante, Cuzzi Vargas, Padilla Tirado, y Peña la Rosa, (2021), *Plan de Negocios para la Implementación de Supply Chain Management en la Cadena de Panaderías y Pastelerías Don Alonzo post pandemia COVID-19*

Adicional, Chavarry Infante, Cuzzi Vargas, Padilla Tirado, y Peña la Rosa (2021) publican en la figura 2, que la Administración de la cadena de suministro es total, esta coordina con variadas demarcaciones, desde Comercialización llegando a Servicio al cliente. Además, a través de ella, se traslada la información y recursos, mismos que admiten la interacción entre cada uno de los participantes de la cadena de suministro.

7.1.3.4. Distribución

Su objetivo primordial es determinar cuáles serán las solicitudes de los clientes, información del cuánto, cómo y cuándo se mostrarán dichas estimaciones. El acceso a esta información relevante que brinde datos para minimizar la incertidumbre, y esto se convierte en mejores estimaciones de abastecimiento de producción y menores niveles de inventario. Es una oportunidad importante para reorganizar mejor la programación de los despachos y transporte para el cumplimiento de la demanda.

Si los dos puntos antes mencionados se realizan oportunamente, existe una alta probabilidad que se tenga acceso a los planes de compra de los consumidores y significativamente optimizar la gestión de la demanda. Las estimaciones de la demanda. Para poder hacer esta revisión, se debe tener excelente comunicación con el extremo final de la cadena de suministros. Los clientes deben ser honestos en sus planes de abastecimiento, que será el punto fundamental para planificar correctamente las entregas de la compañía abastecedora.

7.1.3.5. Logística

Ballou (2004) afirma que la logística gira en torno a crear valor: “valor para los clientes y proveedores de la empresa, y valor para los accionistas de la empresa” (p. 13). Los productos y servicios obtienen su valor al momento de estar en manos de los clientes cuándo y dónde ellos lo requieran.

7.2. Gestión del mantenimiento

Para Mora (2009) la gestión del mantenimiento debe aportar valor a la organización, aumentando la confiabilidad de los sistemas. La conservación de los activos son actividades fundamentales, y sus funciones no quedan solamente en las rutinas de mantenimiento y reparaciones. Se debe innovar en los procesos buscando la optimización de los recursos de forma integral y objetiva desde la planeación, organización, control y ejecución de los planes de mantenimiento que permitan garantizar el cumplimiento de los objetivos de la empresa.

7.2.1. Definición

“El mantenimiento es el sustantivo correspondiente al verbo mantener. La función concreta de mantenimiento es sostener la funcionalidad y el cuerpo de un objeto o aparato productivo para que cumpla su función de producir bienes o servicios” (Mora, 2009, p. 4).

7.2.2. Función

“Maximizar la disponibilidad que se requiere para la producción de bienes y servicios, al preservar el valor de las instalaciones. Para minimizar el deterioro de los equipos, debiéndose lograr con el menor costo posible” (Mora, 2009, p. 38).

7.2.3. Objetivo

“Conseguir un determinado nivel de disponibilidad de producción en condiciones de calidad exigible, al mínimo coste, con el máximo nivel de seguridad para el personal que lo utiliza y lo mantiene y con una mínima degradación del medio ambiente” (Mora, 2009, p. 38).

7.2.4. Niveles

Se trazan cuatro niveles o clases al ponderar los distintos tópicos que emplea el mantenimiento.

El nivel instrumental contempla los elementos requeridos para que el mantenimiento se de en las empresas; parte de la base de un sistema de mantenimiento donde involucra a las interacciones entre personas, recursos productivos y máquinas.

El nivel operacional abarca las acciones por realizar en el mantenimiento de equipos de acuerdo con la relación cliente-proveedor, con acciones correctivas, preventivas, predictivas y modificativas.

El nivel táctico contempla acciones de mantenimiento que se emplean a un equipo o conjunto en específico; en este nivel aparecen el TPM, el RCM, clase mundial, RCM, etc.

El campo estratégico abarca las metodologías que se desarrollan para medir el grado de éxito alcanzado con las tácticas utilizadas; esto implica establecer indicadores de desempeño. Es la guía que permite alcanzar el estado de éxito propuesto y deseado.

Figura 4. Niveles de manteniendo



Fuente: Mora, (2009), *Mantenimiento. Planeación, ejecución y control*.

7.2.5. CMD

Confiabilidad: valora las acciones que ejecuta producción sobre el manejo y la operación de los equipos, desde la óptica de su fabricación y su explotación. Las medidas fundamentales en que se apoya son las cantidades y los tiempos de fallas inherentes a los equipos.

Mantenibilidad: mide las tareas de reparaciones y tareas proactivas que ejecuta el área de mantenimiento en los equipos. Sus medidas básicas son el volumen de reparaciones (o tareas planeadas) y los tiempos efectivos de realización y sus demoras. La evaluación se asocia a los grupos de personas que realizan los mantenimientos o las reparaciones.

Disponibilidad: es una relación que muestra la proporción de tiempo útil efectivo frente al tiempo total disponible; la relación está gobernada por parámetros y metodologías de cálculo de orden mundial.

7.2.6. RCM

Campos, Tolentino, Tolentino, y Toledo (2019) “El mantenimiento centrado en confiabilidad es una metodología ampliamente reconocida y de uso extendido para elaborar planes de mantenimiento de equipos industriales basándose en asegurar las funciones del equipo para la satisfacción del usuario o propietario”. (p. 51)

RCM se está empleando con mayor frecuencia en la identificación de tareas de mantenimiento, y para el análisis de riesgos en equipos críticos, así como la categorización de equipos por prioridad y significado dentro del proceso, identificar áreas de oportunidad de mejora.

Duarte, Camacho, y Meneses (2018) confiabilidad la definen como “la confianza que se tiene de que un componente, equipo o sistema desempeñe su función básica, durante un período de tiempo preestablecido, bajo condiciones estándares de operación”. (p. 156)

Centrado en la confiabilidad original inherente al equipo, un proceso empleado que busca identificar que hacer, que permita garantizar la continuidad operativa de un activo en su contexto operacional.

Dentro de las fases del mantenimiento, centrado en confiabilidad se enmarcan tres grupos, antes, durante y después, donde la primera fase contempla recopilar información, elaborar taxonomía del equipo, documentar

contexto operativo, la segunda fase contempla normalizar el análisis de modos de falla y causas de falla, categorizar efectos de falla, la tercera fase contempla implementar el plan de mantenimiento, gestionar las recomendaciones o acciones predeterminadas y medir el desempeño.

Para Sexto (2008) la diferencia entre la probabilidad y ocurrencia del fallo es ocasión de confusión en el proceso de interpretación “La probabilidad es una posibilidad, un suceso en potencia. La ocurrencia es la consumación de la posibilidad”. (p. 52)

La confiabilidad fundamentalmente tiene dos costos asociados, el primero es el de la consecuencia del fallo y los deterioros crónicos tolerados, y segundo en contraposición, se contemplan todas aquellas actividades realizadas de forma predictiva, preventiva y proactiva para contrarrestar los efectos del primer costo, de tal manera que garanticen los niveles de confiabilidad deseados.

La confiabilidad integral de un sistema se obtiene con el actuar y prever los aspectos técnicos y de gestión al establecer elementos tecnológicos en un sistema interactivo hombre-máquina, dado que los fallos pueden ser clasificados de acuerdo con el grado de severidad, frecuencia de ocurrencia, relación y forma de acontecer. La combinación más práctica es la clasificación de fallos según su severidad y su frecuencia de ocurrencia, ya que con estos elementos se puede calcular el riesgo asociado y si este es tolerable o no para la compañía.

Los humanos no fallan como los equipos electromecánicos, se le conocen como errores. Los errores técnicos son originados por falta de capacitación, los precipitados por falta de compromiso, sobrecarga laboral y los conscientes podrían estar relacionados con el tipo de liderazgo organizacional, boicot, entre otros. Al contrario, los colaboradores pueden ser un componente que aporte valor

a la organización en confiabilidad, a causa de la capacidad para anticipar, pronosticar, evaluar y accionar sobre los fallos y sus efectos Sexto (2008).

7.3. Ensayos no destructivos

Las demandas frente al cumplimiento de estándares en los diferentes procesos de producción han dado la pauta para el desarrollo de tecnologías que aporten valor en la inspección de los diferentes productos, que garantice la calidad de los componentes. Para realizarlo existen diversas técnicas de ensayos no destructivos (END).

7.3.1. Definición

Los ensayos no destructivos se definen como una “aplicación de pruebas sobre un objeto para verificar su calidad sin modificar sus propiedades y estado original. Estas pruebas permitirán detectar y evaluar discontinuidades o propiedad de materiales sin modificar sus condiciones de uso o aptitud para el servicio” (Segura Oliva, 2014, pág. 43).

Ospina, Hernando, y Parra (2011), definen a los ensayos no destructivos como “técnicas aplicadas a la inspección de productos acabados y semiacabados para la detección de heterogeneidades internas y superficiales a través de principios físicos, sin perjudicar la posterior utilización de los productos inspeccionados”. (p. 198)

Soria (2004) los describe como técnicas que utilizan métodos físicos indirectos para la inspección de piezas o componentes en servicio, para detectar las discontinuidades o defectos que afecten su calidad o utilidad.

7.3.2. Objetivo

Segura (2014) hace mención que los métodos de ensayos no destructivos, admiten el control total en una producción y se podría conseguir la información de una pieza en su totalidad, con lo que favorecen a conservar un nivel estándar de calidad, garantizando la calidad de los sistemas, subsistemas y elementos, generando valiosos aportes en la salud y seguridad enfocado en la prevención de accidentes; así como, la optimización de recursos y costos de fabricación al disminuir los rechazos o no conformidades en los procesos.

Las fases primarias de la inspección de un material estructural, por medio las técnicas de ensayos no destructivos, concerniente a los problemas de caracterización y metrología, por su calidad intrínseca pueden sintetizarse de la siguiente manera: Método y técnicas a utilizar.

Elaboración de una indicación propia. Interpretación de la indicación. Evaluación de la indicación. Por lo cual, el objetivo de cada uno de los métodos es analizar si hay discontinuidades, caracterizarlas y seguidamente evaluarlas, según los criterios de aceptación o rechazo acordados para cada caso de estudio.

7.3.3. Clasificación de los Ensayos No Destructivos

Se puede tener como base la prueba que genere los mejores resultados. Para la selección de los métodos de ensayos no destructivos se debe considerar que, un método podría complementar a otro y que distintas pruebas normalmente deben ser aplicadas en un mismo componente de ensayo.

La selección del método regularmente considera elementos como el costo, el acceso a los equipos y áreas de ensayo, el tipo de material dentro de su entorno de fabricación, tipo y origen de la discontinuidad.

Es importante un estudio y evaluación previa que permita una decisión acertada, en cada caso para la selección de la prueba indicada, oportuna de acuerdo con el presupuesto disponible, que aporte valor en el procedimiento de la compañía, enfocada en los resultados del mediano y largo plazo.

Tabla I. Entrenamiento y experiencia

ASNT-SNT-TC-1A-2011 - Tabla 6.3.1A Entrenamiento Inicial y Nivel de Experiencia

Método de Ensayo	Nivel	Técnica	Horas de Entrenamiento	Experiencia	
				Mínimo de horas en el Método	Horas totales en END
Visual	I		8	70	130
	II		16	140	270
Líquidos Penetrantes	I		4	70	130
	II		8	140	270
Partículas Magnéticas	I		12	70	130
	II		8	210	400
Ultrasonido	I		40	210	400
	II		40	630	1200

Fuente: Mendoza, (2020), *Práctica Recomendada N°. SNT-TC-1A*

7.3.3.1. Inspección o ensayo Visual Directo

En la literatura se menciona la técnica de ensayo no destructivo, como la más utilizada actualmente. Se aplica de una manera muy simple con resultados casi inmediatos y a muy bajo costo, regularmente es la primera línea de inspección previo a realizar otro tipo de ensayo no destructivo, a un componente debe ser inspeccionada visualmente.

Los resultados esperados de la inspección visual pueden aportar valor en la toma de decisiones, para la elección de la siguiente técnica empleada dentro de los diferentes ensayos no destructivos. Básicamente la prueba no destructiva

visual, requiere de una buena iluminación en el área del componente a inspeccionar y verificar el estado de esta, debe estar limpia libre de agentes externos.

Figuroa (2019) menciona en su trabajo de investigación de maestría en mantenimiento los requisitos para el evaluador, tales como la preparación académica, el entrenamiento y experiencia para emitir la calificación del ensayo no destructivo realizado.

Elementos como examen de la vista que le sea evidencia de su agudeza visual natural, que pueda ser capaz de leer una carta Jaeger N°2 o equivalente en distancia no menor a 30.5 cm con periodicidad anual, demostrar habilidad para distinguir entre el contraste de colores y sombras.

7.3.3.2. Inspección o ensayo Visual Remoto

Técnica de ensayo en la cual se emplean instrumentos ópticos o accesorios como un endoscopio, fibroscopio o telescopio, para poder realizar la observación a distancia o área de difícil acceso que no permite hacerlo por medio del método directo.

7.3.3.3. Ensayo superficial por líquidos penetrantes

La utilización de líquidos penetrantes podría ser apreciado como una extensión de la inspección visual. Discontinuidades reveladas por el método de líquidos penetrantes, no podrían ser detectadas por medio de la inspección visual efectuada por un inspector con amplia experiencia.

Los líquidos penetrantes revelan una discontinuidad en una gran extensión, esto permite que la inspección no afecte el resultado por el factor humano, lo que a su vez permite que este método sea más adaptado a un proceso sistematizado, aumentando la confiabilidad de la inspección. El método de los líquidos penetrantes es empleado en materiales magnéticos como no magnéticos permitiendo así, una ventaja en relación con la prueba de partículas magnéticas que no pueden ser aplicada a elementos no magnéticos Ospina, Hernando, y Parra (2011).

Una de sus desventajas es la falta de profundidad que permite este ensayo, ya que son una estimación del defecto al momento de revelar las discontinuidades existentes.

La clasificación de los líquidos penetrantes se da en función de la fuente de luz que se emplea para la observación de las indicaciones que brinda el ensayo. Hay tres grupos o familias; observación con luz visible blanca; observación con luz negra (ultravioleta) o mixtos (fluorescentes-coloreados), y bajo los dos tipos en mención.

Adicional, se tiene líquidos penetrantes lavables con agua, post-emulsionables (requieren aplicar un emulsionante para luego lavar con agua) y eliminables con disolventes; así también, hay reveladores de polvo seco, acuosos, húmedos no acuosos y de película líquida.

Para cualquier procedimiento de inspección se debe realizar un procedimiento, que va desde la preparación de la superficie con una limpieza del área a inspeccionar, la aplicación del penetrante por inmersión o rociado asegurando que cubra totalmente la superficie inspeccionada, se debe tener especificado el tiempo de penetración, luego la eliminación del exceso de

penetrante que no se introdujo en las discontinuidades, la aplicación del revelador y el tiempo de revelado. La interpretación de resultados y evaluación de las indicaciones es factor clave, ya que la experiencia y preparación del inspector incidirá de manera directa.

7.3.3.4. Ensayo superficial por partículas magnéticas

Ospina, Hernando, y Parra (2011) “La inspección por partículas magnéticas es un método para la localización de defectos superficiales y subsuperficiales (próximos a la superficie más no abiertos a la misma) en materiales ferromagnéticos” (p. 199).

Su principio básico de funcionamiento está basado en el magnetismo, las discontinuidades existentes causan un campo de fuga al realizar la prueba, en el flujo magnético. El campo de fuga, generado por discontinuidades, será detectado por medio de partículas ferromagnéticas finamente fragmentadas, aplicadas sobre la superficie, las cuales serán atraídas por el campo de fuga y se agruparán de tal forma que permitan identificar su forma, extensión y donde se localiza.

Su bajo costo, el tiempo que requiere, el equipo medianamente sencillo y práctico, menor preparación de la superficie, el poder detectar discontinuidades no abiertas o expuestas a la superficie, y no requiere de lecturas electrónicas o calibraciones, hace de este ensayo una ventaja ante otros disponibles para el mantenimiento predictivo.

Dentro de las limitaciones que presenta la aplicación de este ensayo, se puede mencionar la aplicabilidad únicamente a materiales ferromagnéticos, el resultado depende de cierta proporción de la dirección que intercepte el plano

principal de la discontinuidad, se requiere desmagnetizar la pieza después de realizar el ensayo, alta demanda de corriente eléctrica para la inspección de piezas de tamaño grande encareciendo el costo del método, y las capas de pintura aplicadas a la pieza o algún recubrimiento no magnético pueden incidir en el resultado al quedar oculto en la revisión.

7.3.3.5. Ensayo volumétrico por radiografía

El ensayo por radiografía radica en hacer pasar un haz de radiación de naturaleza electromagnética (rayos X o rayos Gamma), por medio de un componente a inspeccionar, luego el haz de radiación incide sobre una película fotosensible. Luego del revelado las probables discontinuidades internas del componente se visualizarán como cambios en la densidad fotográfica de la película revelada, se compara contra radiografías de objetos parecidos de calidad.

Dentro de las ventajas del método se menciona que detecta discontinuidades internas, mostrando su forma y tamaño, es aplicable a cualquier clase de material. No obstante, se limita ya que requiere acceso a 2 superficies opuestas de la misma pieza, presenta baja sensibilidad en la detección de discontinuidad laminar y nula para la superficial, requiere medidas de protección personal para el personal técnico que realiza las pruebas, y regularmente se trabaja en piezas no mayores a 70 mm por el incremento de energía de radiación requerida se torna peligrosa en su utilización, así también se requiere el acceso al de estudio en ambos lados del componente.

7.3.3.6. Inspección o ensayo por ultrasonido

“La inspección ultrasónica es un método de ensayo no destructivo para el cual grupos de ondas de alta frecuencia introducidas en el material inspeccionado, son utilizadas para detectar discontinuidades superficiales e internas”. (Soria, 2004, p. 12)

Ospina, Hernando, y Parra (2011) La inspección ultrasónica es un método de ensayo no destructivo donde grupos de ondas de alta frecuencia se introducen en el material inspeccionado para detectar defectos superficiales e internos. “Las ondas atraviesan el material con cierta atenuación y son reflejadas en las interfaces. Este haz reflejado es detectado y analizado definiendo entonces la presencia y la localización de las discontinuidades.” (p. 200)

Araque (2015) indica que este método está basado en la medición de la propagación de ondas ultrasónicas en el medio que se quiere analizar, reflejándose, difractándose y atenuándose para poder localizar defectos superficiales, subsuperficiales e internos en la pieza. Las características de la onda comprenden el ciclo, longitud, amplitud y frecuencia.

Una de sus principales ventajas es que puede ser aplicado a una gran gama de materiales y productos, portable y práctico, nivel de sensibilidad que permite parametrizar para una mayor eficacia.

Entre las desventajas se tiene el alto costo inicial para la adquisición de los equipos y accesorios, el costo de calibración de equipos de forma periódica y la necesidad de emplear diferentes medidores ante una inspección compleja.

Dentro de las técnicas de ensayo no destructivas por ultrasonido más utilizadas se tiene la transmisión con transductores que funcionan de transmisor receptor, y el pulso eco donde un elemento piezoeléctrico con transductor convierte la energía del sonido en energía eléctrica y el cabezal cumple la doble función de emisor y receptor.

7.4. Seguridad Vial

Dentro del marco vehicular de carga la seguridad vial representa un pilar de importancia para todo usuario al hacer uso de la red vial del país, según estadísticas de aforos generados por el Departamento de Ingeniería de Transito/DGC., el promedio de vehículos livianos que transitan en rutas de primer orden es del 80 % y el 20 % de vehículos pesados, dentro de este último porcentaje en lo que respecta al transporte de carga existe un porcentaje imperceptible que genera accidentes de tránsito, las causas pueden ser: exceso de velocidad y horas excesivas de trabajo, transitar inhabilitado el sistema de iluminación y carecer de señalización reflectiva que delimite su volumetría, daños en el sistema de suspensión y frenos, mal estibamiento y sujeción de la carga, etc., con el ánimo de regular los aspectos descritos con anterioridad se amplían los conceptos al respecto. (Salguero, 2016, pág. 87)

Operaciones con recursos económicos limitados requieren soluciones de aquellos problemas con alto impacto importante en los resultados, y en los que la inversión económica no forme la base fundamental de la mejora. Entre estas causas, no asociadas a factores económicos de importancia, está la carencia de sistemas de gestión de mantenimiento accesibles para solucionar de manera equitativa las dificultades y retos para el aseguramiento de la confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad.

7.4.1. Accidentabilidad

Duarte, Camacho, y Meneses (2018) en su trabajo de investigación mencionan que “Se ha estudiado como un fenómeno que involucra tres factores principales: comportamiento de conductores, parque automotor y malla vial” (p. 204). Sin embargo, se deben abordar otros factores como parte de la causa raíz del problema, y hay una relación existente entre la productividad empresarial y la accidentalidad vial.

Organización Mundial de la Salud (2017) indica que “Cada año, las colisiones causadas por el tránsito causan la muerte de aproximadamente 1,3 millones de personas”. (para. 1). La Organización Panamericana de la Salud (2017) menciona en su informe que “El 11 % de las muertes por accidentes de tráfico en el mundo suceden en la región de las Américas, con casi 155,000 muertes por año”. (párrafo 5), por lo que no puede ni debe considerar un problema pequeño. El acrecentamiento de los medios de transporte automotores, la condición de la red vial y la brecha entre la legislación y su aplicación, son factores claves por considerar en este fenómeno.

Para estudiar la accidentabilidad es importante considerar tres factores, el conductor, el vehículo y el entorno. Para el presente trabajo de investigación se estará abordando el enfoque en el vehículo, específicamente para los remolques de volteo y cisterna en la flota de transporte de carga. Para el conductor se resaltan puntos como el cansancio, la fatiga, la percepción del riesgo, entre otros.

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y PREGUNTAS ORIENTADORAS

OBJETIVOS

RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

1 MARCO REFERENCIAL

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Transporte de carga

2.1.1 Gestión de flota

2.1.2 Indicadores de desempeño

2.1.3 Cadena de Suministro

2.1.3.1 Definición

2.1.3.2 Objetivo

2.1.3.3 Administración

2.1.3.4 Distribución

2.1.3.5 Logística

2.2 Gestión del Mantenimiento

2.2.1 Definición

2.2.2 Función

2.2.3 Objetivos

- 2.2.4 Niveles
- 2.2.5 DMC
- 2.2.6 RCM
- 2.3 Ensayos no Destructivos
 - 2.3.1 Definición
 - 2.3.2 Objetivo
 - 2.3.3 Clasificación
 - 2.3.3.1 Visual Directo
 - 2.3.3.2 Visual Remoto
 - 2.3.3.3 Superficial por líquidos penetrantes
 - 2.3.3.4 Superficial por partículas Magnéticas
 - 2.3.3.5 Volumétricos
- 2.4 Seguridad vial
 - 2.4.1 Accidentabilidad

3 DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

4 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

5 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

ANEXO

9. METODOLOGÍA

En la presente sección se da a conocer la metodología de la investigación, en la cual describe el enfoque, diseño, tipo de estudio, alcance, variables e indicadores, fases, resultados esperados y la población o muestra.

9.1. Enfoque

El enfoque de la investigación es de carácter mixto, debido a que se utilizarán variables cuantitativas para la identificación de los modos de falla potenciales, considerando la matriz de riesgo en función de su frecuencia y severidad; y variables cualitativas para la revisión documental en el proceso de investigación de antecedentes del problema y marco teórico.

9.2. Diseño

El diseño de investigación es no experimental porque no se utilizará ensayos de laboratorio como herramienta para la identificación fallas críticas potenciales y determinar las técnicas de ensayo no destructivo a utilizar. Los datos se obtendrán mediante observación y uso de herramientas que permita la medición, seguimiento y monitoreo de parámetros de funcionamiento de los remolques de volteo y cisternas.

9.3. Tipo de estudio

Se ha seleccionado un estudio de investigación tipo descriptivo, ya que requiere información detallada del funcionamiento y características de los

remolques de volteo y cisternas, recolección de datos para medir variables que ayuden a la identificación de modos de falla con potencial crítico del sistema, así como para determinar los ensayos no destructivos a realizar para la prevención de accidentes, Adicional, la investigación será también de tipo transversal ya que la recolección de datos será realizada una vez para cada miembro de la muestra.

9.4. Alcance

El alcance metodológico del trabajo de investigación es descriptivo, se enlistarán los diferentes modos de fallo potenciales y se determinarán los ensayos no destructivos a efectuar de acuerdo con el tipo de elemento en estudio en cada uno de los sistemas del remolque de volteo y cisterna.

9.5. Variables e indicadores

A continuación, la tabla de operativización de las variables consideradas en el proyecto, de acuerdo con los objetivos planteados, presenta un esquema resumido del proceso a seguir durante el trabajo de investigación.

Tabla II. **Operacionalización de variables**

Objetivos	Variable	Tipo de variable	Indicador	Técnica	Método de tabulación
Identificar las fallas críticas con alto potencial de accidente en flota de remolques de volteo y cisterna	Falla crítica	dependiente Cuantitativa Cardinal	Disponibilidad, MTBF, MTTR	RCM	Tablas de Microsoft Excel para procesamiento de la información
Determinar la técnica de ensayo no destructivo a utilizar de acuerdo con el tipo de elemento en estudio en cada uno de los sistemas del remolque de volteo y cisterna	Falla crítica	Independiente Cualitativa Cardinal	Grados de temperatura, frecuencia (hertz), desgaste, estado del lubricante	Técnicas de ensayo no destructivo	Tablas de Microsoft Excel para procesamiento de la información
Estimar los beneficios de un programa de inspección del mantenimiento que utiliza técnicas de ensayo no destructivas para equipos de remolque volteo y cisterna	Accidentes, Entregas en tiempo, Presupuesto	Dependiente Cuantitativa Cardinal	% de cumplimiento	Diagrama de Pareto / Gráficos / Análisis FODA	Tablas de Microsoft Excel para procesamiento de la información

Fuente: elaboración propia.

9.6. Fases

A continuación, se describe como los objetivos propuestos ayudan a darle enfoque al trabajo de investigación:

- Fase 1: Revisión documental para los antecedentes y marco teórico

Obedece a la revisión documental de trabajos de investigación previos en el área de mantenimiento, para el análisis de fallas, como lo es el RCM y

monitoreo de condición de equipos por medio de técnicas de ensayo no destructivas, bibliografía que permita profundizar a detalle en el tema

- Fase 2: Identificar las fallas críticas de los componentes con alto potencial de accidente en flota de remolques de volteo y cisterna

En esta fase se procederá a utilizar herramientas como el RCM, para enlistar las funciones de los sistemas y subsistemas, determinar el fallo funcional y el fallo técnico, donde cada uno de estos fallos podría presentar múltiples modos de fallo, con múltiples causas que lleguen a la raíz de la falla, y para determinar su criticidad analizaran los efectos de cada una y se clasificaran de acuerdo con su gravedad considerando la consecuencia. Con la información obtenida se trabajará en la propuesta que permita evitar el fallo o minimizar sus efectos.

- Fase 3: Determinar la técnica de ensayo no destructivo a utilizar de acuerdo con el tipo de elemento en estudio en cada uno de los sistemas del remolque de volteo y cisterna.

Con la información recopilada en la fase número dos se procederá a revisar y proponer para cada tipo de falla crítica una solución, que ayude a eliminar o mitigar el riesgo de accidente, enfocada de forma predictiva como los son la aplicación de técnicas de ensayo no destructivas, como parte del programa de inspección de mantenimiento

- Fase 4: Estimar los beneficios de un programa de inspección de mantenimiento que utiliza técnicas de ensayo no destructivas para equipos de remolque volteo y cisterna

En la última fase se procede a realizar una estimación de los beneficios obtenidos, en aspectos como la seguridad en la reducción de accidentes, una mejor planeación del mantenimiento, el costo de mantenimiento, la vida útil de los equipos, servicio al cliente, personal mejor capacitado y entrenado, técnicos certificados, entre otros.

9.7. Resultados esperados

El término principal del presente proyecto de investigación será diseñar un programa de inspección de mantenimiento, por medio de ensayos no destructivos en flota de remolques de volteo y cisternas, que permitan evitar los accidentes, eliminando o mitigando el riesgo en las operaciones.

Así mismo, los resultados que se obtendrán del proyecto le proporcionarán a la gerencia de mantenimiento, información importante para la toma de decisiones oportuna, mismas que deben estar alineadas a los objetivos en común de la compañía, como los son la salud y seguridad en la prevención de accidente, mejorar el servicio al cliente y reducir costos de operaciones y mantenimiento.

9.8. Población y muestra

La población definida para el presente trabajo de investigación será la totalidad de los equipos de remolque de volteo y cisterna de la flota de transporte pesado durante el período Febrero-Julio 2023. Estadísticamente la muestra será igual a la población, ya que se tomará el análisis de todos los equipos asignados a operación.

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

En esta sección se describe para cada fase de la investigación, las técnicas de la estadística descriptiva a utilizar para el análisis de los datos recolectados y describir los resultados esperados para el diseño un programa de inspección de mantenimiento, por medio de ensayos no destructivos en flota de equipo de remolques de volteo y cisternas en una empresa de transporte pesado.

10.1. Herramientas de diagnóstico

A continuación, se describen las herramientas que se utilizarán con el propósito de recopilar información necesaria para el desarrollo del proyecto de investigación.

Módulo de mantenimiento SAP: de la fase dos, identificar las fallas críticas de los componentes con alto potencial de accidente en flota de remolques de volteo y cisterna se tomará la información, disponible en del módulo de mantenimiento del sistema de gestión SAP, revisión de ordenes de trabajo e historial de reporte de fallas, para luego tabular y procesar la información utilizando software Microsoft Excel ®.

Entrevistas: revisión de los procesos actuales con el personal de operaciones y mantenimiento, capacitaciones en la utilización de los equipos, buenas prácticas realizadas en el mantenimiento, análisis FODA en las áreas involucradas.

10.2. Análisis de la información

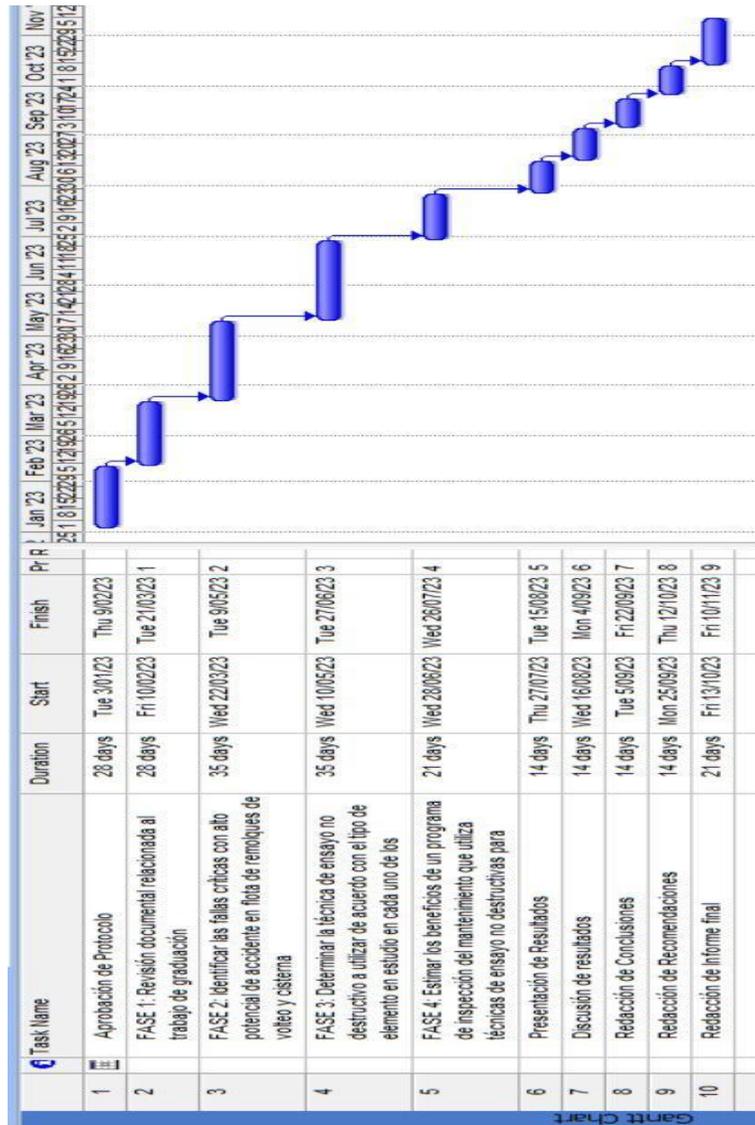
En esta sección se realiza una descripción del proceso que será utilizado con el propósito de analizar la información que fue obtenida durante la toma de datos.

RCM: de la fase dos, para analizar los datos tabulados se adoptarán algunas técnicas del mantenimiento, centrado en confiabilidad para los diferentes sistemas y subsistemas, funciones, fallas, causa raíz, efectos, consecuencias, como predecir o prevenir la falla, como mitigar el riesgo potencial de accidente de los equipos de remolque de volteo y cisterna.

Matriz de análisis de riesgos: luego de la tabulación de datos y revisión de fallas se buscará la categorización de las mismas, que permitan elaborar una tabla para la gestión de riesgos también desarrollarán gráficos de barras para analizar tendencias, esto permitirá identificar donde se deben enfocar los esfuerzos de la gestión de mantenimiento para elevar la confiabilidad de los equipos.

11. CRONOGRAMA

Figura 5. Cronograma



Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Project.

12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

El trabajo de investigación es factible, porque se cuenta con todos los recursos necesarios para llevar a cabo cada una de las fases y cumplir con los objetivos propuestos.

Los recursos indispensables para el desarrollo de la presente investigación son humanos, materiales y tecnológicos, de significativa ayuda en el desarrollo del estudio, el 30 % del presupuesto será aportado por el investigador.

Tabla III. **Presupuesto**

N°	Recurso	Descripción del gasto	Monto	Porcentaje	Financiamiento
1	Humano	Inversión de tiempo por el investigador	Q10,000.00	21.8 %	Propio
2	Humano	Inversión de tiempo asesor de trabajo de investigación	Q10,000.00	21.8 %	Asesor
3	Material	Suministros de oficina	Q 800.00	1.7 %	Empresa
4	Transporte	Gastos de movilización a los diferentes puntos de investigación	Q 4,000.00	8.7 %	Empresa
5	Tecnológico	Equipo de cómputo, accesorios y servicios	Q 9,500.00	20.7 %	Empresa
6	Tecnológico	Recursos para la aplicación de técnicas de ensayo no destructivas	Q 7,500.00	16.4 %	Empresa
6		Imprevistos	Q 4,000.00	8.7 %	Propio
			<u>Q45,800.00</u>	<u>100 %</u>	

Fuente: elaboración propia.

13. REFERENCIAS

1. Aguilar Pérez, L. (2017). *Estudio de las discontinuidades generadas en la aplicación de soldadura híbrida láser-gmaw en componentes automotrices*. Saltillo, Coahuila, México: Corporación mexicana de investigación en materiales, División de estudios de posgrado.
2. Arango, M., Ruiz, S., Ortiz, L., y Zapata, J. (diciembre de 2017). *Indicadores de desempeño para empresas del sector logístico: Un enfoque desde el transporte de carga terrestre*. (U. d. Tarapacá, Ed.) *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 25, 707-720. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=77254022014>
3. Araque de los Ríos, O. (Diciembre de 2015). *Caracterización de discontinuidades típicas en soldadura, utilizando la técnica de Ultrasonido Pulso Eco-Scan A*. *Scientia et Technica*, 20(04), 331 - 337. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84946834004>
4. Araujo, J. (2017). *Estudio de inversión para la competitividad: propuesta de innovación a un laboratorio de ensayos no destructivos*. Querétaro, Mexico : CIATEQ A.C.
5. Ballou, R. (2004). *Logística. Administración de la cadena de suministro* (Quinta edición ed.). México, México: Pearson Educación.
6. Campos, O., Tolentino, G., Tolentino, R., y Toledo, M. (2019). *Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando*

- taxonomía de equipos, base de datos y criticidad de efectos* (Vol. 23). México: Científica. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61458265006>
7. Castillo Méndez, C. (2019). *Propuesta de un sistema de evaluación integral de la flota de reparto, en una industria de cemento, para el cumplimiento de la oferta comercial, en el segmento a granel. Maestría*. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
 8. Cedeño, R., y González, L. (Enero-Marzo de 2020). *La gestión del proceso de transporte de carga para las empresas transportistas*. (C. d. Holguín, Ed.) *Ciencias Holguín*, 26, 43 - 52. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181562407004>
 9. Chavarry Infante, H., Cuzzi Vargas, D., Padilla Tirado, A., y Peña la Rosa, J. (2021). *Plan de Negocios para la Implementación de Supply Chain Management en la Cadena de Panaderías y Pastelerías Don Alonzo post pandemia COVID-19*. Universidad ESAN, Lima, Peru.
 10. Chopra, S., y Meindl, P. (2008). *Administración de la cadena de suministro. Estrategia, planeación y operación*. (Vol. Tercera edición). (L. Cruz Castillo, Ed., A. Fernández, & P. Villareal, Trads.) México: PEARSON EDUCACIÓN.
 11. Duarte, E., Camacho, M., y Meneses, S. (Marzo-Junio de 2018). *Exploración de relaciones causales entre accidentalidad vial y productividad empresarial usando dinámica de sistemas*. (U. T. Pereira, Ed.) *Scientia Et Technica*, 204-213. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84958010010>

12. Estrada, J. (2020). *Diseño de un plan de mantenimiento predictivo aplicado a los compresores de aire para la fábrica de pisos, azulejos y fachaletas cerámicas de samboro, s.a. basado en la norma ISO 17359*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
13. Figueroa García, D. (2019). *Implementación de un plan de inspección y reparación por soldadura de rodetes pelton, para la planta hidroeléctrica Aguacapa . Facultad de Ingeniería, Escuela de Estudios de Postgrado*. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala, Guatemala. Obtenido de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/id/eprint/12158>
14. López Nuñez, J., Trinchet Varela, C., Pérez Rodríguez, R., y Vargas Guativa, J. (Enero-Abril de 2021). *Procedimiento para evaluar el mantenimiento en una flota de transporte de combustibles por carretera. Ingeniería Mecánica, 24, 1-14*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=225169340001>
15. Martínez , F. (enero-diciembre de 2009). *El sistema de transporte de carga en la Ciudad de México. Factores a considerar en el análisis del transporte de carga y la movilidad de mercancías*. (U. d. Rosario, Ed.) *Territorios*, 20-21, 161-174. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=35714248008>
16. Maya, J. (2018). *Aplicación de RCM como estrategia de implementación del mantenimiento predictivo para la metodología TPM*. Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia .
17. Mendoza, W. (2020). *Práctica Recomendada N°. SNT-TC-1A. Calificación y certificación de personal en pruebas no destructivas.*, 1-57.

18. Mora, L. (2009). *Mantenimiento. Planeación, ejecución y control* (Primera Edición ed.). México, México: Alfaomega Grupo Editor.
19. Organización Mundial de la Salud. (2017). *Informe sobre la situación mundial de la seguridad vial*. Ginebra, Suiza. Obtenido de https://www3.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=14857:new-who-report-highlights-insufficient-progress-to-tackle-lack-of-safety-on-the-world-s-roads&Itemid=1926&lang=es
20. Ospina Lopez, R., Hernando Trujillo, C., y Parra, H. (Agosto de 2011). *Aplicación y selección de ensayos no destructivos para la evaluación de uniones soldadas*. (U. T. Pereira, Ed.) *Scientia Et Technica*, 48, 96-201. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84922622035>
21. Rigol, B., Hidalgo, E., y Batista, C. (julio-septiembre de 2008). *El impacto de las fallas en los sistemas de los vehículos de transporte de carga, en la disponibilidad técnica de una gran empresa transportista de carga de la ciudad de Holguín*. (C. d. Cuba, Ed.) *Ciencias Holguín*, XIV, 1-11. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181518069001>
22. Salguero, M. (2016). *Actualización del reglamento de pesos y dimensiones de vehículos automotores y sus combinaciones (acuerdo gubernativo 1084-92)*. Escuela de Estudios de Posgrado, Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
23. Segura Oliva, F. (2014). *Aplicación de ensayos no destructivos por la empresa PSMI S.A. para determinar la calidad de fabricación, armado y aplicaciones de soldadura en tubería de vapor de escape según norma ASME B31.3*. Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos de

Guatemala, Guatemala, Guatemala. Obtenido de
http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0822_M.pdf

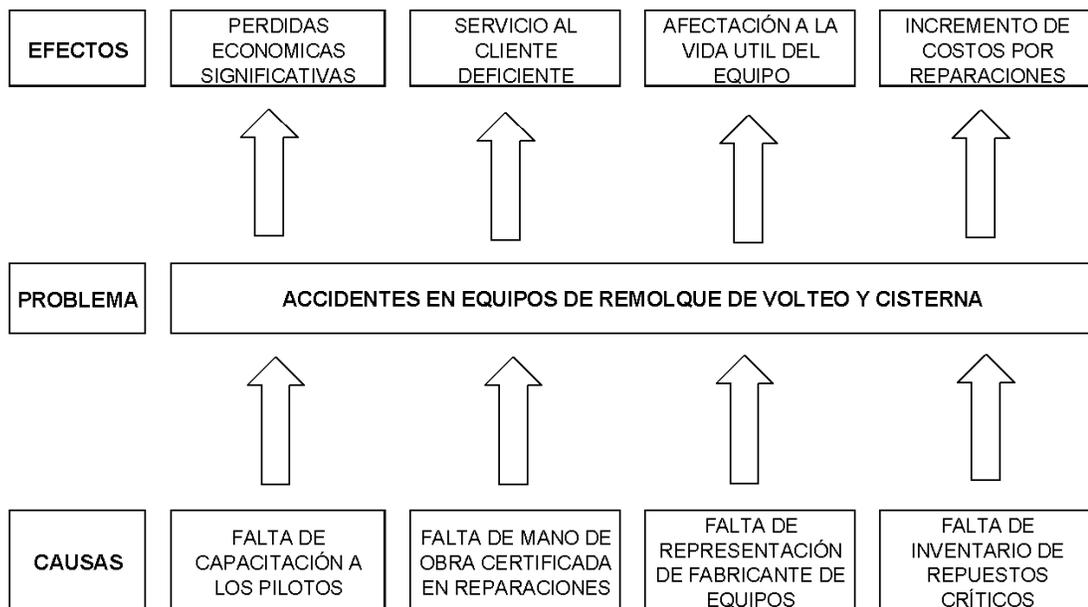
24. Sexto, L. (2008). *La confiabilidad integral del activo*. *Revista de Ingeniería Mecánica*, 11(1), 49-56. Obtenido de
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=225115062006>
25. Soria Lemus, E. (2004). *Laboratorio de ensayos no destructivos de la carrera de ingeniería mecánica de la facultad de ingeniería, USAC. Escuela de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería*. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala, Guatemala. Obtenido de
http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0438_M.pdf
26. Tejaxún, C. (2019). *Desarrollo de un modelo de gestión de mantenimiento a través del monitoreo de condición, utilizando ensayos no destructivos, bajo la norma iso 17359:2011 para la conservación de equipos críticos, en la industria avícola*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería.
27. Vargas, M. (2019). *Diseño de un sistema de gestión integrado de logística para el despacho de producto terminado en una planta de envasado y distribución de bebidas no carbonatadas*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.

14. APÉNDICES



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

Apéndice 1. **Árbol del problema**



Fuente. elaboración propia.

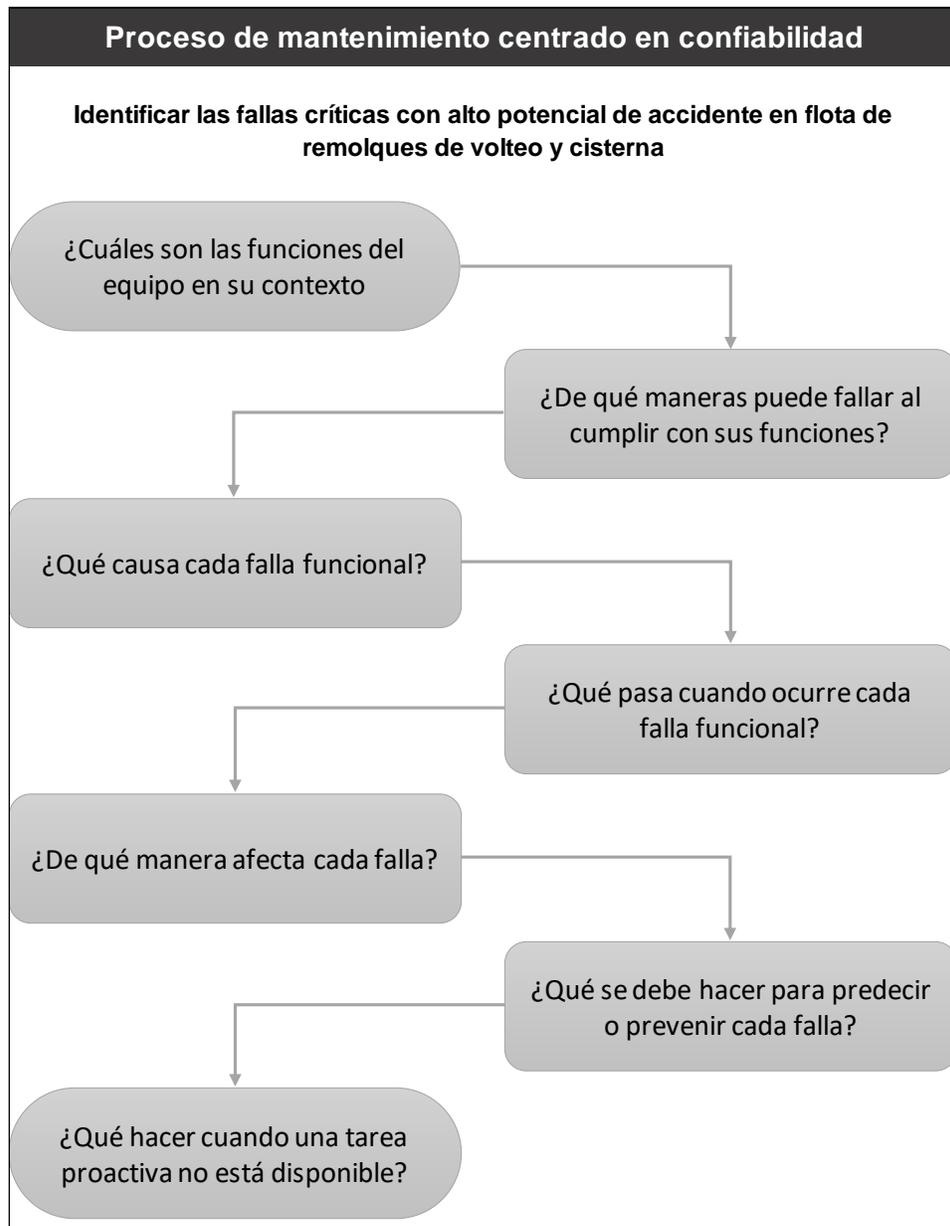
Apéndice 2. **Matriz de Coherencia**

Preguntas de investigación	Objetivos	VARIABLES	Indicadores	Técnicas - herramientas	Metodología
¿Cómo identificar las fallas críticas de los componentes con alto potencial de accidente en flota de remolques de volteo y cisterna?	Identificar las fallas críticas con alto potencial de accidente en flota de remolques de volteo y cisterna	Falla crítica	Disponibilidad, MTBF, MTTR	RCM	funciones, fallas, causa raíz, efectos, consecuencias, como predecir o prevenir la falla, como mitigar el riesgo
¿Cómo determinar la técnica de ensayo no destructivo a utilizar de acuerdo con el tipo de elemento en estudio en cada uno de los sistemas del remolque de volteo y cisterna?	Determinar la técnica de ensayo no destructivo a utilizar de acuerdo con el tipo de elemento en estudio en cada uno de los sistemas del remolque de volteo y cisterna	Falla crítica	Grados de temperatura, frecuencia (hertz), desgaste, estado del lubricante	Técnicas de ensayo no destructivo	Categorización de las fallas y las técnicas de ensayo no destructivo dentro de matriz de riesgo
¿Cómo estimar los beneficios de un programa de inspección de mantenimiento que utiliza técnicas de ensayo no destructivas para equipos de remolque de transporte pesado?	Estimar los beneficios de un programa de inspección de mantenimiento que utiliza técnicas de ensayo no destructivas para equipos de remolque volteo y cisterna	Accidentes, Entregas en tiempo, Presupuesto	% de cumplimiento	Diagrama de Pareto / Gráficos / Análisis FODA	Salud y seguridad, Servicio al cliente, Costo operación y mantenimiento

Fuente: elaboración propia.



Apéndice 3. Identificación de fallas



Fuente: elaboración propia.



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

Apéndice 4. **Ensayo no destructivo**

TECNICAS DE ENSAYO NO DESTRUCTIVO	
ORDEN _____	FECHA _____
TECNICO _____	EMPRESA _____
INFORMACIÓN	
TECNICA _____	EQUIPO _____
APARATO _____	UBICACIÓN _____
PROCEDIMIENTO	
REGISTRO FOTOGRAFICO	

Fuente: elaboración propia.



Apéndice 5. Nivel de Riesgo

		CONSECUENCIA			
		MENOR	MAYOR	CRÍTICA	CATASTROFICA
PROBABILIDAD	FRECUENTE	2	3	4	4
	MODERADA	2	2	3	4
	OCASIONAL	1	2	2	3
	POSIBLE	1	1	2	2

1
2
3
4

- Inspeccionar
- Diligenciar
- Investigar
- Mitigar

Fuente: elaboración propia.

