

Gervert Manuel Cifuentes Pimentel

PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA  
CONFIABILIDAD, PARA MAQUINARIA PESADA DE OPERACIÓN, EN  
ZONA VIAL NO. 4, DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS, RETALHULEU,  
RETALHULEU



Asesor General Metodológico  
Ing. Carlos Moisés Hernández González

Universidad Rural de Guatemala  
Facultad de Ingeniería

Guatemala, octubre de 2023

Informe final de graduación

PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA  
CONFIABILIDAD, PARA MAQUINARIA PESADA DE OPERACIÓN, EN  
ZONA VIAL NO. 4, DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS, RETALHULEU,  
RETALHULEU



Presentado al honorable tribunal examinador por:

Gervert Manuel Cifuentes Pimentel

En el acto de investidura previo a su graduación de Licenciatura en Ingeniería  
Industrial con énfasis en Recursos Naturales Renovables

Universidad Rural de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Guatemala, octubre de 2023

Informe final de graduación

PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA  
CONFIABILIDAD, PARA MAQUINARIA PESADA DE OPERACIÓN, EN  
ZONA VIAL NO. 4, DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS, RETALHULEU,  
RETALHULEU



Rector de la universidad:

Doctor Fidel Reyes Lee

Secretario de la Universidad:

Licenciado Mario Santiago Linares García

Decano de la Facultad de Ingeniería

Ingeniero Luis Adolfo Martínez Díaz

Universidad Rural de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Guatemala, octubre de 2023

Esta tesis fue presentada por el autor, previo a obtener el título Universitario de Licenciatura en Ingeniería Industrial con Énfasis en Recursos Naturales Renovables.

## Prólogo

Esta investigación es un requisito previo a optar al título universitario de Licenciatura en Ingeniería Industrial con Énfasis en Recursos Naturales Renovables, de conformidad con los estatutos establecidos por Universidad Rural de Guatemala.

Las razones prácticas de la investigación son: aplicar todos los conocimientos adquiridos durante la carrera, servir como fuente de consulta para estudiantes de Universidad Rural de Guatemala y otras universidades, y que los conocimientos adquiridos de la investigación se puedan aplicar en otras empresas que tengan la misma problemática.

El estudio: Propuesta de plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, para maquinaria pesada de operación, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu, se llevó a cabo para proponer las posibles soluciones a la problemática que posee la entidad en la ejecución de rutas y el desempeño de mantenimiento de carreteras.

Los resultados del presente estudio pueden aplicarse en otras empresas que tengan la misma problemática. También puede utilizarse como consulta académica de estudiantes de las distintas universidades del país, además permite que los estudiantes apliquen los conocimientos adquiridos durante el proceso de su carrera profesional.

Con el fin de dar solución, la problemática, se presenta como aporte a dicha solución, tres resultados; 1. Fortalecimiento de la Unidad Ejecutora, 2. Propuesta de plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, para maquinaria pesada de operación, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu y 3. Programa de capacitación a personal de Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu. Esto permitirá reducir el riesgo de pérdidas económicas.

## Presentación

El estudio denominado Propuesta de plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, para maquinaria pesada de operación, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu, fue realizado durante los meses de febrero a septiembre del año dos mil veintidós, como requisito previo a obtener el Título Universitario de Licenciatura en Ingeniería Industrial con Énfasis en Recursos Naturales Renovables, según los estatutos establecidos por Universidad Rural de Guatemala.

El fin primordial u objetivo de la investigación es reducir el riesgo de pérdidas económicas, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu.

A esto se añade la documentación ya existente de dicha problemática, la cual refuerza la importancia y necesidad de realizar un plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, para maquinaria pesada de operación, en Zona Vial No. 4. Se determinó que el problema central son los inadecuados procesos de mantenimiento de maquinaria pesada de operación, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu.

En la investigación surgió una propuesta para solucionar el problema, formada por los tres resultados siguientes: a) Fortalecimiento de la Unidad Ejecutora. b) Propuesta de plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, para maquinaria pesada de operación, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu. c) Programa de capacitación a personal de Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu.

Los resultados descritos, conjuntamente con sus actividades respectivas, conforman la presente propuesta.

## ÍNDICE GENERAL

No.	Contenido	Página
I.	INTRODUCCION.....	01
I.1.	Planteamiento del problema.....	02
I.2.	Hipótesis.....	03
I.3.	Objetivos.....	03
I.3.1.	Objetivo general.....	03
I.3.2.	Objetivo específico.....	03
I.4.	Justificación.....	04
I.5.	Metodología.....	04
I.5.1.	Métodos.....	05
I.5.2.	Técnicas.....	06
II.	MARCO TEÓRICO.....	09
III.	COMPROBACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	85
IV.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	92
IV.1.	Conclusiones.....	92
IV.2.	Recomendaciones.....	93
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

## ÍNDICE DE CUADROS

No.	Contenido	Página
1.	Zonas viales de la DGC .....	11
2.	Clasificación de pérdidas en las empresas .....	19
3.	Ventajas del mantenimiento predictivo.....	52
4.	Objetivos del mantenimiento productivo total.....	54
5.	Intervalo de tomas de muestra .....	74
6.	Procedimiento RCM .....	76
7.	Ventajas de RCM .....	80
8.	Personas que opinan sobre la existencia de riesgo de pérdidas económicas en Zona Vial No. 4, Dirección General Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu.....	86
9.	Personas que opinan sobre el tiempo de existencia del riesgo de pérdidas económicas, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu .....	87
10.	Personas que opinan sobre la importancia de reducir el riesgo de pérdidas económicas, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu .....	88
11.	Personas que opinan sobre la existencia de plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, para maquinaria pesada de operación, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu. ....	89
12.	Personas que opinan sobre la necesidad de plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, para maquinaria pesada de operación, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu, Retalhuleu. ....	90
13.	Personas que apoyarán al plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, para maquinaria pesada de operación, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu.....	91

## ÍNDICE DE FIGURAS

No.	Contenido	Página
1.	Estructura Dirección General de Caminos .....	10
2.	Red vial de Guatemala .....	12
3.	Sobreproducción igual a sobre stock.....	21
4.	Maquinaria pesada para el movimiento de tierras.....	28
5.	Camión de volteo articulado .....	37
6.	Cargadores frontales.....	38
7.	Tractor topador.....	39
8.	Motoniveladora .....	40
9.	Vibrocompactadora de rodillo .....	41
10.	Retroexcavadora.....	42
11.	Evolución del mantenimiento .....	43
12.	Mantenimiento .....	44
13.	Niveles del mantenimiento.....	45
14.	Tipos de mantenimiento.....	46
15.	Mantenimiento preventivo .....	49
16.	Pirámide de solución jerárquica de fallas.....	55
17.	Pilares del TPM.....	56
18.	Estructura de capacitación personal de mantenimiento .....	61
19.	Tácticas de mantenimiento proactivo.....	63
20.	Focalización del mantenimiento de clase mundial.....	64
21.	Reducción de despilfarros del Lean Maintenance .....	65
22.	Curva de tasa de fallas del equipo.....	67
23.	Mantenimiento de maquinaria pesada, limpieza de filtros.....	69
24.	Intervalos de mantenimientos según CAT .....	70
25.	Herramienta LEMIS.....	71
26.	Patrones principales de falla.....	77

27. Proceso de implementación del RCM.....	79
28. Evolución de un programa dinámico de RCM.....	81
29. Esquema global del árbol de decisiones.....	82

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

No.	Contenido	Página
1.	Personas que opinan sobre la existencia de riesgo de pérdidas económicas en Zona Vial No. 4, Dirección General Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu.....	86
2.	Personas que opinan sobre el tiempo de existencia del riesgo de pérdidas económicas, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu. ....	87
3.	Personas que opinan sobre la importancia de reducir el riesgo de pérdidas económicas, en Zona Vial No. 4 , Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu .....	88
4.	Personas que opinan sobre la existencia de plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, para maquinaria pesada de operación, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu. ....	89
5.	Personas que opinan sobre la necesidad de plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, para maquinaria pesada de operación, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu. ....	90
6.	Personas que apoyarán al plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, para maquinaria pesada de operación, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu.....	91

## I. INTRODUCCIÓN

El presente estudio Propuesta de plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, para maquinaria pesada de operación, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu, se elaboró como requisito establecido por Universidad Rural de Guatemala, previo a obtener el título universitario de Licenciatura en Ingeniería Industrial con Énfasis en Recursos Naturales Renovables.

Los resultados del estudio pueden aplicarse en otras entidades que tengan la misma problemática. También puede utilizarse como consulta académica para personas en general interesadas en la materia de estudio. Además, sirve para que los estudiantes puedan aplicar los conocimientos adquiridos durante su carrera profesional.

Al terminar el trabajo de graduación, se comprobó la hipótesis: El riesgo de pérdidas económicas, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu, en los últimos cinco años, por inadecuados procesos de mantenimiento de maquinaria pesada de operación, es debido a inexistencia de plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.

El informe está integrado de la siguiente forma: Prólogo y Presentación. Luego los siguientes capítulos: I. Introducción, planteamiento del problema, hipótesis, objetivo general y objetivos específicos, justificación, metodología conformada por métodos y técnicas tanto para la formulación como para la comprobación de la hipótesis. II. Marco teórico, que comprende aspectos conceptuales.

III. Comprobación de la hipótesis. Formado por cuadros y gráficas de los resultados obtenidos de las encuestas relacionados a la variable dependiente “Y” e independiente “X”, con su respectivo análisis. IV. Conclusiones y recomendaciones, luego bibliografía y anexos principales. Posteriormente, la propuesta está integrada por tres resultados y sus respectivas actividades.

### I.1. Planteamiento del problema

La investigación realizada permite describir de la siguiente manera que la problemática encontrada en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos se origina y está formada por el efecto o variable dependiente, el problema central y la causa principal o variable independiente.

El problema encontrado es inadecuados procesos de mantenimiento de maquinaria pesada de operación, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu. El efecto es riesgo de pérdidas económicas y la causa principal es la inexistencia de plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, para maquinaria pesada de operación, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu.

La hipótesis es la siguiente: El riesgo de pérdidas económicas, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu, en los últimos cinco años, por inadecuados procesos de mantenimiento de maquinaria pesada de operación, es debido a inexistencia de plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.

El objetivo general es reducir el riesgo de pérdidas económicas, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, las cuales perjudican el buen desempeño de la planificación anual establecida por la institución.

Para el año 2022, si no se aplica la propuesta continuará el riesgo de pérdidas económicas en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu. Por contrario, si se aplica la presente, se reducirá dicho riesgo.

Por lo anterior, se crea la presente propuesta integrada por los siguientes resultados: Fortalecimiento de la Unidad Ejecutora. Propuesta de plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, para maquinaria pesada de operación, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu. Programa de capacitación a personal de Zona Vial No. 4, Dirección.

## I.2. Hipótesis

A través del Marco Lógico, se elaboró la Variable Dependiente: Riesgo de pérdidas económicas, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu, en los últimos cinco años y la Variable Independiente: Inexistencia de plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, para maquinaria pesada de operación, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu.

Con estas variables se elaboró la siguiente hipótesis: El riesgo de pérdidas económicas, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu, en los últimos cinco años, por inadecuados procesos de mantenimiento de maquinaria pesada de operación, es debido a inexistencia de plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.

¿Será la inexistencia de plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, por inadecuados procesos de mantenimiento de maquinaria pesada de operación, la causante del riesgo de pérdidas económicas, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu, en los últimos cinco años?

## I.3. Objetivos

Con la finalidad de dar solución a la problemática, se trazaron los siguientes objetivos:

### I.3.1. Objetivo general

Reducir el riesgo de pérdidas económicas, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu.

### I.3.2. Objetivo específico

Implementar adecuados procesos de mantenimiento de maquinaria pesada de operación, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu.

#### I.4. Justificación

Durante el desarrollo del presente trabajo de investigación, se refleja la imperiosa necesidad de implementar medidas ante la gravedad de la problemática inadecuados procesos de mantenimiento de maquinaria pesada de operación, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu, cuyo efecto generado es el riesgo de pérdidas económicas.

La presente investigación se basó en fuentes de información que ofrecen datos verídicos y serios; además de otras fuentes constituyentes, el trabajo de campo que se desarrolló con las personas que se encuentran dentro de la institución y en la documentación existente sobre el tema.

Como aproximación y solución del problema expuesto, se hace necesario realizar una Propuesta de plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, para maquinaria pesada de operación, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu.

Los métodos y estrategias para implementar la presente Propuesta de plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, de acuerdo a la investigación se determinó que la institución contará con adecuados procesos de mantenimiento y de esta manera se reducirá el riesgo de pérdidas económicas en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu. En virtud, a lo antes indicado y para solucionar la problemática se sugiere la presente propuesta.

Si se aplica la presente propuesta, para los próximos años, se reducirá el riesgo de pérdidas económicas. Caso contrario, al no aplicarse continuará el riesgo de pérdidas económicas en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu. De esta manera se justifica la implementación de la presente, se reduce el riesgo de pérdidas financieras y si no se aplica se incrementará el mismo.

## I.5. Metodología

Para comprobar la hipótesis planteada al inicio de la investigación, se realizó la siguiente metodología:

### I.5.1. Métodos

Se dividen en los utilizados para la formulación de la hipótesis y para la comprobación de la hipótesis. La metodología utilizada para la elaboración de la hipótesis y su comprobación se compone de métodos y técnicas.

#### Métodos utilizados en la formulación de la hipótesis

Los métodos utilizados en la formulación de la hipótesis fueron: El Método deductivo y el Método del marco lógico.

#### Método deductivo

Este se utilizó para identificar la problemática, la cual inicia con la observación de fenómenos naturales y de esta manera poder definir la investigación planteada, por lo que fue necesario visitar la zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu.

#### Método del marco lógico o la Estructura lógica

Es una herramienta que facilita el proceso de conceptualización, diseño, ejecución y evaluación de proyectos. Su énfasis está centrado en la orientación por objetivos, la orientación hacia grupos beneficiarios y el facilitar la participación y la comunicación entre las partes interesadas.

El método del marco lógico o la estructura lógica, sirvió para la estructura y elaboración de los árboles de problemas y objetivos, para establecerlos resultados deseados y esperados dentro de la investigación, así mismo para fijar y establecer los insumos y tiempos por cada resultado. También para comprobar la hipótesis.

Métodos utilizados para la comprobación de la hipótesis

Los métodos utilizados para la comprobación de la hipótesis fueron los siguientes:  
Inductivo, de Síntesis y Estadístico.

Método inductivo

Se estudian los fenómenos particulares, que darán soluciones generales.

Con este método se obtuvieron los resultados de la problemática, se utilizó para realizar encuestas y para diseñar conclusiones, de esta forma poder llegar a la hipótesis planteada.

Método de síntesis

Una vez interpretada la información, se utilizó la síntesis para obtener conclusiones y recomendaciones del presente trabajo de investigación; la que sirvió para hacer congruente la totalidad de la investigación.

Método estadístico

Con este método se determinaron los parámetros necesarios, que ayudaron a la comprobación de la hipótesis.

Con este método, se tabularon los resultados de la encuesta, en los cuadros y gráficas, para comprobar la variable dependiente “Y” y la variable independiente “X”, que son la causa y el efecto.

I.5.2. Técnicas

Las técnicas empleadas en la formulación y comprobación de la hipótesis fueron las siguientes:

Técnicas de investigación para la formulación de hipótesis

Las técnicas que se utilizaron para la formulación de la hipótesis son las herramientas que se detallan a continuación:

#### Lluvia de ideas

Se utilizó esta técnica para recopilar ideas de la problemática de todos los colaboradores de la zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu.

#### Observación directa

Por medio de esta investigación se observa el problema directo que se encontraba en la entidad y se recolectó dicha información.

#### Investigación documental

Se utilizó, con el objetivo de no duplicar documentos, además para obtener aportes y puntos de vista de otros investigadores sobre la problemática

#### Modeló dominó

Técnica importante que ayudó al análisis macro y micro de la investigación, sirvió como guía durante toda la elaboración del proyecto de tesis.

#### Técnicas empleadas para la comprobación de la hipótesis

Para la comprobación de la hipótesis se aplicaron las siguientes herramientas:

#### Cuestionario

Se elaboró un cuestionario para investigar el efecto (variable dependiente “Y”) y otro cuestionario para investigar la causa (variable independiente “X”), y para el problema, se distribuyó el mismo a la muestra.

#### Coefficiente de correlación

Empleado como medida para conocer el grado de asociación lineal entre las variables cuantitativas (X, Y). Se tomó como base el riesgo de pérdidas económicas, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu, en los últimos

cinco años (2018 a 2022), el resultado del cálculo del coeficiente de correlación fue de 0.99, el cual está dentro de los parámetros de aceptación establecidos  $r = (\geq \pm 0.8 \leq \pm 1)$ .

#### Ecuación lineal de la recta

Por medio de esta técnica, se confirmó el comportamiento lineal del efecto generado entre los años 2018 al 2022, donde se hace evidente el riesgo de pérdidas económicas existente; posteriormente se consiguió proyectar el efecto para los siguientes cinco años (2023 a 2027), para describir el comportamiento futuro del efecto con y sin el presente proyecto.

#### Censo

Para la comprobación de la variable dependiente “Y” o efecto, se empleó censo a 7 personas del área administrativa de Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu, para tener una certeza del 100% de información obtenida de la población objeto de estudio, dado que los elementos eran limitados (menores a 35 elementos).

Para la comprobación de la variable independiente “X” o causa, se empleó censo a jefe de zona, Maestros de caminos, Inspector de maquinaria e Inspector de Talleres mecánicos, para tener una certeza del 100% de información obtenida de la población objeto de estudio, dado que los elementos eran limitados (menores a 35 elementos).

## II. MARCO TEÓRICO

En el marco teórico se va a desarrollar la teoría que va a dar el fundamento a nuestra investigación. En su elaboración se hizo necesario elaborar una recopilación de datos e información documental. (Cárdenas, 2022).

Está integrado por aspectos que incluyen toda la teoría que se ha descrito anteriormente sobre la temática de estudio. Dentro de los principales temas se tiene: Dirección General de Caminos, Pérdidas económicas, Riesgo de pérdidas económicas, Maquinaria pesada de operación, Procesos de mantenimiento, Mantenimiento de maquinaria pesada de operación y Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.

### Dirección General de Caminos

En el año de 1920 mediante un acuerdo gubernativo se creó la Dirección General de Caminos (DGC), la cual es una dependencia del Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda (CIV) y es el ente rector de la infraestructura vial del país (Rosales, 2005, p. 1).

Una de las finalidades es de brindarle al país una adecuada infraestructura vial, de buena calidad y que posea estructura geográfica, la cual satisfaga las necesidades de movilización de las personas, así como los bienes por carreteras de forma fluida, económica y segura. La creación se efectuó durante el gobierno del Licenciado Estrada Carrera, como un ente gubernamental, el cual es el encargado en establecer parámetros en la construcción y el mantenimiento de carreteras (Rosales, 2005).

Esta dirección fue suprimida en el gobierno del General Lázaro Chacón, con el Acuerdo Gubernativo del 8 de noviembre de 1830, el cual ordenaba el desarrollo de obras viales mediante contratos. De forma simultánea se emitió otro decreto con el que se creó la Comisión Nacional de Caminos (Rosales, 2005, p. 2).

Dentro de las funciones a realizar se encuentran: elaboración de estudios, diseños y planes de gestión, supervisión de la construcción, obras de construcción, obras de rehabilitación y de mejoramiento, trabajos de conservación. El 18 de febrero de 1997 se creó por medio de un Acuerdo Gubernativo No. 186-97 la Unidad Ejecutora de Conservación Vial -COVIAL-, este paso a ser la responsable de los contratos de mantenimiento de las carreteras y con ello desaparece la división de mantenimiento por contrato (Rosales, 2005, p. 2).

### Estructura de la Dirección General de Caminos

En la actualidad la Dirección General de Caminos, para el cumplimiento de sus fines, en el ejercicio de su administración, se encuentra integrada de la manera siguiente:

Figura 1. Estructura Dirección General de Caminos



Fuente: Ponce, 2009.

### Zonas viales de la Dirección General de Caminos

La división de mantenimiento por administración es la encargada de mantener la infraestructura del transporte por carretera, adecuando la red vial al desarrollo económico y social del país, cuenta para el efecto con catorce zonas viales:

Cuadro 1. Zonas viales de la DGC

Zona vial	Ubicación
Zona vial 1	Km. 9 Zona 18, Guatemala
Zona vial 2	Jutiapa
Zona vial 3	Escuintla
Zona vial 4	Retalhuleu
Zona vial 5	Quetzaltenango
Zona vial 6	Huehuetenango
Zona vial 7	Alta Verapaz
Zona vial 8	Chiquimula
Zona vial 9	San Marcos
Zona vial 10	Peten
Zona vial 11	La Ruidosa
Zona vial 12	Chimaltenango
Zona vial 13	El Quiché
Zona vial 14	Baja Verapaz

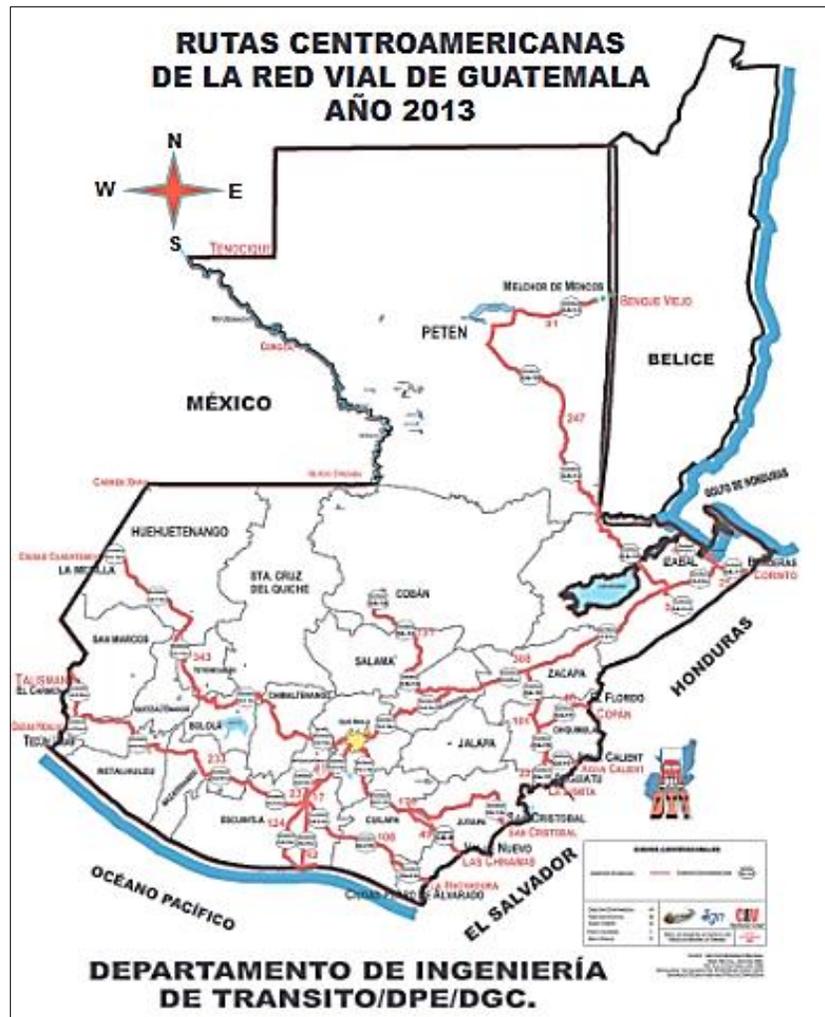
Fuente: Ponce, 2009.

### Caracterización vial del país

En todo el mundo se realizan distintos estudios con la finalidad de poder crear un sistema de transporte que sea eficiente, en vez de que sea una limitante para la locomoción. Este a su vez, se puede considerar una necesidad básica debido a que los problemas de transporte se incrementan conforme el aumento de la población (Rosales, 2005, p. 1).

En la siguiente figura se muestra el mapa de Guatemala con sus diferentes rutas de la red vial:

Figura 2. Red vial de Guatemala



Fuente: DGC, 2013.

Según Rosales 2005, en todas partes se realizan estudios con el objeto de generar sistemas de transporte que proporcionen un servicio de transporte hacia las personas, lo que se debe de evitar es de que la locomoción sea una limitante. Se debe de considerar que los problemas de transporte se atenúan conforme las poblaciones incrementan.

Otro de los problemas que se asocia a los problemas del transporte, en la búsqueda de nuevos espacios para vivir, con lo cual la gente se desplaza a los suburbios, así como a las zonas periféricas, los cuales requieren medios de transporte para la migración (Rosales, 2005, p. 1).

La demanda para una mayor movilidad personal lleva a las personas a comprar automóviles con la finalidad de poderse movilizar hacia sus destinos ya sean estos por trabajo o recreación (Rosales, 2005, p. 1).

### Infraestructura Vial

Consta de todo el conjunto de elementos que permiten el desplazamiento de vehículos en forma confortable y segura desde un punto a otro, minimizando las externalidades, esto incluye los pavimentos, puentes, túneles, dispositivos de seguridad, señalización, sistemas de drenaje, taludes, terraplenes y elementos paisajísticos. Cada uno de estos elementos cumple una función específica y única que lo hace indispensable para el buen funcionamiento de la infraestructura (Solminihac, Echaveguren y Chamorro 2019).

### Gestión de infraestructura vial

De este modo se puede deducir que la gestión de la infraestructura vial debe tomar en cuenta todos sus componentes, tanto los que están directamente relacionados con las operaciones de la infraestructura como los que se ven afectados por ella, tales como el sistema de alumbrado, agua y teléfono, en forma equilibrada y preocuparse que todo el sistema funcione como un conjunto armónico (Solminihac, Echaveguren y Chamorro 2019).

La gestión de la infraestructura es vital para el desarrollo económico de los países, por tal razón, se asignan altos recursos para el mantenimiento de los caminos o carreteras, el elemento básico dentro de la estructura es el pavimento (Solminihac et al, 2019).

Solminihaç, Echaveguren y Chamorro 2019, hacen hincapié en que del estado de los pavimentos depende la mayoría de los costos que incurren los usuarios, el pavimento es el componente que requiere la mayor cantidad de recursos para su construcción y mantenimiento respectivo, puesto que estos otorgan la superficie de rodadura en correlación con el diseño geométrico y la categoría de las vías y las necesidades de los medios de transporte, por lo cual, gran parte de los análisis y estudios realizados sobre la gestión de infraestructura vial, han sido enfocados históricamente al pavimento.

#### Infraestructura vial en Guatemala

La infraestructura vial en Guatemala, se ha clasificado según el tipo de ruta formulada en relación a las comunidades con las que se comunica. dicha clasificación se describe en los siguientes apartados:

#### Rutas centroamericanas (CA)

Las rutas centroamericanas unen a la capital con las fronteras, o con otra ruta centroamericana. Estas unen puertos comerciales desde la ciudad capital, atraviesan longitudinalmente o transversalmente todo el país, poseen las mejores condiciones topográficas, el derecho de vía es de 25 metros, lo cual comprende 12.50 metros de cada lado desde la línea central. El área de reserva es de 80 metros, 40 metros de cada lado desde la línea central (Rosales, 2005, p. 3).

#### Rutas nacionales (RN)

Por medio de estas se unen las cabeceras departamentales, se unen las rutas centroamericanas con las cabeceras departamentales, se conectan las rutas centroamericanas, se unen las rutas centroamericanas con puertos de importancia comercial en el país, abarcan la red auxiliar de rutas centroamericanas. El derecho de vía es de 25 metros, 12.5 metros de cada lado desde el centro. El área de reserva es de 80 metros, es a 40 metros de la línea central (Rosales, 2005, p. 3).

### Rutas departamentales (RD)

Por medio de estas rutas se interconectan las cabeceras departamentales, se enlazan las cabeceras departamentales entre sí. Se unen las cabeceras municipales con rutas centroamericanas, con rutas nacionales o departamentales, en este caso el derecho de vía es de 20 metros, 10 metros de cada lado de la línea central (Rosales, 2005, p. 4).

La Unidad Ejecutora de Conservación Vial, -COVIAL-, brinda mantenimiento a las Rutas Centroamericanas, Nacionales y Departamentales, según Acuerdo Gubernativo 5-2010, mismas que se encuentran registradas en la Dirección General de Caminos.

### Caminos rurales (CR)

Son todas aquellas rutas de bajo volumen de tránsito, las cuales enlazan aldeas y localidades medianas y pequeñas. Son vías de acceso a bienes y servicios, como salud y educación para la población rural, y conectan a las explotaciones agrícolas, mineras y forestales con rutas y mercados locales o regionales. Estos se interconectan con las comunidades rurales de los municipios. Los caminos rurales se enlazan con las comunidades rurales de los diferentes municipios. (Rosales, 2005).

### Legislación guatemalteca de derecho de vía en caminos públicos

Según Ponce, 2009, el reglamento sobre el derecho de vía en los caminos públicos y predios que atraviesa, fue emitido por el presidente de la República de Guatemala, el General Jorge Ubico Castañeda en 1942, el cual se resume en los siguientes acápit:

En la actualidad, se considera como una ley ordinaria específica de dicha materia; considerando que el actual ordenamiento jurídico define que para que exista un reglamento debe de existir una ley que haya sido generada mediante los procedimientos ya establecidos, esto en función de que los reglamentos desarrollan la competencia de una ley y definen los procedimientos que se deben de aplicar en la norma ordinaria (Ponce, 2009).

Este fue desarrollado con la finalidad de regular todo lo relacionado con los caminos y las carreteras del país, indica las clases de caminos, especifica las dimensiones que deben de tener de acuerdo a su categoría, así como el estado físico que debe considerarse del área del terreno paralela a la carretera a favor del estado (Ponce, 2009, p. 14).

El reglamento posee 39 artículos. De los artículos del 1 al 7 se establece la clasificación de los caminos públicos, se consideran a las carreteras nacionales como de primer orden, a las carreteras departamentales de segundo orden, a las carreteras municipales de tercer orden, así como a los caminos vecinales. Se da la definición al derecho de vía, así como las dimensiones que debe de tener la carretera y se considera la categoría de estas (Ponce, 2009, p. 14).

En este reglamento se indica el ancho que deben tener las carreteras nacionales, el cual es de 25 metros, 12.5 metros a cada lado desde el eje central de la carretera. Las carreteras departamentales tendrán una anchura de 20 metros, 10 metros de cada lado desde el eje central de la carretera. Los caminos vecinales y de herradura tendrán una anchura de 6 metros, 3 metros de cada lado, desde el eje central del camino (Ponce, 2009, p. 14).

Lo relacionado con la siembra de árboles, se encuentra normalizado en el Artículo 8, indica que son las autoridades locales y camineras son las encargadas de autorizar la siembra a las orillas de las carreteras siempre con respeto a las condiciones de derecho de vía (Ponce, 2009, p. 15).

Otro tipo de clasificación de la infraestructura vial

Existe otro tipo de división o clasificación en función de la movilidad y acceso de la infraestructura de la red vial (red vial primaria, secundaria y terciaria), la cual se describe de manera breve en los siguientes apartados:

### Red vial primaria

De accesos controlados, destinadas a proveer alta movilidad a grandes volúmenes de tránsito de paso y poco o nulo acceso a la propiedad lateral (Cárdenas, 2022, p. 13).

La finalidad de esta es de fortalecer y de facilitar la comunicación directa a nivel regional, estas políticas continuas se establecieron en el decreto No. 70-86 Ley Preliminar de Regionalización e Internacionalidad. En la cual se comunican de los puertos de y hacia los puertos marítimos y puestos fronterizos de los países vecinos, esto da lugar a la formación de la red básica de carreteras colaterales. En la actualidad la red vial primaria está formada por las Rutas Centroamericanas (CA), Tramos específicos de Rutas Nacionales (RN) y Rutas Departamentales (RD), también se incluye la Franja Transversal del Norte (FTN) (Rosales, 2005, p. 4).

### Red vial secundaria

Son de acceso parcialmente controlados, que proveen una buena movilidad y cierta accesibilidad a volúmenes de tránsito mediano (Cárdenas, 2022).

Por medio de las vías secundarias se completa la red vial primaria, permite la comunicación regional, como lo es el brindar una comunicación directa entre las cabeceras de los departamentos contiguos, orientadas a comunicar hacia y desde los mayores centros de población y/o producción, permiten la formación de una red complementaria o alterna a la red vial primaria. Dentro de las cuales están la Ruta CA-9 Sur 2 “A” en los tramos de Palín-Escuintla y Escuintla-Puerto de San José, Rutas Nacionales y Rutas Departamentales (Rosales, 2005, p. 4).

### Red vial terciaria

Son de accesos no controlados destinadas a proveer fácil acceso a la propiedad colindante a volúmenes de tránsito menores, y raramente empleadas por el tránsito de paso (Cárdenas, 2022).

Según Rosales, 2005, una de las finalidades principales de la red terciaria, es servir de complemento a la red vial primaria y la red vial secundaria, brindar comunicación entre las cabeceras departamentales, municipios y aldeas. La misma está diseñada para permitir el ingreso y el egreso de todo tipo de insumos, servicios desde y hacia los centros de consumo y producción, la mayor parte son caminos de terracería y caminos rurales.

#### Evaluación de riesgo y vulnerabilidad de la red vial

Según Solminihaç, Echaveguren y Chamorro 2019, se persigue estudiar las condiciones de vulnerabilidad de la red vial, respecto de la base del clima actual y de los escenarios climatológicos, para proyectar su vulnerabilidad actual y futura, para lo cual se recomienda la identificación de zonas vulnerables a inundaciones por aumento del nivel del mar como por anegamiento en todo el territorio, identificar macrozonas con potenciales de deslizamientos de taludes y desarrollar un mapa nacional de vulnerabilidad de toda la red vial.

Guatemala es un país propenso a una serie de riesgos geográficos que pueden dañar la red vial existente, lo que compete al Ministerio de Comunicación, Infraestructura y Vivienda, es realizar los análisis respectivos de riesgo y vulnerabilidad de las diferentes carreteras del país.

La herramienta que permite integrar en un todo el diagnóstico, evaluación, planificación y ejecución son los denominados sistemas de gestión de infraestructura, los cuales son un conjunto coordinado de actividades relacionadas con la planificación, diseño, construcción, mantenimiento evaluación e investigación de los activos viales, que tiene como propósito principal emplear la información confiable y criterios de decisión creíbles dentro de una estructura organizada, para producir un programa de gestión de infraestructura social o privadamente rentable (Solminihaç, Echaveguren y Chamorro 2019).

### Pérdidas económicas

Según Galgano, 2003, las pérdidas económicas se deben a diversos factores que se deben tomar en cuenta para poder reducirlas o en el mejor de los casos eliminarlas y poder obtener los beneficios que se han dejado de percibir debido a las falencias encontradas por los factores a describir. Las pérdidas económicas traen consecuencias muy negativas a las empresas, las cuales pueden llevarlas incluso a la quiebra, por tal razón, deben reducirse o eliminarse.

Desde el punto de vista general, existen diferentes tipos de pérdidas económicas en las industrias de cualquier tipo, dentro de los cuales se pueden mencionar pérdidas ocasionadas por desastres naturales, por desperdicios de recursos, por mal servicio al cliente, por ineficiencia productiva, por tiempo muerto, por falta de capacidad almacenada, por falta de espacio, por falta de mantenimiento, por rutas en mal estado, entre otras (Galgano, 2003).

Según algunos estudiosos, existen ocho grandes grupos en que pueden clasificarse la mayoría de pérdidas económicas en las empresas, las cuales se describen en los siguientes párrafos:

Cuadro 2. Clasificación de pérdidas en las empresas

Pérdidas por sobreproducción.
Pérdidas por desperdicios de material en espera para proceso.
Pérdidas por desperdicio de transporte.
Pérdidas por desperdicios de proceso.
Pérdidas por desperdicio de movimientos durante la operación.
Pérdidas por producción de productos con defectos.
Pérdidas de Stock.
Pérdidas por desperdicio desconocimientos y habilidades de los trabajadores.

Fuente: elaborado por el autor, 2022.

Cada una de las pérdidas descritas en el cuadro anterior, causan un daño grande e irreversible a las organizaciones en la actualidad, siempre que no se haga ningún esfuerzo por mitigarlas, afortunadamente existen varias metodologías o herramientas que ayudan a reducirlas o a eliminarlas. En los siguientes apartados se describen las pérdidas más importantes que pueden existir dentro de una organización de cualquier tipo.

#### Pérdidas por sobreproducción

Galgano, 2003, hace hincapié en que la sobreproducción es uno de los motivos o factores que más generan pérdidas económicas dentro de las empresas, tener un stock muy alto de existencias genera no solo costos por concepto de almacenamiento, seguro, seguridad, mano de obra, sino posibles pérdidas de productos por alteraciones de calidad, cambios en su estado adecuado, es decir, vencimiento (esto suele pasar muy a menudo en la industria alimenticia).

Muchas industrias en la actualidad producen sus bienes o mercancías sin medida alguna, con la intención de tener suficiente inventario para las temporadas pico o altas, sin embargo, esto no es una garantía, ya que los mercados cambian constantemente y no se puede asegurar una venta futura con la sobreproducción y esta puede degradarse por el largo tiempo de fabricación y estancia dentro de los almacenes, lo que constituye un enorme riesgo (Galgano, 2003).

La sobreproducción se manifiesta cada vez que la producción no responde a la demanda del mercado, es decir, cuando se realizan piezas no demandadas por los clientes, en cantidades superiores, o en periodos en los cuales no hay demanda. Esta elección comporta un uso anticipado de los recursos que posee la empresa, como consecuencia, es necesario disponer de áreas grandes de almacenamiento o arrendamiento de estos, algunos a esta sobreproducción le denominan inventario o stock de seguridad (Galgano, 2003).

La sobreproducción puede causar descontroles internos dentro de los almacenes, ya que habrá un stock de producto bastante alto y posiblemente no se cuente con áreas para resguardarlo en las condiciones adecuadas, por tal razón se puede considerar como un riesgo a sustracciones o pérdidas de producto, en la siguiente imagen se muestra un almacén sobre con un índice muy alto de existencias.

Figura 3. Sobreproducción igual a sobre stock



Fuente: Socconini, 2019.

#### Pérdidas por desperdicios de material en espera para proceso

Los tiempos muertos generados dentro de un proceso productivo son la mayor causa de pérdidas económicas dentro de las organizaciones en la actualidad, estos se deben a varias situaciones específicas, dentro de las cuales se pueden mencionar las siguientes, falta de flujo, cuellos de botella, falta de balanceo de líneas, poca capacidad instalada y mal diseñada, es decir, si el flujo es intermitente o discontinuo se genera un largo tiempo muerto de espera mientras la materia prima es llevada para su respectivo proceso (Galgano, 2003).

Otro caso son los denominados cuellos de botella, los cuales se producen al tener dentro de la línea productiva máquinas de diferente capacidad, las cuales están mal secuenciadas.

#### Pérdidas por desperdicio de transporte

En una empresa productiva se desarrollan numerosas actividades de transporte con diversos tipos de maquinarias, es importante tener presente que estas actividades generan un valor agregado e incluso a veces, pueden causar defectos o daños (Galgano, 2003).

A veces esta pérdida de recurso consiste en todos aquellos traslados de materiales que no apoyan directamente al sistema de producción, mover los productos de un lado a otro lado de la planta no se traduce en un cambio significativo para el cliente, sin embargo, implica un costo y pone en riesgo la integridad del producto, en este caso se refiere al transporte dentro de las instalaciones de la empresa y no al traslado de productos hacia los clientes (Socconini, 2019).

Cuando los sistemas de transporte de materias primas no están bien diseñados, existe el riesgo de derrame de estas o acumulación dentro del sistema, lo que disminuye el rendimiento del producto terminado y aumenta la merma por desperdicio, por tal razón, es importante hacer un análisis profundo de los sistemas de transporte con los que se cuentan y hacer las modificaciones respectivas para reducir este tipo de pérdidas.

Cabe recalcar que este tipo de pérdida por transporte es el punto asumido dentro de la presente investigación, el cual es un riesgo enorme de pérdidas económicas por operación de transporte de maquinaria pesada y todo debido a que no existe un plan de mantenimiento. Para lo cual se debe tener una buena logística para la distribución de la maquinaria (Socconini, 2019).

### Pérdidas por desperdicios de proceso

El despilfarro es una de las razones por las cuales muchas empresas pierden importantes recursos, es importante producir exactamente lo que se tiene planificado, es decir, lo que se va a necesitar y no excederse, de la misma manera se deben tomar las medidas exactas para evitar pérdidas de producto por cualquier mal cálculo que generen desperdicios, que a la larga se transformen en cuantiosas e importantes pérdidas económicas (Socconini, 2019).

### Pérdidas por desperdicio de movimientos durante la operación

Muchas veces durante de las actividades a realizar dentro del área de producción de una empresa, existen fases o etapas innecesarias que no generan ningún valor agregado, por contrario, restan recursos ya que se consume valioso tiempo durante estas actividades. Es necesario realizar reingenierías de proceso para verificar que actividades o etapas eliminar de un proceso y que los movimientos de cada etapa sean un poco más fluidos, de esta manera se reduce esta clase de desperdicio y se vuelve más eficiente la operación. Estos movimientos también aplican a los que realizan los trabajadores para realizar sus actividades (Socconini, 2019).

### Pérdida por procesos innecesarios

Dentro de toda organización se poseen muchos procesos bien estructurados y, por ende, estandarizados, pero eso no significa que agreguen un valor para el cliente, muchos trabajos son consecuencia de las necesidades de la empresa, de la calidad de la industria, o de una mala planeación en las entregas. (Socconini, 2019).

Dentro de las características que presentan los procesos innecesarios se encuentran; presencia de cuellos de botella en el proceso, falta de especificaciones claras por parte de los clientes, falta de equipo con dispositivos a prueba de errores, exceso de inspecciones, estaciones paradas por trabajo administrativo, información documental excesiva (Socconini, 2019).

### Pérdida de stock

Como se mencionó anteriormente en la pérdida por sobreproducción, las existencias son parte vital de las empresas, mucho recurso económico está dentro de este, la pérdida de stock es factor determinante dentro de las finanzas de la empresa, por tal razón, es importante tener un buen análisis del stock, verificar sus condiciones superficiales e intrínsecas, hacer análisis de calidad para monitorear sus características esenciales, llevar registros claves para supervisar cada transacción realizada dentro de los almacenes o bodegas (Socconini, 2019).

Se deben implementar las normativas de las Buenas Prácticas de Almacenamiento BPA en los almacenes para resguardar el buen estado del producto y llevar un estricto registro de las existencias y fechas de caducidad del producto, es importante determinar qué tipo de rotación es el adecuado, ejemplo: PEPS, UEPS, especialmente si es un producto perecedero, es vital tener un mapa de ubicaciones para garantizar la localización rápida y el control (Socconini, 2019).

### Pérdidas por desperdicio desconocimientos y habilidades de los trabajadores

Dentro de las organizaciones el elemento humano es clave para desempeñar todas las actividades, es importante que cada trabajador esté en su área ideal, es decir, se deben hacer análisis vocacionales y verificar si se tienen las aptitudes suficientes para los cargos dentro de la organización (Galvano, 2003).

No siempre se aprovecha adecuadamente los conocimientos de las personas, las valiosas experiencias que han ido acumulando a lo largo de su vida profesional, su creatividad, ni sus ideas innovadoras (Socconini, 2019, p. 44).

El capital humano representa uno de los recursos más importantes de las empresas, se deben tener claras las aptitudes, conocimientos y habilidades del personal, para encontrar los puestos adecuados a cada uno.

### Riesgo de pérdidas económicas

Según Morales, 2022, el riesgo de pérdidas económicas es una posibilidad que mide las probables alteraciones, así como la incertidumbre que genera, que pueden tener un impacto negativo en los resultados finales de una organización o el rendimiento de una inversión específica. Debido a estos riesgos, el resultado puede ser variable a lo largo de un determinado tiempo.

La mejor opción para reducir o eliminar el riesgo de pérdida económica, es revisar los procesos o procedimientos actuales y buscar mejoras en cada uno de ellos, encontrar alternativas más baratas para hacer más rentable la empresa, es decir, utilizar reingeniería en las actividades diarias, implementar controles efectivos de eficiencia e implementar todo tipo de KPI's operativos. Es importante que la directiva y todo el personal en general, estén involucrados directamente en buscar la mejora continua, para obtener los beneficios y alcanzar los objetivos trazados a corto, mediano y largo plazo (García y Salazar, 2005).

Para reducir el riesgo de pérdidas económicas, es necesario tomar en cuenta todos los factores que inciden en tales pérdidas, tal y como los que fueron descritos en el tema anterior, por lo que es necesario verificar cada uno de ellos y corregirlos en tiempo para garantizar la reducción de esa problemática y ser más eficiente en todos los procesos.

Existe una gran variedad de riesgos que generan cuantiosas pérdidas económicas que puede tener la empresa, dentro de los cuales se pueden mencionar los siguientes:

### Riesgos operacionales

Comprende la problemática a la que están sujetas o sometidas las instituciones como consecuencia de fallos inesperados de infraestructura operativa y tecnológica, tanto interna como externa (Gómez y López, 2002).

### Riesgos legales

Son riesgos económicos que se refieren a la pérdida que se sufre en caso que existan incumplimientos de una contraparte y no se pueda exigir, por la vía jurídica, cumplir con los compromisos de pago. Se refiere a operaciones que tengan algún error de interpretación jurídica o alguna omisión en la documentación (De Lara, 2005, p. 17).

### Riesgos financieros

García y Salazar 2005, definen que el riesgo financiero abarca consecuencias adversas que pueden producirse por una alteración cualitativa o cuantitativa en los ingresos presupuestarios, donde se recogen disminuciones de recursos económicos mantenidos durante un ejercicio.

Los directivos de las empresas son los responsables inmediatos de que la empresa vaya directo al alcance de los objetivos trazados, cada desvío debe ser corregido en la búsqueda de las metas institucionales, por tal razón, es indispensable contar con planes de contingencia para cualquier situación que se presente, de esta manera se tiene un plan B para resolver una carencia o problemática futura.

Existen herramientas o metodologías que ayudan a reducir el riesgo de pérdidas económicas, es importante hacer un análisis profundo de cuál es el sistema que más se adapta a las necesidades de la empresa para posteriormente implementarlo y de esta manera poder eliminar esa problemática que afecta directamente el alcance de los objetivos organizacionales, a mediano o largo plazo (Gómez y López, 2002).

### Proceso de administración del riesgo

El objetivo principal de la administración de riesgos se puede expresar en dos sentidos: asegurar que una institución o inversionista no sufra pérdidas económicas inaceptables y mejorar el desempeño financiero de dicho agente económico, al tomar en cuenta el rendimiento ajustado por riesgo (De Lara, 2005).

La evaluación de riesgo constituye una continua y repetitiva interacción de acciones que tienen lugar a través de la entidad y permite a la entidad entender el grado en cual pueden afectar los eventos de riesgo a los objetivos. La empresa evalúa los riesgos esperados e inesperados, estos últimos se refiere a aquellos que no son rutinarios y no recurrentes y por lo tanto se encuentran fuera de programas como gestión y presupuesto (García y Salazar, 2005).

El tema de estudio en el presente trabajo de graduación, se centra específicamente en el alto riesgo de pérdidas económicas que tiene la Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos ubicada en Retalhuleu, debido a que se cuenta con inadecuados procesos de mantenimiento de maquinaria pesada de operación, lo que ha generado esa problemática en los últimos cinco años.

Cada vez que la maquinaria pesada no se encuentre en óptimas condiciones para seguir en operación, existe un riesgo latente de que se presente un fallo o avería y, por ende, esto podría repercutir en gran manera en pérdidas de tiempo, necesidad de alquilar otra máquina, pagos de horas extras, obras inconclusas, entre otras circunstancias.

Al final cada una de esas situaciones imprevistas que tanto daño hacen a las empresas, se convertirán en cuantiosas pérdidas económicas, acá es donde toma mayor importancia la implementación de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad de la maquinaria, ya que de esta forma se garantiza una operación constante y fluida.

Es prioridad para toda organización reducir el riesgo de pérdidas de cualquier índole, ya que una mala gestión puede llevarlos inclusive a la quiebra. Por ende, el monitoreo y la supervisión constante son claves para lograr una buena funcionalidad y ser más eficiente.

## Maquinaria pesada de operación

### Características básicas

Las máquinas pesadas que se emplean para el movimiento de tierras se pueden dividir en varias categorías básicas como lo son: el tractor de cadena (oruga), motoniveladora, cargador frontal y vibrocompactadora (Hernández, 2010, p. 11).

Figura 4. Maquinaria pesada para el movimiento de tierras



Fuente: El Oficial, 2018.

Uno de los usos más comunes de los cargadores frontales es la de cargar el material en los camiones. Los tractores de oruga se emplean en tareas como lo es la restauración de terrenos, elaboración de caminos, nivelación de escombros, empuje de materiales, labores agrícolas, operaciones de desgarramiento y la habilitación de terrenos (Hernández, 2010, p. 11).

Dentro de los accesorios que deben de poseer los tractores se encuentra la hoja topadora, desgarradores, entre otros. Las motoniveladoras son empleadas en la construcción y en la elaboración de carreteras, aeropuertos, en la nivelación de terrenos para desarrollar edificaciones (Hernández, 2010).

Estas máquinas emplean combustible tipo diésel y poseen tres conjuntos que son básicos, dentro de los cuales están: 1. El motor, que proporciona la potencia. 2. Por medio del tren de potencia, de donde se traslada la potencia hacia las ruedas o hacia los carriles. 3. Los implementos que posee la máquina, los cuales son empleados en el desarrollo de sus labores (Hernández, 2010).

Se efectúa una descripción de cada uno de los componentes, para dar a conocer su funcionamiento, y de esta forma planificar el mantenimiento adecuado de la maquinaria (Hernández, 2010, p. 12).

#### Motor

El motor es la unidad que provee de potencia necesaria para el funcionamiento de la máquina y esta pueda ejercer el funcionamiento para el cual fue fabricada. El motor es de combustión interna. El aire entra al cilindro por medio de la presión atmosférica o en ocasiones puede ser forzado por medio de un turboalimentador o un supercargador, cuando el pistón se desplaza hacia abajo en la carrera de la admisión (Hernández, 2010, p. 12).

El pistón sube, comprime y tiende a calentar el aire, el combustible que ha sido inyectado se quema dentro del cilindro y cuando se expande el gas que se genera por medio de la combustión, hace que el pistón se desplace hacia abajo. El pistón se encuentra unido hacia la biela y esta a su vez se encuentra unida a un eje cigüeñal, el movimiento vertical que se genera se convierte en un movimiento giratorio por medio del cual se genera trabajo (Hernández, 2010, p. 12).

El motor tiene internamente muchos segmentos que se encuentran en un movimiento constante, a estas piezas se le debe tener un plan de lubricación a manera de disminuir el desgaste, si estas piezas no están bien lubricadas, aumenta el riesgo de una falla inmediata. Los motores contienen de cuatro a más cilindros que se encuentran conectados, cada uno de estos brinda una carrera de fuerza durante su movimiento en el motor por medio del cual forman un ciclo (Hernández, 2010).

Los cilindros son componentes del bloque del motor el cual es un bastidor elaborado a partir de metal fundido, el cual está integrado de dos segmentos que se encuentran atornillados entre sí. En la parte superior contiene las válvulas, a esta se le denomina culata, a la parte inferior se le designa como bloque (Hernández, 2010).

Al eje que se encuentra en el motor se le denomina como eje de levas, cuya función principal es la de abrir y cerrar las válvulas durante el proceso de admisión del aire y durante el escape de los gases. El eje está conformado por una leva para cada una de las válvulas, la leva promueve un empuje hacia una pieza que es movable hacia el vástago de la válvula, por medio de un componente que se le conoce también como seguidor (Hernández, 2010, p. 13).

Por medio del cigüeñal se convierte el movimiento vertical de los pistones en un movimiento circular. El cigüeñal se apoya en el bloque del motor, este es un eje que promueve un movimiento giratorio sobre los cojinetes, los cuales se encuentran sobre los muñones, los cuales ostentan un perno que va sujeto a una correa que a su vez va sujeta al volante por medio del cual se uniformiza la fuerza (Hernández, 2010).

Por medio de la biela se enlaza el pistón con el cigüeñal, por ende, la biela debe de ser de un material fuerte y resistente, debido a la fuerza que recibe en el movimiento del pistón, esta no debe de ser muy pesada a manera de que permita que el mecanismo se desarrolle de manera uniforme. (Hernández, 2010).

Los pistones comprimen el aire que se encuentra en el interior del cilindro, estos deben de ser resistentes al proceso de combustión que es una combinación de altas presiones y de altas temperaturas, no deben de ser de un material muy pesados para que no se pierda la inercia. Para poder generar un sello entre el pistón y el cilindro, se emplean unos anillos que se encuentran en las ranuras que son elaboradas en el pistón. Estos anillos ayudan a la compresión del aire (Hernández, 2010, p. 15).

Los anillos juegan un segundo papel al limpiar las paredes del cilindro cuando bajan en las carreras de admisión y de fuerza. A su vez, es por medio de los anillos que se enfría el pistón ya que trasladan el calor desde el pistón a las paredes del cilindro. En los motores se emplean dos tipos de anillos: en relación a su desempeño, los cuales son los anillos de compresión y los anillos que controlan los niveles de aceite (Hernández, 2010).

Se debe destacar que, en la mayoría de los motores comunes, los cilindros presentan en su interior una pieza cilíndrica y hueca, la cual sirve como recubrimiento del cilindro, a esta pieza se le conoce como camisa, esta es la que se encuentra directamente enlazada con los anillos del pistón. Los cojinetes principales son los que se encuentran posicionados en la bancada del cigüeñal, los cojinetes de empuje del cigüeñal, la bomba de aceite, los bujes de la pasadora de la biela, los bujes de los balancines, los bujes del gobernador son piezas que se tienden a desgastar (Hernández, 2010).

#### Tren de potencia

Este puede ser de transmisión mecánica o automática, también es conocida como servo transmisión. El tren de potencia puede ser mecánico o automático, también se le denomina servo transmisión. Dentro de los componentes de la transmisión mecánica se tiene el embrague principal, la transmisión, los mandos finales (Hernández, 2010).

### Transmisión mecánica

La transmisión es un tipo de mecanismo por medio del cual se ejerce un control en la fuerza del tren de potencia de un vehículo. En la transmisión mecánica, se puede observar una combinación por medio del embrague principal, por medio del cual se controla la potencia que se ejerce en el motor. Por medio de la transmisión se permite el avance y el retroceso del vehículo, por medio de esta se tiene un control en las velocidades, así como en las diversas fuerzas de empuje (Hernández, 2010).

En las transmisiones mecánicas se encuentra lo que es el avance y el retroceso, en el avance se encuentra los cambios de velocidad, así como los multiplicadores de las fuerzas de propulsión, estas se generan mediante la conexión mecánica en los diferentes conjuntos de engranajes que están posicionados en los ejes paralelos. La fuerza se proyecta a través de los engranajes (Hernández, 2010).

### Servotransmisión

Se les denomina así a las cajas automáticas. La servotransmisión está conformada por dos transmisiones, una es la transmisión planetaria de las velocidades y la otra es la transmisión hidráulica, la cual es como multiplicadora (convertidor de par). Por medio de la transmisión planetaria se genera el avance, así como el retroceso, a través de varias velocidades (Hernández, 2010).

### Convertidor de par

El convertidor par es un acoplamiento hidráulico por medio del cual se acciona la potencia del motor y de la transmisión, por medio de estas se multiplica el par, lo que le da la oportunidad al motor de que trabaje a altas revoluciones. La función de los convertidores es mantener la velocidad del motor, y evitar que este se detenga por algún exceso de carga. El convertidor de par transforma la energía de un fluido en movimiento por medio de lo cual transmite potencia, este posee una bomba de aceite, una turbina, así como un estator que se encuentra en la caja (Hernández, 2010).

Esta caja en uno de los extremos posee una corona por medio de la cual se acopla a los engranajes del volante del motor, en el otro extremo posee un engranaje de salida (Hernández, 2010).

La caja y la bomba poseen un giro con el motor, por medio de una turbina gira el eje de salida, el estator permanece fijo. El aceite se empuja hacia la parte de arriba mediante la acción de una bomba giratoria que se encuentra en el interior de la caja, desde una turbina, el aceite vuelve a ser empujado mediante la acción de un estator, por medio del cual el aceite se conduce a la bomba con lo cual se multiplica el par de entrada (Hernández, 2010).

#### Mandos finales

Estos son los que reciben la potencia de la transmisión, la cual se transfiere hacia una rueda dentada, por medio de la cual se acciona el carril a manera de que la maquina entre en movimiento (Hernández, 2010, p. 19).

En las máquinas de movimiento de tierras, el movimiento se da sobre carriles, el mando final está diseñado por varios engranajes de reducción. El mando final convierte la velocidad del motor, la cual se origina en el piñón de la transmisión en par, con lo cual la velocidad tiende a ser lenta y potente ayudando al movimiento de equipos que son demasiado pesados, siendo los mandos finales como entes multiplicadores (Hernández, 2010).

A través de los mandos finales se genera la mayor parte del aumento de par en lo que es el tren de potencia, por medio del cual los demás componentes del tren de potencia pueden soportar las cargas del par que tienden a ser livianas que como consecuencia se obtiene una transmisión prolongada, de la corona y del piñón, con lo cual abarca a los frenos. Como resultado, la transmisión tiende a ser prolongada mediante la corona y el piñón, dentro de estos componentes se encuentran los frenos (Hernández, 2010).

Los mandos finales poseen un sistema de lubricación, que casi siempre funciona a presión, este es lubricado por medio de la bomba de aceite de los engranajes. Las máquinas que emplean ruedas en vez de carriles, poseen ejes y sistemas que son los diferenciales, los cuales ejercen una función sobre el mando final, lo cual se debe a las condiciones de diseño de los mandos que se encuentran posicionados en las ruedas (Hernández, 2010, p. 21).

La reducción se realiza en un espacio limitado. Para esto se emplean engranajes planetarios. Estos mandos tienden a ser lubricados por medio de un salpique de aceite que se encuentra almacenado en el conjunto de la rueda (Hernández, 2010).

#### Diferenciales

Las máquinas de ruedas emplean diferenciales y estos se basan en un juego de engranajes, los cuales ayudan a evitar el desgaste de los neumáticos en los giros, por medio de estos se mantiene la tracción. Por medio de este sistema de engranajes se permite que la rueda pueda girar con más facilidad que la otra que se encuentra en el mismo eje, esto es a pesar de que ambas ruedas reciben una fuerza (Hernández, 2010).

El diferencial común se aplicará sobre el mismo par de ruedas, lo cual no es suficiente para poder desplazar la máquina. En situaciones en las cuales una maquina presenta tracción en las cuatro ruedas, por lo general, lo que necesita es un diferencial común. Dentro de los componentes del sistema diferencial se tiene a los cojinetes de empuje, los engranajes, ejes y estrías (Hernández, 2010).

#### Sistema hidráulico

El rendimiento va muy acorde con el sistema hidráulico, debido a que la potencia se relaciona con el sistema hidráulico, el cual está conformado por: un tanque de fluido, bomba, mangueras de alta presión, tubos, filtros, válvulas, cilindros con émbolos (Hernández, 2010, p. 22).

El aceite ingresa por medio de los cilindros los cuales enlazan el movimiento hacia los accesorios, que poseen las máquinas que desarrollan el trabajo como lo es el caso de la hoja empujadora, el cucharón, y el desgarrador. Para el desempeño de movimiento de tierras las bombas hidráulicas tienden a ser de engranajes, de paletas o de pistones auxiliares, estas poseen secciones múltiples por medio de las cuales se puede atender a más de un circuito (Hernández, 2010, p. 22).

En la maquinaria que trabaja para el movimiento de tierras las bombas hidráulicas pueden ser de engranajes, de paletas o de pistones. Las bombas de engranajes tienden a impulsar el aceite a uno o más juegos de engranajes. Estas bombas tienen la característica de que son simples, se pueden reparar con facilidad (Hernández, 2010).

Una de las ventajas es de que no son susceptibles a la suciedad o a los vacíos de aire que se pueden generar por lo cual tienden a ser más duraderas, una de las desventajas es de que tienden a ser menos eficientes y estas no se desempeñan bien cuando son sometidas a altas presiones (Hernández, 2010).

Las bombas de paletas tienden a ser más complejas en comparación con las bombas de engranajes, una de las ventajas es que estas tienden a ser más eficientes y se desempeñan mejor a altas presiones. Las paletas tienden a compensar el desgaste a manera de que la bomba presenta un rendimiento más prolongado en comparación con la de engranajes (Hernández, 2010).

Por su parte, las bombas axiales tienden a ser sumamente adaptables, estas se pueden emplear en caudales fijos o variables. El caudal variable se emplea en las transmisiones hidrostáticas. Cada bomba de pistones tiende a presentar un bloque de cilindros giratorios, cada pistón tiende a realizar una carrera por la revolución que se da en el bloque (Hernández, 2010, p. 23).

La bomba de caudal variable, varía su caudal con la finalidad de que sea constante la potencia en relación a la variación del trabajo, esto se obtiene por medio de la placa de reacción, la cual coordina el movimiento de los pistones, razón por la cual los caudales variables son empleados en las transmisiones hidrostáticas. (Hernández, 2010)

Dentro de las fallas que se pueden dar en las bombas de sistema hidráulico es por la presencia de agua en el lubricante. El agua tiende a evaporarse cuando el aceite se calienta, desgastándose las planchas de extremo que se encuentran en las bombas de paleta. En la bomba de engranajes se tienden a desgastar los engranajes destruyendo sus componentes. En el caso de la bomba de pistones, se presentan erosiones que deterioran las placas de lumbreras (Hernández, 2010)

Maquinaria empleada en obras de carretera

Camión de volteo

Estos camiones son recomendados para acarrear diversos materiales, los ángulos agudos, la carrocería, las esquinas y el contorno de la parte trasera determinan la facilidad o dificultad de la tarea. Las palanganas de los camiones permiten acarrear arcilla mojada o materiales similares que deben estar libres de ángulos y esquinas. La arena seca y la grava saldrá fácilmente de cualquier forma de la palangana del camión y si existiera la necesidad de transportar roca del banco de materiales, la palangana debe ser poco profunda y con sus lados inclinados (Del Valle, 2006, p. 4).

Estas unidades son usadas para acarrear material tal como: arena, grava, tierra relativamente seca, carbón, entre otros; las puertas de estas deben botar la carga según el límite de abertura, puede notarse la dificultad de transporte cuando los materiales que se descargan son húmedos o son pegajosos, con mayor relevancia en los terrenos grandes. La velocidad de estas máquinas se limita a 50 km/h con una capacidad de acarreo de 6 metros cúbicos o más (Del Valle, 2006, p. 4).

Los camiones de volteo pueden ser articulados, tal y como se muestra en la siguiente figura:

Figura 5. Camión de volteo articulado



Fuente: Cat, 2022.

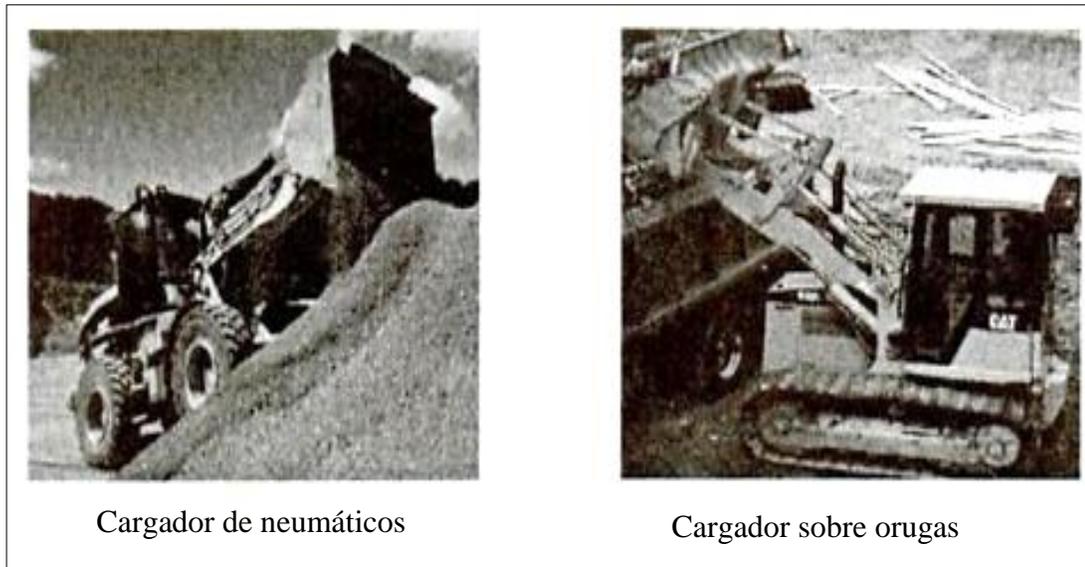
### Cargador frontal

Son máquinas utilizadas para cargar materiales en los camiones de volteo; los cargadores pueden tener ruedas o tren de rodaje, pero los de la zona vial solo poseen ruedas; esta maquinaria cumple la función de acarreo de materiales a cortas distancias, si poseen ruedas; su bastidor es articulado y si son accionados por cadena, su tren de rodaje es fijo, están equipados con un cucharón, brazos de levante, torre y un contrapeso que permite soportar de mejor forma la carga (Hernández, 2010, p. 33).

Los cargadores frontales son muy útiles en la industria de la construcción, cuya finalidad es remover tierra de un lugar generalmente llamado bancos a otros que pueden ser cama de un camión, tolva, entre otros. Consisten en tractores montados sobre un tren motriz que en su parte delantera lleva un cucharón accionado por mandos hidráulicos (Alonzo y Rodríguez, 2005).

Los cargadores frontales pueden ser de orugas o de neumáticos, tal y como se muestra en la siguiente figura:

Figura 6. Cargadores frontales



Cargador de neumáticos

Cargador sobre orugas

Fuente: Alonzo y Rodríguez, 2005.

### Tractor topador

Son diseñados para trabajos exigentes que se realicen en infraestructuras, generalmente usan una cadena, pasadores, bujes, zapatas y un bastidor de rodillo; la rueda motriz es la que brinda fuerza al tren de rodaje. Los tractores empleados en la construcción poseen una cuchilla y un desgarrador, según las condiciones en las que está el terreno y la función que se desea realizar se harán uso de dichas herramientas (Hernández, 2010, p. 25).

Los tractores que poseen una topadora pueden realizar varias funciones o actividades, pero en realidad se utiliza cuando se requiere una gran cantidad de potencia y las distancias de acarreo son cortas, en pendientes donde no pueden trabajar otras maquinarias. Este tipo de tractor es la primera máquina que suele entrar en acción en alguna obra (Hernández, 2010).

Figura 7. Tractor topador



Fuente: Cat, 2022.

### Motoniveladora

Comúnmente se le conoce como patrol, es la maquina básica para la conservación de acarreo y operaciones de nivelación final. Los factores que influyen en ella son la habilidad del operador, material con el que se trata y el peso que posee. No se recomienda usar en donde existan materiales duros porque la hoja que posee no está diseñada para realizar trabajo pesado; además que puede ser dañado su mecanismo de control (Hernández, 2010, p. 30).

Las motoniveladoras poseen una cuchilla montada sobre una tornamesa, un ripper y un escarificador; utilizan neumáticos y en varios casos poseen un bastidor articulado. Esta maquinaria tiene la función de la nivelación de acabado, ya que requiere de un mayor grado de precisión (Hernández, 2010, p. 31).

En la siguiente figura, se muestra un modelo muy utilizado en la construcción de carreteras:

Figura 8. Motoniveladora



Fuente: Cat, 2022.

Las motoniveladoras preparan la superficie de una carretera o de algún sitio de trabajo que se va a pavimentar. Generalmente, el material que se usa es de un componente duro o resistente y se trabaja en un suelo sólido que posea buenas condiciones. El objetivo de esta maquinaria es obtener una superficie lisa y con un buen acabado (Hernández, 2010).

#### Vibrocompactadora

Este equipo se usa para realizar la compactación del material del relleno. Es el medio mecánico que le imprime energía al suelo para compactarlo. La compactación depende de la energía que se aplique, de la densidad seca, de su humedad y del tipo de suelo. (Hernández, 2010, p. 35)

La compactación de los materiales es una de las operaciones más delicadas e importantes en la construcción de una carretera, por lo que es necesario contar con el equipo adecuado, según los materiales que se van a trabajar para obtener resultados satisfactorios que no repercutan en fallas en los trabajos, pérdidas de tiempo; lo cual genere que se eleve el costo de la obra. (Hernández, 2010, p. 36)

Pueden estar equipados con un rodillo y dos neumáticos o pueden tener dos neumáticos y un rodillo de pisones. Las compactadoras también pueden usarse para compactar asfalto, con compactadoras que utilizan varios neumáticos que son lisos. Las funciones de la compactadora son: compactar tierra, aplanar tierra y aplanar asfalto (Hernández, 2010, p. 36)

La compactadora es funcional para una variedad de trabajos. Se sabe que el compactador vibratorio fue desarrollado o inventado por el ingeniero mecánico Hilding Svenson. Existen varios tipos o modelos de compactadoras, entre las cuales se describen las siguientes: compactadoras de rellenos sanitarios, compactadoras de rodillos neumáticos, compactadoras de suelos, compactadoras vibratorias en tándem y compactadoras de suelos vibratorias.

En la siguiente imagen, se exhibe un modelo de vibrocompactadora de rodillos neumáticos de la marca Cat:

Figura 9. Vibrocompactadora de rodillo



Fuente: Cat, 2022.

### Retroexcavadora

Son la maquinaria indicada para trabajos de construcción de gran magnitud, se emplean esencialmente para abrir trincheras destinadas a tuberías, cables, drenajes, entre otras labores. Otro campo de aplicación es la excavación de cimientos para edificaciones, así como la excavación de rampas en solares cuando la excavación previa se ha realizado con pala cargadora (Espeso, Fernández, Paramio, Fernández y Expósito, 2010).

Existen dos tipos de retroexcavadoras; con chasis sobre ruedas o neumáticos de caucho y sobre cadenas, estas últimas se les denomina oruga. Durante la operación con las retroexcavadoras se asegura en gran manera la estabilidad, con estabilizadores independientes en cada neumático (Espeso, Fernández, Paramio, Fernández y Expósito, 2010).

Figura 10. Retroexcavadora



Fuente: Cat, 2022.

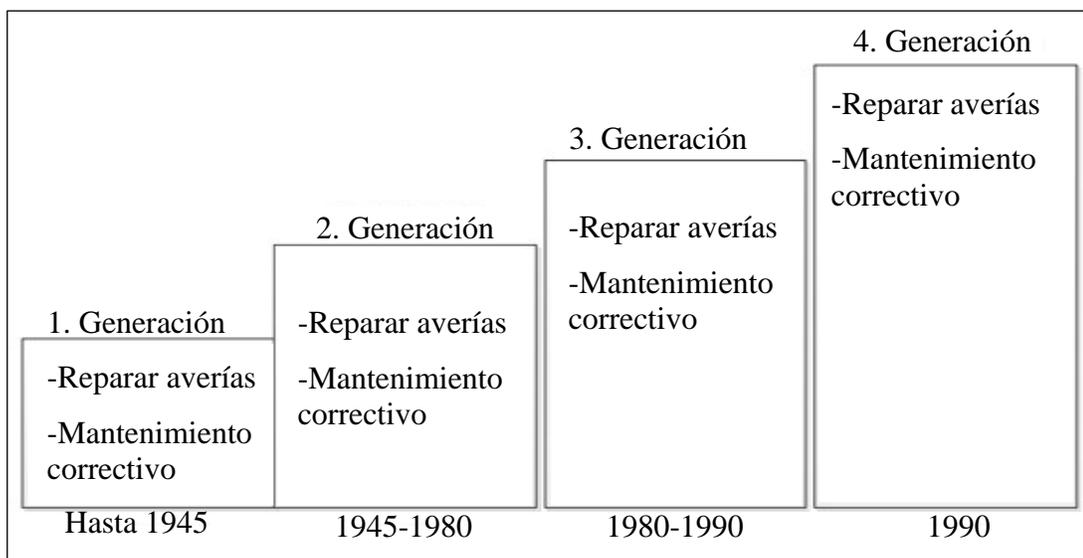
### Procesos de mantenimiento

El mantenimiento es un conjunto de actividades las cuales tienen como finalidad el mantener o el recuperar una máquina o las condiciones de esta para que pueda desempeñar un trabajo o actividad específica. Estas actividades comprenden una combinación de prácticas, técnicas administrativas, así como de gestión. Es por ello, que el mantenimiento es una acumulación de acciones mediante las cuales se puede prolongar el funcionamiento continuo de los equipos, se disminuyen los costos de producción, se alarga la vida útil de los equipos, se evitan fallas inesperadas y que las máquinas se detengan repentinamente (Maldonado y Sigüenza, 2012).

### Evolución del mantenimiento

El concepto de mantenimiento ha ido evolucionando a través del tiempo, desde la simple función de arreglar y reparar los equipos o maquinarias que te permitía asegurar la producción, hasta la concepción actual del mantenimiento con funciones de prevenir, corregir y revisar los equipos a fin de optimizar el coste global, así como mejorar la calidad de la producción o servicio final (Coronado, 2018).

Figura 11. Evolución del mantenimiento



Fuente: Coronado (2018).

Figura 12. Mantenimiento



Fuente: Obra Plaza, 2018.

Uno de los objetivos del mantenimiento es el de garantizar la producción sin que esta sea interrumpida, con lo cual se logra disminuir costos de producción por realizar reparaciones a la carrera. Se logra alcanzar una producción estable si se tiene la disponibilidad de los equipos para el cumplimiento de las metas. Se disminuyen las averías y los costos que se generan en las actividades de mantenimiento. Se logran alcanzar las producciones o los objetivos establecidos mediante la acción de las máquinas que están involucradas directamente en el proceso (Maldonado y Sigüenza, 2012, p. 2).

Se ayuda a preservar la energía mediante el correcto funcionamiento de las máquinas, sus diferentes sistemas internos y los implementos que participan durante todo el proceso. Se disminuyen las fallas, lo cual nos ayuda a disminuir costos en las funciones de mantenimiento, se logra cumplir los propósitos de la maquinaria que se encuentran activas en el proceso (Maldonado y Sigüenza, 2012).

Se realiza un aprovechamiento de la energía en el desempeño de las máquinas y de sus componentes. Se disminuye o se reduce el impacto negativo hacia el medio ambiente, se logra que los sistemas que componen a las maquinas se desarrollen de manera estable. Se debe de verificar por el buen funcionamiento de los equipos y también para que el personal operativo trabaje con las medidas de seguridad ocupacional establecidas (Maldonado y Sigüenza, 2012, p. 2).

#### Modelo de gestión de mantenimiento

Para gestionar un modelo de gestión de mantenimiento para una organización, se debe establecer un marco conceptual de lo que debe ser el mantenimiento, para esto se puede generar un enunciado que englobe una visión teniendo en cuenta conceptos importantes como la confiabilidad, mantenibilidad, disponibilidad, CMD, entre otros (Cano, 2011, p. 29).

Figura 13. Niveles del mantenimiento



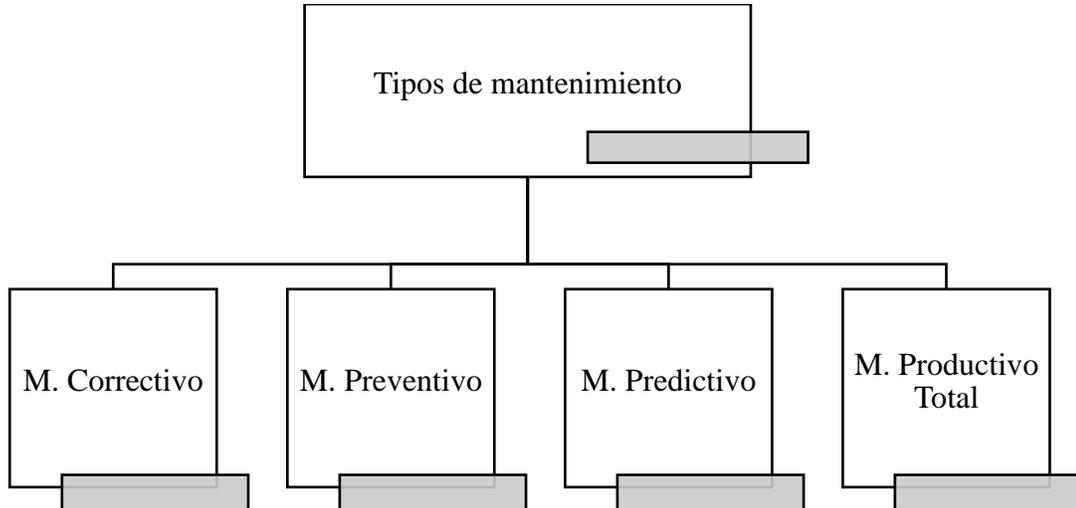
Fuente: Elaborado por el autor, 2022.

## Tipos de mantenimiento

A lo largo de los años se han ido implementado diferentes tipos de mantenimiento, a los cuales se les ha asignado un nombre específico, el enfoque puede variar dependiendo de la empresa, estrategias y los objetivos generales y específicos que estas persiguen.

El mantenimiento se puede dividir en tres grandes grupos: Correctivo, el cual se efectúa después de que se ha detectado el fallo, se realizan las reparaciones correspondientes. Modificativo, en este se realizan las modificaciones a manera de que la máquina se adapte a las exigencias de trabajo lo mejor posible. Preventivo, este se realiza con la finalidad de disminuir las probabilidades de que una máquina falle (Maldonado y Sigüenza, 2012)

Figura 14. Tipos de mantenimiento



Fuente: elaborado por el autor, 2022.

Aparte de los diferentes tipos de mantenimiento descritos en la figura anterior, existen una variedad de clases de mantenimiento, los cuales son descritos a detalle en los siguientes apartados.

### Mantenimiento correctivo

El mantenimiento correctivo es el que se realiza después de que la máquina ha fallado o que su desempeño se ha visto interrumpido, a través del mantenimiento correctivo se restablece el funcionamiento de la máquina ya sea de forma parcial o total. En el mantenimiento correctivo se tiende a reparar las averías conforme estas se presentan, como consecuencia este tipo de mantenimiento tiende a ser costoso, y requiere mayor tiempo para poderse reparar (Maldonado y Sigüenza, 2012).

Se realiza la corrección de una falla o de una avería cualquiera, en el cual se deben de reemplazar los componentes que se encuentren desgastados, debido a que las piezas se encuentran en la fase final de su vida útil. Las piezas a reemplazar deben de ser originales, de esta forma se prolonga el tiempo de vida de la máquina (All Machines SAS, 2018).

Este tipo de mantenimiento se puede efectuar como:

Mantenimiento paliativo, este también se conoce como un arreglo por medio del cual se realizan una serie de acciones, las cuales son provisionales a las acciones de orden definitivo, una de las características es de que no se interrumpe la producción o el trabajo en sí, el tiempo de reparación tiende a ser corto (Maldonado y Sigüenza, 2012).

Mantenimiento curativo, este se da por medio de varias acciones que ayudan a restablecer un bien a un estado determinado por medio del cual se puede obtener el máximo desempeño, en este tipo de mantenimiento se detiene la producción, el tiempo de reparación tiende a ser largo (Maldonado y Sigüenza, 2012, p. 4).

### Ventajas y desventajas del mantenimiento correctivo

Ventajas: No se requiere de mucha infraestructura técnica, ni tampoco se requiere de elevada capacidad de análisis. Se puede aprovechar al máximo cada una de las características del sistema (Maldonado y Sigüenza, 2012, p. 5).

Desventajas: Las averías tienden a ocurrir de forma imprevista y causan un efecto negativo en la eficiencia de producción. Se puede presentar la dificultad en los elementos de difícil adquisición. Se brinda una mala calidad en el mantenimiento como resultado de que el tiempo es muy limitado para realizar la reparación (Maldonado y Sigüenza, 2012).

#### Mantenimiento modificativo

Para efectuar el mantenimiento modificado se deben de seguir una serie de acciones dentro de las cuales cabe mencionar el modificar las características de los equipos, y lograr que los equipos que se emplean tengan una mayor fiabilidad. (Maldonado y Sigüenza, 2012).

En este tipo de mantenimiento pueden desarrollarse 3 formas para su realización:

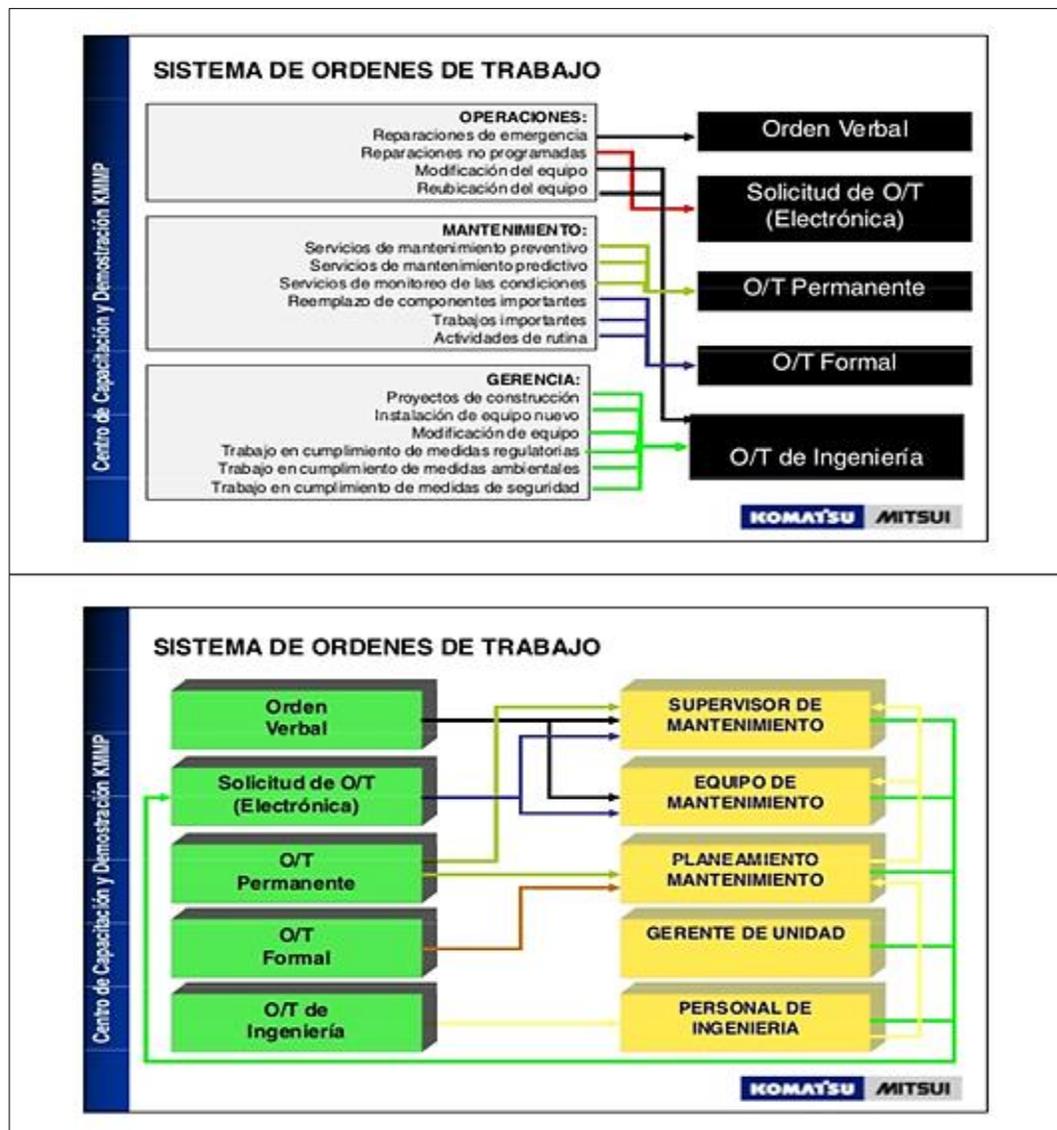
Mantenimiento del proyecto, para lo cual se debe de acondicionar una maquina estándar que se adapta a un trabajo específico. Mantenimiento de prevención, este tipo de mantenimiento consiste en modificar los sistemas y las partes de estos para eliminar posibles fallos, o fallas que tienden a ser más recurrentes. Mantenimiento de reacondicionamiento, este tipo de mantenimiento se basa en la reconstrucción de la maquina a fin de mejorar su productividad y facilitar su mantenimiento (Maldonado y Sigüenza, 2012, p. 9).

#### Mantenimiento preventivo

En el mantenimiento preventivo se realizan todas las acciones de revisión, modificación y mejoras necesarias, las cuales se enfocan en disminuir las averías y las causas que pueden llegar a provocarse en el sistema productivo. Esta es una actividad que se desarrolla por medio los recursos físicos de la empresa a manera de poder desarrollar una planificación de controles y monitoreos constantes en los diversos sistemas y máquinas, para lo cual se debe de tener un conocimiento previo del equipo (Maldonado y Sigüenza, 2012).

A través de las inspecciones visuales se puede detectar las anomalías superficiales, se puede desarrollar la medición de temperaturas, por medio de la cual se puede determinar el estado de los componentes que llegan a presentar un mayor desgaste, también se puede establecer un parámetro del tiempo máximo del funcionamiento de los componentes (Maldonado y Sigüenza, 2012, p. 6).

Figura 15. Mantenimiento preventivo



Fuente: Orozco, 2014.

El mantenimiento preventivo se realiza de forma periódica, con las revisiones frecuentes en los cambios de aceite, de filtros, engrase y algún otro componente de la maquinaria que haya cumplido su vida útil según las especificaciones técnicas del fabricante (All Machines SAS, 2018).

El mantenimiento preventivo es una forma ordenada de llevar a cabo el mantenimiento, por medio de registros diarios de la maquinaria en base a odómetros recorridos, para lo cual se debe de conocer el equipo, así como los rangos de temperatura que deben de tener sus componentes, se debe de verificar la lubricación, niveles de aceite, se debe de verificar la corrosión en los equipos. (Maldonado y Sigüenza, 2012).

Es por ello, que el mantenimiento preventivo fue creado con la finalidad de prever y anticiparse a las averías de la maquinaria mediante una serie de acciones que, en conjunto, permitan brindar un servicio óptimo al equipo (Coronado, 2018, p. 13).

#### Ventajas del mantenimiento preventivo

Se disminuyen las interrupciones en la producción al realizar varias reparaciones, la maquina se para una única vez. Se aprovecha el momento más oportuno a manera de no afectar el proceso productivo en el desarrollo del mantenimiento. Se reparan los implementos, así como los repuestos, disminuye el tiempo en que la maquina está detenida. Se evitan daños mayores que son provocados por fallas menores que repercuten con el paso del tiempo (Maldonado y Sigüenza, 2012).

#### Tipos de mantenimiento preventivo

Para poder lograr mantener la maquinaria y equipo en un estado óptimo de operación, lo que incluye servicio, pruebas, inspecciones, ajustes y reparación, el mantenimiento preventivo se puede dividir en sistemático, Hard time y mantenimiento predictivo, en los siguientes apartados se describen de manera breve cada uno:

Mantenimiento sistemático, se basa en inspeccionar y controlar periódicamente el equipo antes de que se presente la falla, lo cual lo realiza el operador del equipo (Maldonado y Sigüenza, 2012, p. 8).

Mantenimiento Hard Time, este se efectúa mediante una revisión del equipo a intervalos programados por medio de los cuales se puede sustituir o reparar piezas defectuosas, esta labor la realiza el personal de mantenimiento (Maldonado y Sigüenza, 2012, p. 8).

Mantenimiento predictivo, este se basa en conocer de forma permanente el estado del equipo en la operación mediante un monitoreo continuo de los parámetros que tienden a indicar su condición. Para lo cual se debe de detectar con exactitud la posible falla, lo cual permite alargar la vida útil de los componentes y los sistemas de las maquinas e instalaciones (Maldonado y Sigüenza, 2012, p. 8).

#### Mantenimiento predictivo

El mantenimiento predictivo, también conocido como mantenimiento según estado o según condición, surge como respuesta a la necesidad de reducir los costes de los métodos tradicionales de mantenimiento: correctivo y preventivo (Gómez, 1998).

La predicción puede realizarse midiendo algunos parámetros que varían antes de producirse el fallo. Por ejemplo, midiendo la calidad de aceite, el aumento de vibraciones de un elemento en movimiento y del aumento de temperatura (Nieto, 2013, p. 143).

Un mantenimiento de tipo predictivo se realiza a través de revisiones periódicas, por lo general antes de que ocurran los fallos, para lo cual se siguen las instrucciones de fábrica, este se trabaja en base al desempeño de la máquina y se toman en cuenta los controles diarios del operador y el registro de reparaciones (All Machines SAS, 2018).

Consiste en determinar la condición técnica de la maquinaria sin necesidad de parar la producción, ya que la mayoría de las fallas son lentas y progresivas. Se puede hacer uso de un programa sistemático de medición que monitorea la condición de algún parámetro, con base en comparaciones con algunos establecidos (Valle, 2012).

Cuadro 3. Ventajas del mantenimiento predictivo

1.	Reducción de fallos y averías
2.	Reducción del número de intervenciones
3.	Prolongación de la vida útil de los activos
4.	Aumento de la disponibilidad de los activos
5.	Reducción del tiempo de parada para reparación
6.	Reducción del tiempo de inactividad
7.	Optimización de la gestión del personal de mantenimiento
8.	Opción de seguir la evolución de un defecto en el tiempo
9.	Conocimiento preciso sobre el tiempo límite de actuación
10.	Reducción de accidentes y aumento de seguridad
11.	Verificación de las reparaciones y fiabilidad global

Fuente: elaborado por el autor, 2022.

La idea primordial de esta filosofía de mantenimiento parte del conocimiento del estado de los equipos, de esta forma es posible reemplazar los elementos cuando no estén en condiciones operativas al suprimir las paradas por inspecciones innecesarias y, evita las averías imprevistas, mediante la detección de cualquier anomalía funcional y el seguimiento de su evolución posible (Gómez, 1998).

Las dificultades para el desarrollo provienen de los mismos principios en que se fundamenta; en primer lugar, no existen parámetros funcionales capaces de reflejar el estado de las máquinas de manera exacta, ni indica de forma inmediata la aparición de signos de presencia de defectos (Gómez, 1998).

En segundo lugar, no es posible un monitoreo continuo de todos los parámetros para todos los equipos de una empresa. El número de parámetros analizados en un plan de mantenimiento deben limitarse, así como la proporción de máquinas implicadas, así el término vigilancia continua se flexibiliza hasta convertirlo en vigilancia periódica, reservando la monitorización sólo para aquellos equipos críticos en el proceso (Gómez, 1998).

Este tipo de mantenimiento se apoya en dos pilares fundamentales: la existencia de parámetros funcionales o indicadores del estado actual del equipo la vigilancia constante de los equipos (Gómez, 1998).

#### Mantenimiento productivo total (TPM)

El mantenimiento productivo total surge en Japón con un enfoque cercano al análisis de calidad de la producción y de estudios de rendimiento, aunque su difusión ha ido alterando su idea original hasta el punto que no existe definición universal precisa para este tipo de mantenimiento, tampoco existe demasiado acuerdo sobre la designación más adecuada que debe tener. Con el mantenimiento productivo total se intenta aplicar las tendencias más actuales en cuanto a la planificación integral de las tareas del mantenimiento (Gómez, 1998).

Este tipo de mantenimiento busca la participación de todo el personal en el mantenimiento, por ejemplo, cada operador de maquinaria puede realizar tareas preventivas, de limpieza y de reparaciones sencillas, mientras que el personal de mantenimiento ejecuta las tareas complejas que necesitan una mano de obra calificada (Nieto, 2013).

Las ventajas son muchas, empezando por una mayor satisfacción del personal en general, que ve cómo aporta valor sin condicionarse a ser una especie de androide que se limita a operar la máquina (Nieto, 2013, p. 144).

Gómez (1998), describe que esta filosofía de mantenimiento implica a todos los estamentos y niveles de la producción, con una estructura de planificación jerárquica que, partiendo de los objetivos últimos de la explotación, vaya desglosándose en tareas concretas hasta llegar al operador y a las actuaciones específicas sobre cada máquinas y componentes de las instalaciones (p. 30).

Los objetivos principales del mantenimiento productivo total son cinco, los cuales se describen en la siguiente tabla:

Cuadro 4. Objetivos del mantenimiento productivo total

1.	Cero averías en el equipo.
2.	Cero defectos de producción.
3.	Cero accidentes de trabajo.
4.	Mejorar la producción.
5.	Minimizar los costes.

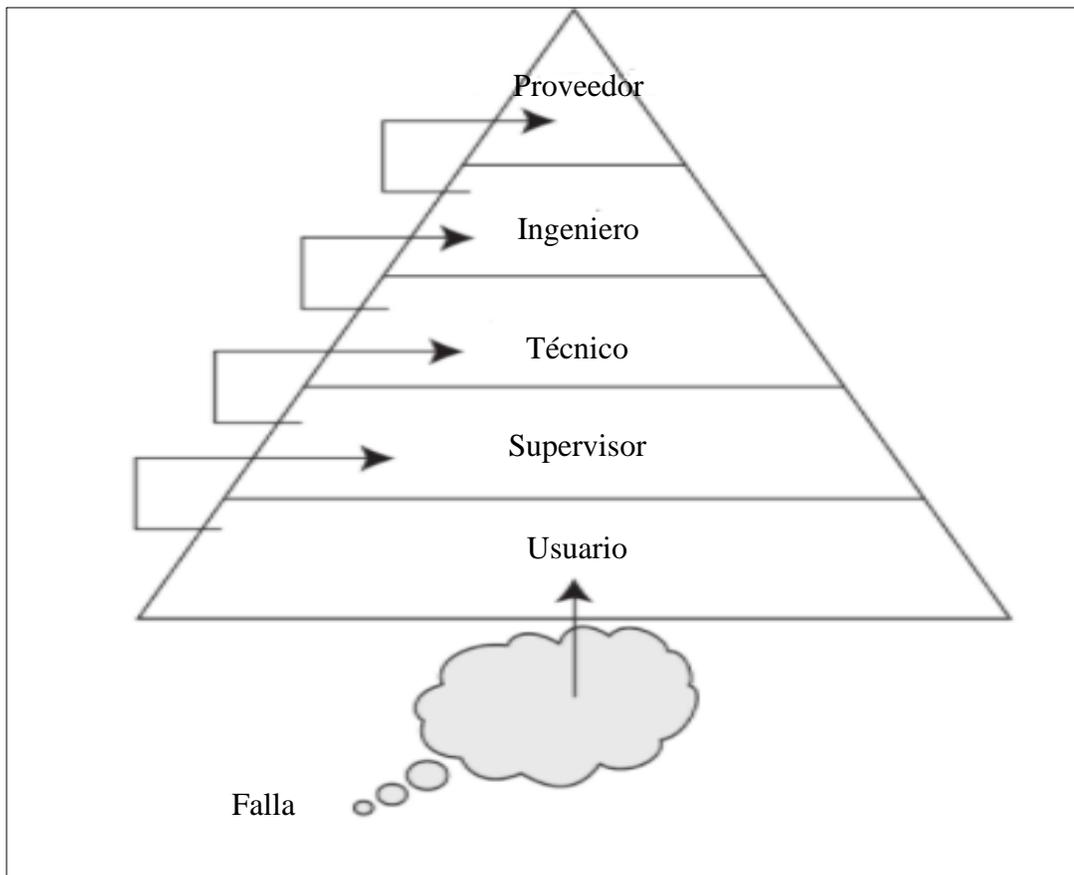
Fuente: elaborado por el autor, 2022.

En el mantenimiento productivo total (TPM), es especial cuando se refiera a máquinas o equipos en proceso, el rol principal es mejorar la operación (eliminar tiempos muertos, entre otros) y no solo permitir que el proceso siga su senda productiva (Acuña, 2003).

Con el Mantenimiento Productivo Total (TPM) se intenta recopilar e implantar las tendencias actuales en cuanto a planificación participativa integral de todas las tareas del mantenimiento, en las que se incluye las técnicas empleadas y la gestión, administración, el control de los diferentes índices asociados al funcionamiento correcto de los equipos y al conjunto de instalaciones (fiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad), la calidad de la producción y por último, la repercusión en la economía de la empresa (Gómez, 1998).

La siguiente figura triangular describe un esquema con los cinco niveles que van desde una simple falla que puede ser resuelta por el usuario, supervisor o técnico, hasta las averías más complejas que deben ser resueltas por personal altamente calificado como un ingeniero:

Figura 16. Pirámide de solución jerárquica de fallas



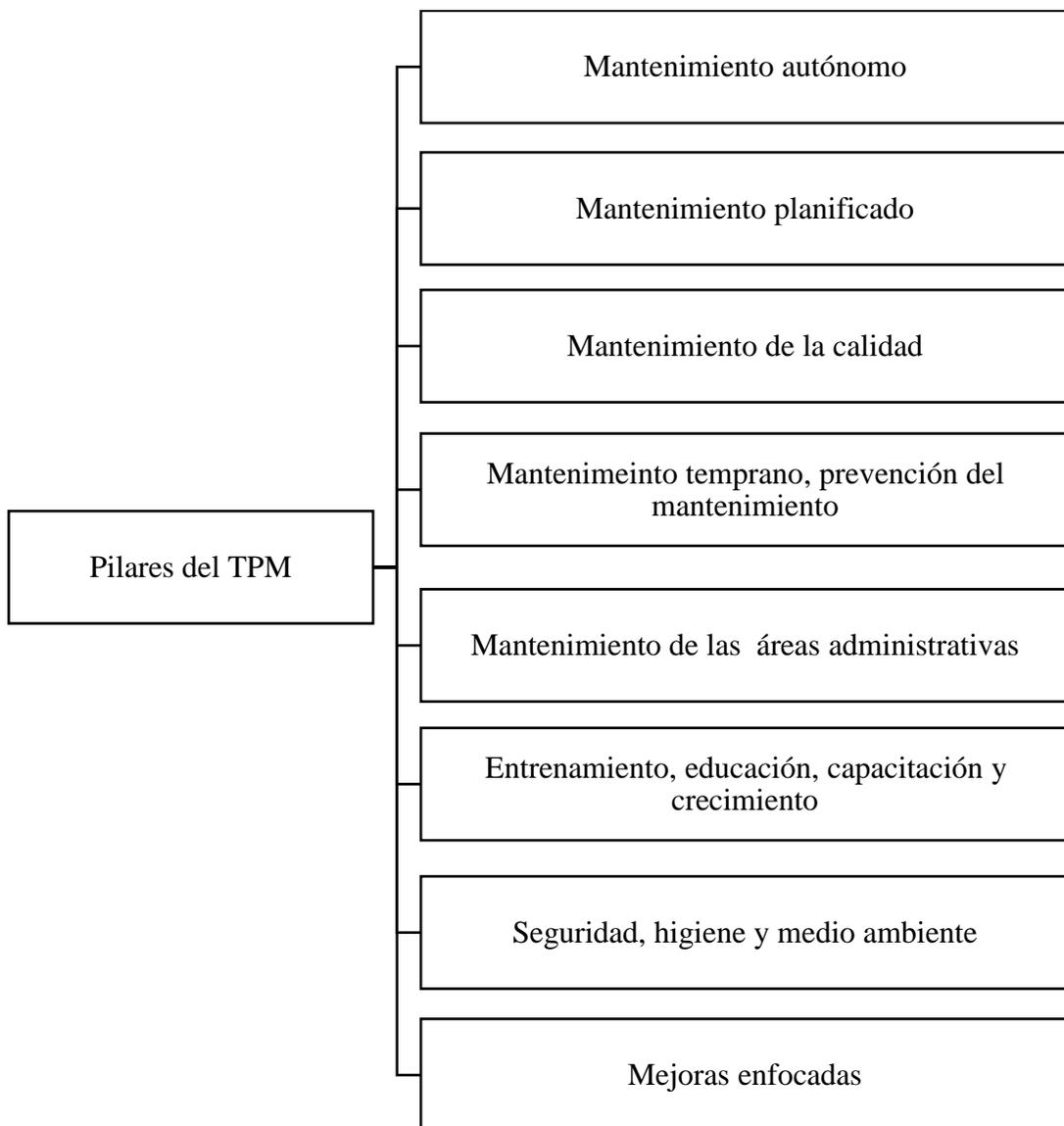
Fuente: Acuña, 2003.

El mantenimiento productivo total identificado por sus siglas TPM es una filosofía moderna, originaria de Japón, la cual se centra en la eliminación de las pérdidas asociadas al tiempo de inactividad, la calidad y los costes en los procesos de producción industrial, actualmente es una metodología o filosofía muy utilizada en toda clase de industria (Gómez, 1998).

## Pilares del mantenimiento productivo total

Estos pilares son los apoyos vitales del TPM para poder implementarlo, lo cual se alcanza con una metodología con orden y disciplina, dichos puntos o pilares se describen en la siguiente figura y son explicados a detalle posteriormente en los párrafos siguientes:

Figura 17. Pilares del TPM



Fuente: Mora, 2009.

### Mejoras enfocadas

Las mejoras orientadas son un tipo de actividad realizada por equipos de proyectos inter-funcionales compuestos por personas tales como ingenieros de producción, personal de mantenimiento, y operarios. Estas actividades están pensadas para minimizar las pérdidas que se busca erradicar, que se han medido y evaluado cuidadosamente (Suzuki, 1992).

Son el conjunto de diferentes tareas por realizar en grupo de personas, que permiten optimizar la efectividad de los equipos, plantas y procesos. Sus esfuerzos radican en evitar cualquiera de las 16 pérdidas existentes en las empresas (Mora, 2009).

### Mantenimiento autónomo

Es una de las actividades más características del TPM. Después de que se introdujo en Japón, procedente de Estados Unidos, el mantenimiento preventivo, se separaron formalmente las funciones de operación y las de mantenimiento. Como los operarios perdieron responsabilidades respecto al equipo, progresivamente perdieron sensibilidad respecto a su mantenimiento (Suzuki, 1992).

Basado en la participación activa de todo el personal de mantenimiento, y consiste en que estos esfuerzos realizan algunas actividades menores de mantenimiento, a la vez que conservan el sitio de trabajo en impecable estado (Mora, 2009).

Los operarios se involucran en el mantenimiento de rutina y en actividades de mejora continua que evitan el deterioro acelerado, controlan la contaminación, y ayudan a mejorar las condiciones del equipo. Como las plantas de proceso emplean un pequeño número de operarios en relación al número y tamaño de los equipos, las estrategias para lograr los objetivos del mantenimiento autónomo deben adaptarse de alguna forma respecto al procedimiento tradicional seguido en las industrias de manufactura y ensamble (Suzuki, 1992).

### Mantenimiento planificado

Abarca tres formas de mantenimiento: el de averías, el preventivo, y el predictivo. Como con otras actividades TPM, la creación de un sistema de mantenimiento planificado debe hacerse sistemáticamente, superando un paso cada vez (Suzuki, 1992).

El personal realiza las actividades predictivas, preventivas y de mejora continua de mantenimiento, que permiten evitar fallas en los equipos. maquinaria o sistemas de producción (Mora, 2009).

Un ejemplo clásico de mantenimiento planificado es el realizado con parada general de la instalación. Para hacerlo más eficaz, las empresas lo preparan cada vez con más anticipación. Su objetivo es perfilar planes fiables antes de que comience el trabajo, como las tareas realizadas durante el mantenimiento con la instalación parada siguen un patrón preestablecido, es útil basar el plan de trabajo en un diagrama de estructura descompuesta del trabajo (WBS) (Suzuki, 1992).

### Mantenimiento de calidad

El mantenimiento de calidad (QM) es un método para fabricar con calidad bien a la primera y evitar los defectos a través de los procesos y equipos. En el mantenimiento de calidad, la variabilidad de las características de calidad de un producto se inspecciona al controlar la condición de los componentes del equipo que les afectan, las características de calidad están influenciadas principalmente por los cuatro inputs de la producción: equipos, materiales, acciones de las personas (habilidad), y métodos (Suzuki, 1992).

Consiste en mantener las condiciones adecuadas de funcionalidad de los equipos, con el propósito de no desmejorar la calidad de los productos en esos momentos en que se inicia y se mantiene la funcionalidad de las máquinas (Mora, 2009).

### Mantenimiento temprano, prevención del mantenimiento

Son todas las tareas de la fase o etapa de construcción, montaje y operación de los equipos, que permiten garantizar la calidad de la operación y de los productos o bienes que generan las máquinas. Pretende elevar y mantener al máximo la confiabilidad y disponibilidad de la maquinaria (Mora, 2009).

La gestión temprana, que se trata en el capítulo 6, incluye la gestión temprana o anticipada del equipo y del producto. La finalidad de estas actividades es lograr rápida y económicamente productos que sean fáciles de fabricar y equipos de fácil utilización. Esta sección describe la gestión temprana del equipo. La gestión temprana del equipo concierne a los usuarios de los equipos, a las empresas de ingeniería, y a los fabricantes de equipos (Suzuki, 1992).

### Mantenimiento de las áreas administrativas

Trata de que las áreas de apoyo logístico a operación, producción y mantenimiento sean las adecuadas para evitar pérdidas. El fin primordial es mejorar los procesos administrativos y de operación indirecta (Mora, 2009).

Las actividades TPM realizadas por las áreas administrativas y de apoyo no deben solamente apoyar al TPM en la planta, deben reforzar sus propias funciones y mejorar su organización y cultura. Sin embargo, en comparación con producción, no es fácil para las áreas administrativas medir los efectos de sus actividades (Suzuki, 1992).

### Entrenamiento, educación, capacitación y crecimiento

La fuerza laboral de una empresa es un activo de gran valor, y todas las empresas deben formar sistemáticamente a sus empleados. Los trabajadores de las industrias de proceso son cada vez más escasos, forman parte de una élite, y cada vez tienen una formación más polivalente, de modo que su adiestramiento debe ser una parte vital del sistema de recursos humanos (Suzuki, 1992).

Trata de establecer normativas que permitan que todos los empleados de todas las áreas de la empresa, que influyan en la ingeniería de fábricas, se mantengan educados, entrenados, motivados con las mejoras y prácticas internacionales, y que permanentemente crezcan en lo personal e institucional (Mora, 2009).

De esta manera se puede evitar o solucionar problemas de una manera más eficaz, pues se busca que todos los empleados conozcan el funcionamiento de cada equipo, que detecten la incidencia de la funcionabilidad de las máquinas en la calidad de los productos y que tengan en todo momento las mejores habilidades y competencias para su trabajo (Mora, 2009).

#### Seguridad, higiene y medio ambiente

Por medio de la aplicación de instrumentos de mejora continua y con apoyo de las 5s, se garantiza la inexistencia o la minimización de los accidentes laborales o industriales, se procura que todo el personal de la empresa sea capaz de prevenir y evitar riesgos, de mantener unas condiciones adecuadas de higiene y seguridad en el puesto de trabajo y en las áreas productivas, y pretende proteger y conservar el medio ambiente (Mora, 2009).

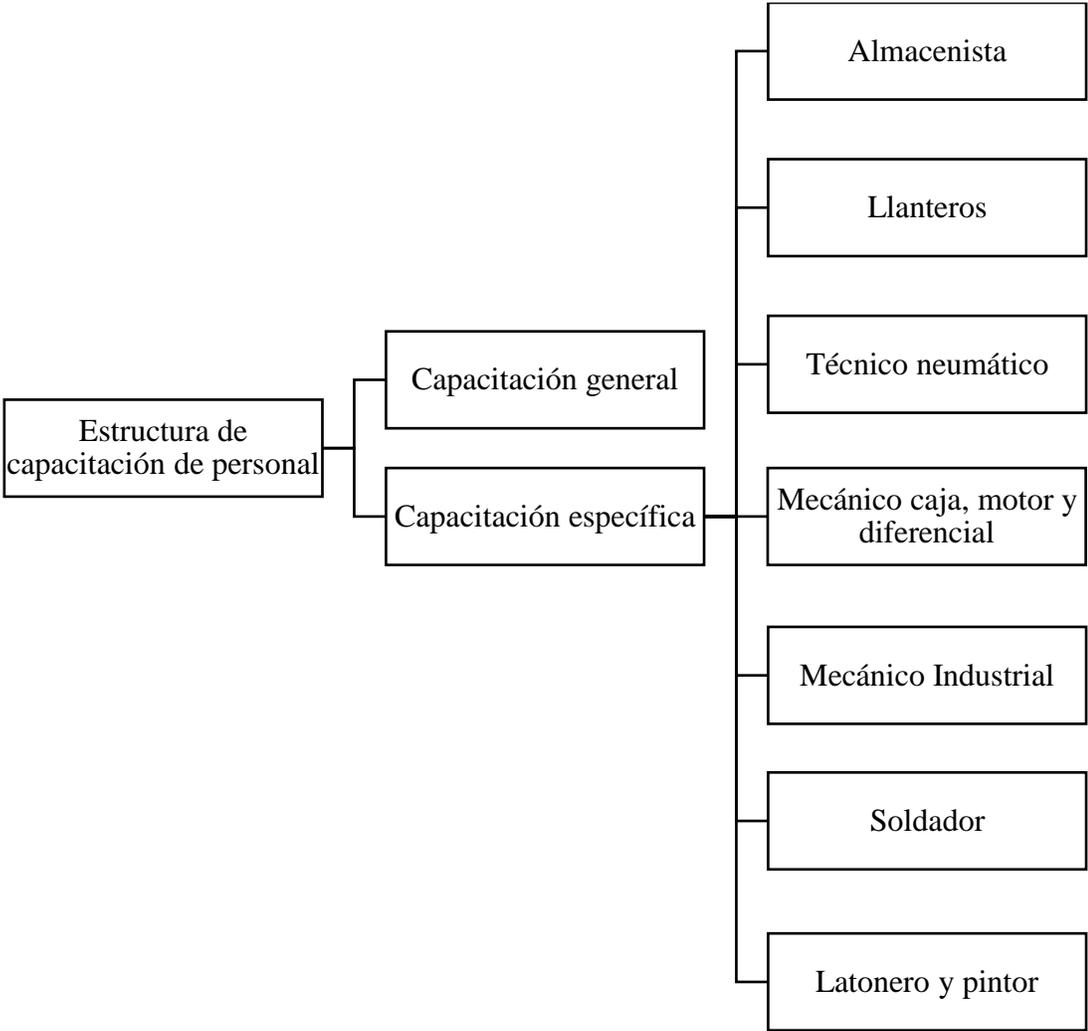
El TPM básicamente usa las acciones correctivas, modificativas, preventivas y esporádicamente las predictivas. Es una táctica netamente de perfil humanista muy útil para empresas con situaciones difíciles en el recurso humano en producción y mantenimiento. Es una metodología ideal para empresas en crecimiento rápido y con deficiencias en el clima organizacional (Mora, 2009).

Desempeña una labor importante en la motivación para la implementación de la primera táctica (cuando se desea progresar del nivel dos operacional de mantenimiento e ingresar al nivel táctico tres). Es la base de otras tácticas, como el RCM o la proactiva (Mora, 2009).

El papel importante que juega el mantenimiento es el de incrementar la confiabilidad de los sistemas de producción al realizar actividades tales como planeación, organización, control y ejecución de métodos de conservación de los equipos en general (Cano, 2011, p. 26).

Se exhibe un modelo o esquema que muestra la estructura de capacitación general y específica del personal de mantenimiento.

Figura 18. Estructura de capacitación personal de mantenimiento



Fuente: Cano, 2011.

Como se aprecia en la figura anterior, cada sección debe tener conocimiento pleno del mantenimiento a necesitar en sus respectivas tareas. Una herramienta para desarrollo de habilidades técnicas y muy útil para actualizar procesos, equipos, flota de transporte, que tiene como objetivo primordial reducir los riesgos generados por errores humanos en sus labores cotidianas, es la capacitación del personal.

Es de suma importancia que toda empresa de cualquier índole, cuente con un plan de mantenimiento, el que se adapte mejor a sus actividades, es prioridad tener claro los objetivos de este plan, para evitar pérdidas de recursos valiosos, que al final pueden impactar de manera significativa en la empresa.

#### Mantenimiento proactivo

Esta estrategia de mantenimiento, está dirigida fundamentalmente a la protección y corrección de las causas que general el desgaste y que conducen a la falla de la maquinaria o instalaciones (Goel, Grievink y Weijnen, 2003).

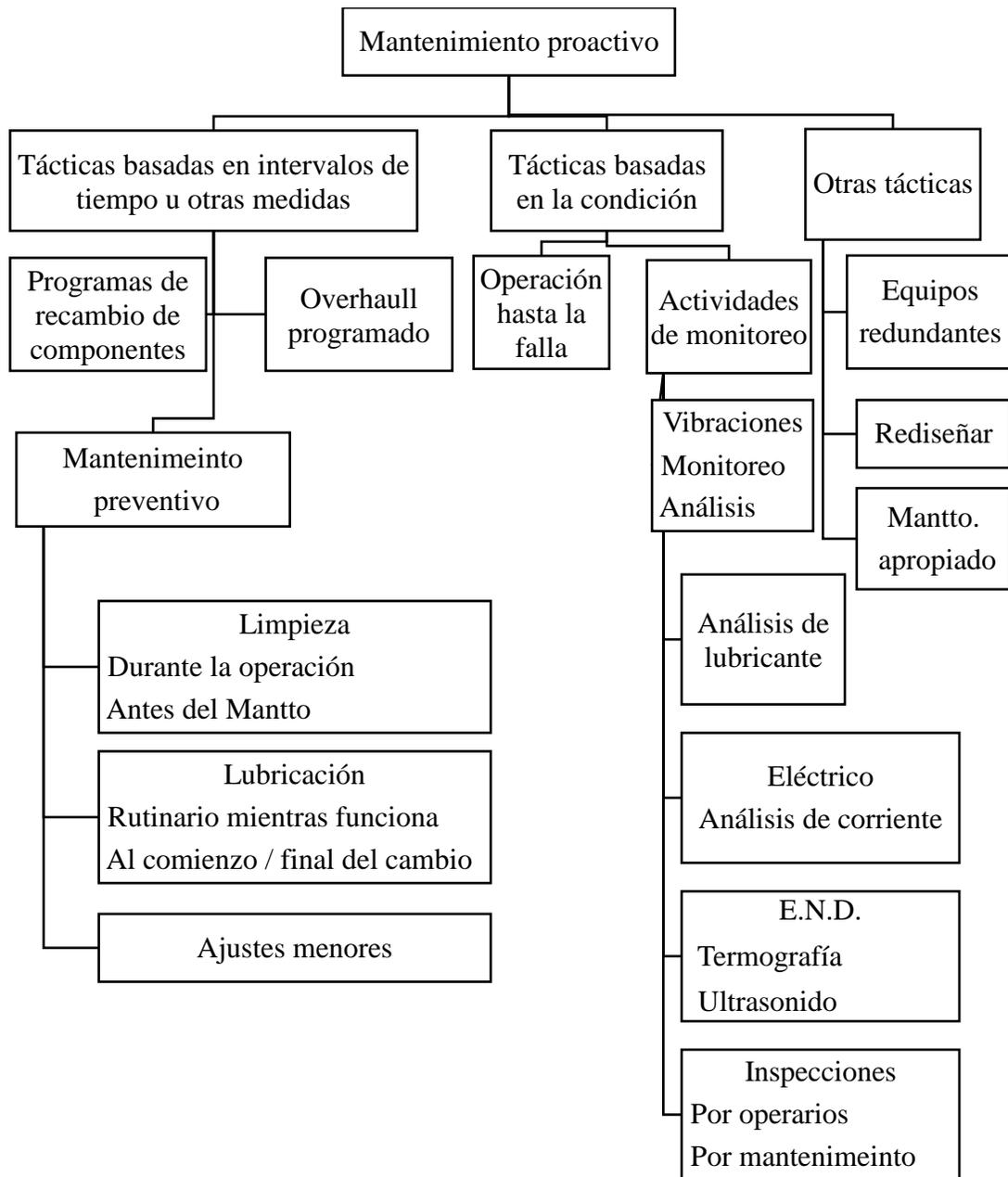
Una vez localizadas las causas que generan el desgaste, no se debe permitir que éstas continúen presentes en la maquinaria, ya que se ven reducidas su vida y desempeño, la longevidad de los componentes del sistema depende de que los parámetros de causas de falla sean mantenidos dentro de los límites aceptables, al utilizar prácticas de detección y corrección (Mora, 2009).

#### Objetivo del mantenimiento proactivo

El objetivo principal del mantenimiento proactivo es identificar y eliminar las causas básicas inmediatas y raíces de las fallas. Es una táctica que trata de frenar las causas inmediatas por fallas incipientes en los sistemas o máquinas. El resultado que produce la implementación de una táctica proactiva consiste en que se crea en la empresa un cambio de conducta, que es el generador de innumerables ahorros para las empresas (Mora, 2009).

En la siguiente figura se describen de manera general, todas las tácticas empleadas en el mantenimiento proactivo:

Figura 19. Tácticas de mantenimiento proactivo

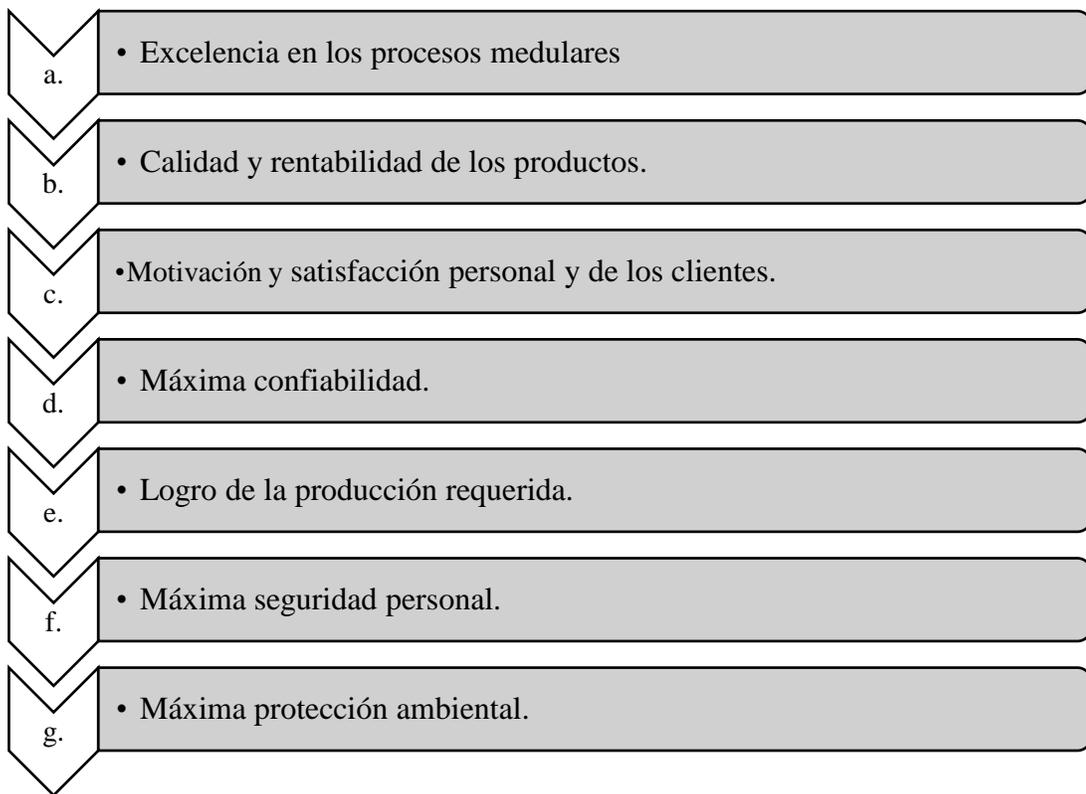


Fuente: Bottini, 2010.

## Mantenimiento de clase mundial WCM

Esta clasificación se define como el mantenimiento sin desperdicio, donde es la diferencia entre cómo se realizan las diferentes acciones o actividades en la actualidad y el deber ser óptimo de las mismas. Se basa en la anticipación a lo que sucederá en el futuro cercano, la función básica es convertir cualquier reparación o modificación en actividades planeadas que eviten fallas a toda costa (Idhammar, 1997).

Figura 20. Focalización del mantenimiento de clase mundial



Fuente: elaborado por el autor, 2022.

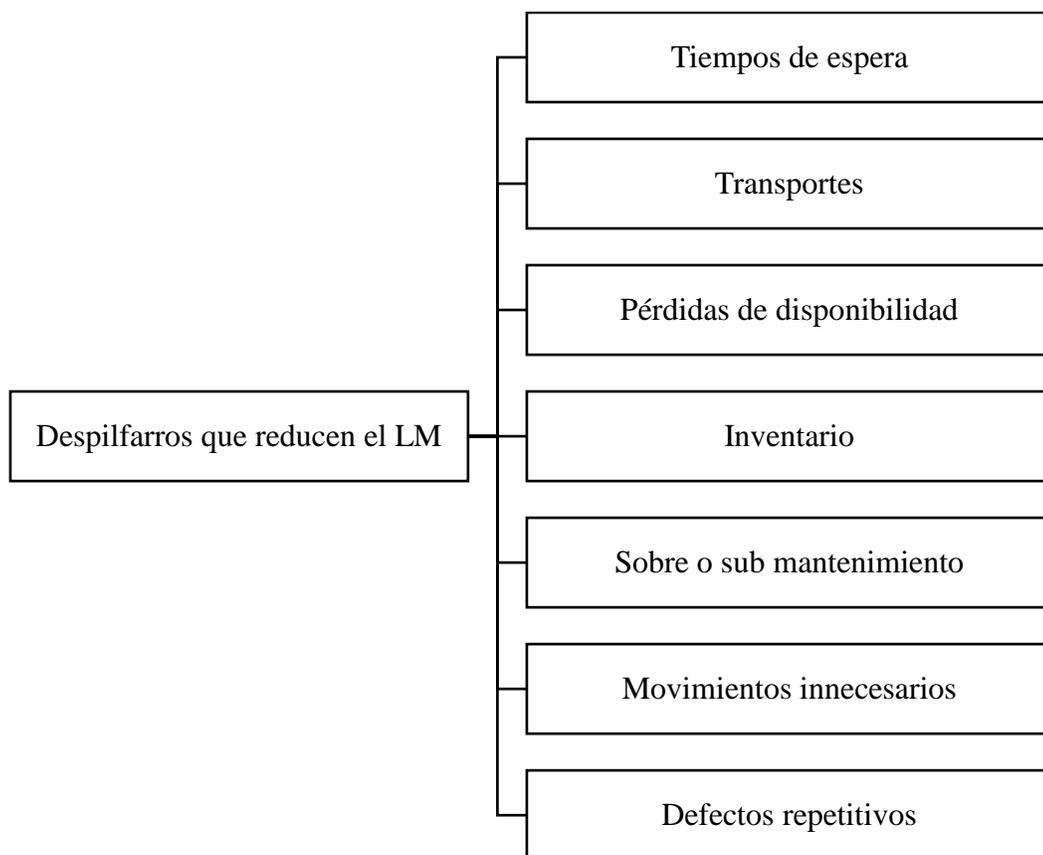
Un anhelo de las áreas de mantenimiento es llegar a ser una organización de clase mundial, definidas como el mantenimiento sin desperdicio, en el cual ésta es la diferencia entre la manera como se realizan las diferentes acciones en la actualidad y en cómo se deben hacer con un nivel óptimo (Mora, 2009).

## Lean Maintenance

Es una táctica proactiva que utiliza la planificación y programación como estrategias fundamentales, para eliminar las pérdidas o desperdicios en las actividades de mantenimiento. En la fabricación tradicional de Lean, varias áreas de desperdicio son identificadas. Se plantea aumentar la confiabilidad operacional y la disponibilidad de los activos e implementar métodos de mejora continua que mejore los procesos y reduzcan los gastos de mantenimiento (Cárcel, 2014).

El Lean Maintenance se basa en la reducción de siete desperdicios fundamentales, los cuales se describen en la siguiente figura:

Figura 21. Reducción de desperdicios del Lean Maintenance



Fuente: Cárcel, 2014.

### Ciclo de vida de un equipo

Según Olivares 2020, cabe resaltar que el mantenimiento busca reducir las fallas que acontecen dentro de cualquier equipo, sin embargo, existen imprevisto que no se pueden evitar, fallas por la misma naturaleza del equipo, es decir, un equipo o maquinaria que esa cerca de cumplir su vida útil será más propenso a presentar fallas, por lo que es necesario llevar un control rígido de cada equipo para saber en qué momento debe seguir en operación o cuando se debe sustituir.

El ciclo de vida de un equipo o maquinaria se divide en tres partes; infancia, madurez y vejez, las fallas del equipo suelen presentarse en cada una de las etapas por diferentes circunstancias o motivos que deben tomarse muy en cuenta en la organización, cada una de estas fases o etapas, son descritas de manera general o resumida en los siguientes apartados (Olivares, 2020):

#### Infancia

Cuando el equipo es recién adquirido de la fábrica (nuevo), pareciera que no presentará ningún tipo de fallas, sin embargo, existen escenarios donde estas se podrían presentar (Olivares, 2020).

Cuando está en marcha el equipo, existe alta probabilidad de fallas sea por falta de adaptación al medio ambiente, por control de calidad, ajustes y asentamientos de elementos, es decir, puede fallar o no operar correctamente por problemas de diseño o de fabricación, también podría presentar fallos por falta de conocimiento o capacitación del operador (Torres, 2015).

#### Madurez

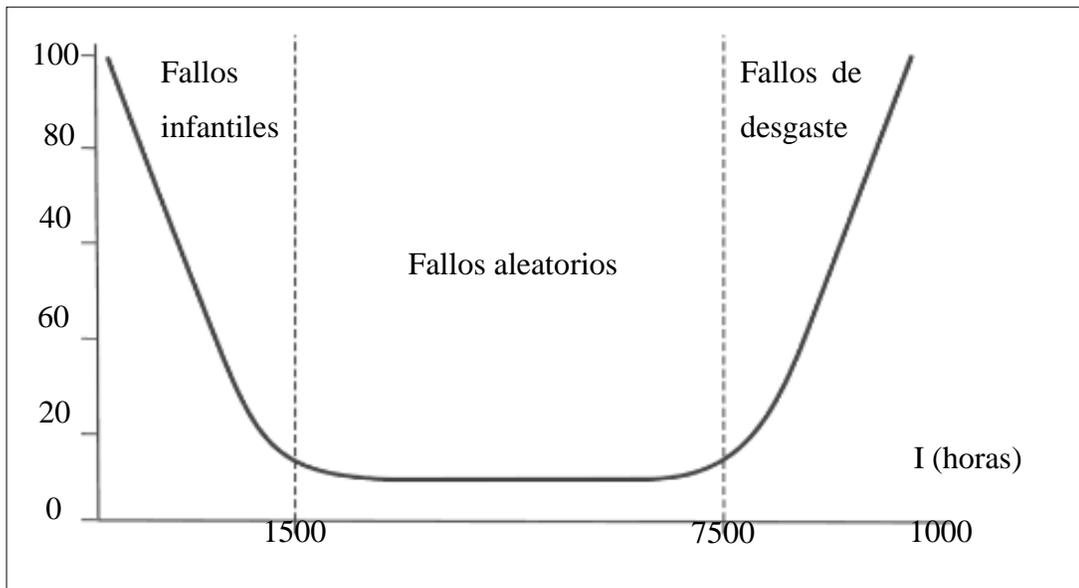
En esta segunda etapa (madurez) conocida también como la vida útil de un sistema, es de mayor duración relativa y se caracteriza porque el índice de fallas es usualmente constante (Torres, 2015).

## Vejez

Esta etapa representa la vejez del sistema por desgaste, siendo el aumento de la probabilidad de producirse una falla gradual y constante, aquí la actividad de mantenimiento es lo más relevante y se manifiestan con mayor énfasis, distintos tipos de mantenimiento (Torres, 2015).

Como se describió anteriormente, en cada etapa o fase de la vida útil del equipo se presentan ciertas fallas por una gran variedad de motivos, en la siguiente figura se exhibe la curva de tasa de fallas del equipo:

Figura 22. Curva de tasa de fallas del equipo



Fuente: Torres, 2015.

Dada que la tasa de las fallas varía respecto al tiempo, se representación típica tiene forma de bañera, debido a que la vida de los dispositivos tiene un comportamiento que está reflejado por las tres etapas diferenciadas, las cuales son; fallas iniciales o de juventud (tasa decrece), fallas normales o de madurez (tasa constante) y fallas de desgaste o de obsolescencia (tasa aumenta) (Torres, 2015).

### Mantenimiento de maquinaria pesada de operación

La durabilidad y productividad del equipo o maquinaria depende en gran manera de la forma como se opere y de la frecuencia con que se efectúe el mantenimiento correspondiente.

### Recomendaciones para operación de equipos

Antes de ejecutar cualquier tipo de mantenimiento a la maquinaria y equipo, es importante tomar nota de varias situaciones importantes. Las siguientes son recomendaciones importantes para operar el equipo de la manera más eficiente: Se debe elegir, incentivar e instruir a los mejores operarios de la región, de esta manera se garantizará el adecuado uso de la maquinaria y, por ende, una eficiencia productiva (Centro Internacional De Agricultura Tropical, 1980).

Se debe disponer de los manuales respectivos de operación, mantenimiento, repuestos y servicios del equipo. Estos documentos deben ser estudiados por los operarios y por el personal que ejecuta el mantenimiento y las reparaciones para que sigan las especificaciones de los fabricantes (Centro Internacional De Agricultura Tropical, 1980).

Al efectuar las reparaciones a la maquinaria, se debe usar solamente repuestos originales o genuinos. Se debe mantener en stock, un buen surtido de aquellos suministros y repuestos necesarios para la ejecución adecuada del respectivo mantenimiento (Centro Internacional De Agricultura Tropical, 1980).

La labor de mantenimiento es lo más importante. Se recomienda revisar detalladamente los manuales operativos del fabricante. Es importante revisar los manuales del fabricante para establecer la clase de lubricante y combustible que se debe usar, y comprar suficiente cantidad de ellos para asegurar su disponibilidad (Centro Internacional De Agricultura Tropical, 1980).

Aunque las reparaciones del equipo o maquinaria deben ser realizadas por personal altamente calificado, es indispensable que cada técnico cuente con una caja de herramientas respectiva, que contenga todo lo necesario para ejecutar hasta el mínimo proceso o cambio y que ayude a reducir el tiempo muerto por búsqueda de herramienta (Centro Internacional De Agricultura Tropical, 1980).

Para controlar el uso del equipo se debe anotar en un registro exclusivo para cada máquina, el trabajo realizado, el tiempo empleado, el combustible y lubricantes empleados, la respectiva fecha del mantenimiento y reparaciones, el costo de operación, entre otras actividades (Centro Internacional De Agricultura Tropical, 1980).

Figura 23. Mantenimiento de maquinaria pesada, limpieza de filtros



Fuente: Grupo Makro, 2018.

Cada labor de mantenimiento en la maquinaria pesada, por tan sencilla e insignificante que parezca, es sumamente importante cumplir a cabalidad cada una de los pasos a seguir, por tal razón es imprescindible seguir las directrices al pie de la letra.

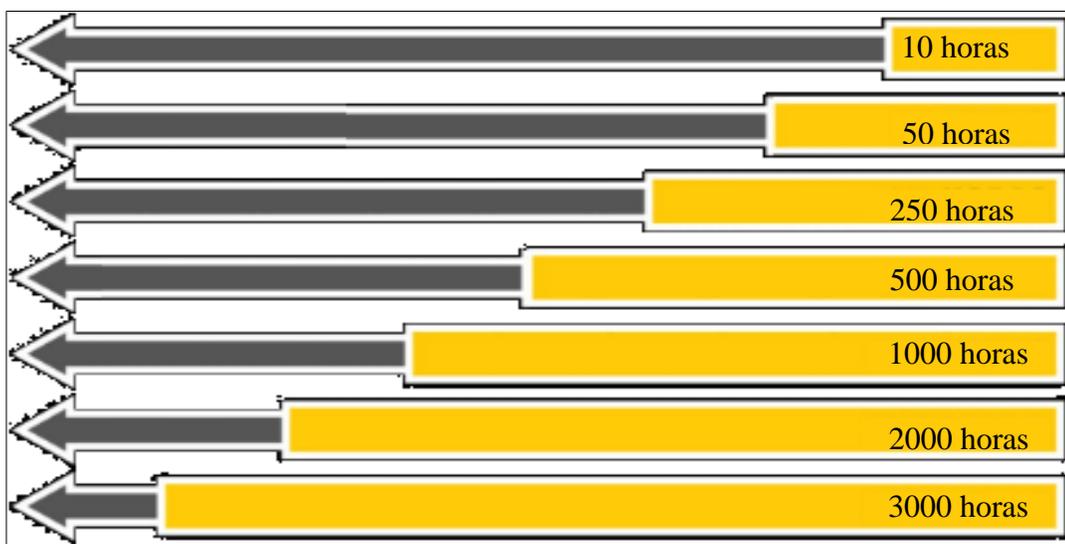
### Mantenimiento programado

Es el conjunto de acciones que se aplican de forma programada en el tiempo, pueden ser horas de servicio, número de ciclos trabajados o por tiempo transcurrido. Comprende acciones como sustituciones de componentes, desmontajes para reconocer elementos ocultos, entre otros (Trashorras, 2002).

Este se basa en la inspección de los puntos más débiles en los periodos de tiempo definidos, al no realizarse este mantenimiento se da la oportunidad de que ocurra una avería. Este mantenimiento se debe de efectuar en tiempos establecidos con la finalidad de evitar averías (All Machines SAS, 2018).

En el caso de la maquinaria pesada, la cual es objeto de estudio de la presente propuesta, es importante realizar un programa detallado de todas las actividades a ejecutar durante un mantenimiento programado, cabe destacar la importancia que el buen funcionamiento de la maquinaria depende en gran manera del mantenimiento realizado.

Figura 24. Intervalos de mantenimientos según CAT



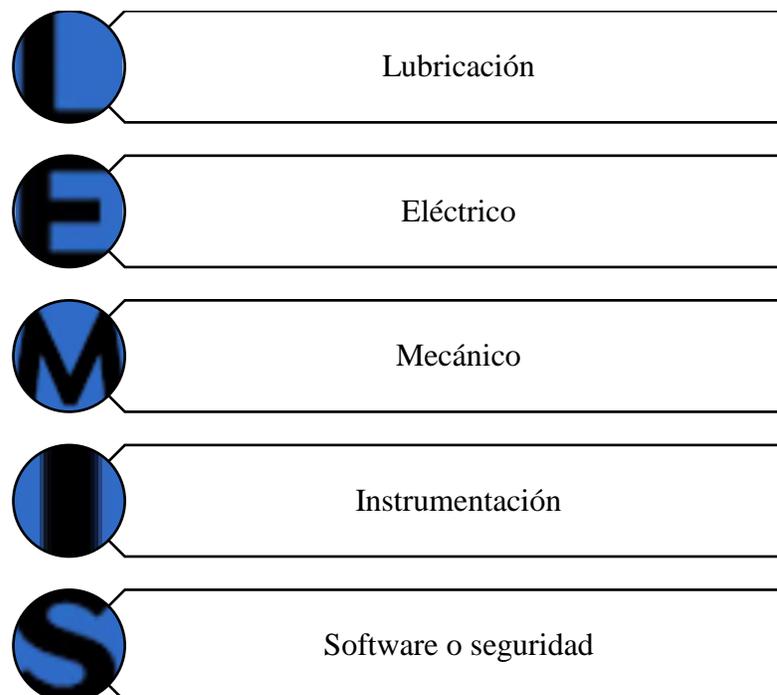
Fuente: CAT, 2022.

## Método LEMIS

LEMIS es una herramienta práctica empleada para analizar todos los aspectos principales que pueden incurrir en la utilización de una maquina o equipo. Se analizan aspectos tales como: la lubricación, la parte eléctrica, mecánica, instrumental y el software o la seguridad (Sandoval, 2014, p. 20).

Según Sandoval 2014, se debe efectuar un diagnóstico de cada herramienta o equipo, en donde se determina el estado y se estructuran los posibles aspectos a revisar, ubicándose en un cronograma específico. El cronograma, es una hoja caracterizada por fechas y notas ordenadas en tiempo exacto, las cuales señalan el día, el tiempo de realización y la cantidad de actividades que deberán ejecutarse durante la semana correspondiente. En la siguiente figura, se describe el acrónimo de la herramienta LEMIS y su significado:

Figura 25. Herramienta LEMIS



Fuente: elaborado por el autor, 2022.

### Plan de Mantenimiento de la maquinaria pesada en operación

Un programa de mantenimiento preventivo tiene como objetivo poder mantener constantemente en perfecto estado de funcionamiento la maquinaria para lograr su máximo rendimiento con un mínimo costo. Ahora bien, existe cierta confusión, respecto al alcance del mantenimiento preventivo (Vargas, 2004).

Algunos creen que éste se reduce a unas inspecciones periódicas; sin embargo, este mantenimiento abarca no sólo las actividades de eliminación de averías o de comportamiento anormal, sino la normalización, disminución de costos de operación e incremento de la vida útil de las máquinas y equipo (Vargas, 2004).

Según Vargas 2004, un buen plan de mantenimiento preventivo provee una guía detallada de cada tipo de equipo, descomponiendo la máquina entera en sus diversos sistemas y componentes, es decir, que debe contar con una gama de manuales o catálogos para poderlo realizar.

### Sistema de combustible

Se debe llenar el tanque de combustible al finalizar cada jornada de trabajo, para eliminar el aire cargado de humedad y evitar la condensación. No llenar el tanque hasta el borde, pues el combustible se expande cuando se calienta y podría rebalsar, se debe verificar el nivel de combustible con la varilla de medición en la abertura de llenado. No hay que llenar los filtros de combustible con combustible antes de instalarlos. El combustible contaminado puede acelerar el desgaste de las piezas del sistema (Vargas, 2004).

Vargas 2004, describe que después de cambiar los filtros del combustible, se debe purgar y cebar el sistema de combustible, para eliminar las burbujas de aire. El agua y sedimentos deben drenarse del tanque al inicio de cada turno de trabajo o después de haber llenado el tanque y de haberlo dejado asentar durante 5 a 10 minutos.

### Sistema hidráulico

El aceite de compensación agregado al sistema hidráulico se debe mezclar con el aceite que se encuentra en el tanque. El agua o el aire pueden provocar la falla de la bomba. Si el aceite hidráulico se vuelve turbio, significa que está entrando agua o aire al sistema. Se debe drenar el fluido, volver ajustar las abrazaderas de las tuberías hidráulicas de succión, así purgar el sistema y volver a llenarlo (Vargas, 2004).

### Sistema de admisión de aire

Vargas, 2004 describe que el elemento primario se puede limpiar hasta seis veces, antes de tener que cambiarlo. Se cambia el elemento primario una vez al año, aunque no se haya limpiado seis veces. Cuando se atiende el elemento primario por tercera vez, hay que cambiar el filtro secundario. Se debe desechar cualquier elemento que esté rasgado o roto en el material del filtro.

### Sistema eléctrico

Al utilizar una fuente eléctrica externa para arrancar la máquina, hay que girar el interruptor general a la posición de apagado y sacar la llave antes de conectar los cables auxiliares, estos deben asegurarse que están conectados en paralelo: positivo (+) a positivo (+) y negativo (-) a negativo (-). No permitir que se junten los cables, pues de lo contrario emitirán una descarga, lo cual atentaría contra la seguridad del que los esté manipulando. Utilizar únicamente un voltaje igual para arranque auxiliar. La utilización de un voltaje más alto deteriorará el sistema eléctrico (Vargas, 2004).

### Sistema de enfriamiento

Nunca se debe agregar refrigerante a un motor recalentado; hay que dejar que el motor se enfríe antes de hacerlo. El agua es siempre corrosiva a temperaturas de operación del motor. Use agua limpia con bajo contenido de minerales que formen escamas. No utilice agua ablandada químicamente. Agregue al agua inhibidor de sistemas de enfriamiento para protección contra la corrosión (Vargas, 2004).

Según Vargas 2004, cuando se utilizan soluciones de agua y anticongelante permanente en el sistema de enfriamiento, hay que drenar la solución y cambiarla cada 2000 horas de servicio o una vez al año. Cuando se agrega inhibidor de sistemas de enfriamiento cada 500 horas de servicio o 3 meses, no es necesario vaciar y volver a llenar el sistema una vez al año. El período de drenaje se puede extender a cada 4000 horas de servicio o 2 años.

#### Análisis del aceite

Se debe verificar habitualmente el nivel de aceite y vigilar el estado del mismo mediante una inspección visual.

Cuadro 5. Intervalo de tomas de muestra

Compartimiento	Intervalo en horas
Aceite de motor	250
Aceite de transmisión	500
Aceite hidráulico	500
Aceite del mando final	500

Fuente: Vargas, 2004.

#### Generalidades

Según Vargas 2004, la grasa y aceite acumulados en una máquina representan un peligro de incendio, por lo que se debe limpiar a vapor o agua a alta presión; cada 1000 horas como mínimo o cada vez que se derrame una cantidad considerable.

Limpiar todas las conexiones, tapas y taponos antes de dar servicio. Mantenerse en alerta para observar si hay fugas; si las hay, buscar la causa y corregirla. Hay que comprobar los niveles de fluido con más frecuencia que los períodos recomendados, si se encuentran o se sospecha que hay fugas. Se debe drenar el agua y los sedimentos de los depósitos de aire al comienzo de cada día de trabajo (Vargas, 2004).

## Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad

### Definición

El mantenimiento centrado en la confiabilidad es una filosofía de gestión de mantenimiento que optimiza la confiabilidad operativa de un sistema que funciona bajo circunstancias de trabajo definidas, en función de qué tan críticos son los activos, tomando en cuenta los posibles efectos que originarán los modos de falla de esos activos, a la seguridad, el ambiente, a las operaciones (Torres, 2015).

### Objetivo del mantenimiento centrado en la confiabilidad

El objetivo principal del mantenimiento centrado en la confiabilidad es garantizar que el equipo cumpla la función o funciones para las cuales ha sido introducido en el proceso productivo, es decir, se centra en garantizar la máxima confiabilidad de un proceso / equipo, entendiendo la confiabilidad como la probabilidad de que un equipo no falle durante su operación (Torres, 2015).

### Historia

La metodología RCM (Reliability Centered Maintenance) o Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, se origina durante los años ´60 en la aviación de los Estados Unidos, debido a la alta incidencia de accidentes en la aviación, donde la fatalidad era de sesenta por millón de despegues o aterrizajes. Esta metodología fue creada por Stan Nowlan y descritos por Heap y él en 1978. El índice de fatalidad se redujo a dos por millón para fines del siglo XX (Herrscher, 2013).

En los años ´80, John Moubray estructuró el primer procedimiento riguroso para aplicar el mantenimiento centrado en la confiabilidad en activos físicos en general, fuera de la aviación. Moubray publicó su libro RCM 2 en varios idiomas incluido el castellano y el chino. Dicho procedimiento establece una secuencia de siete preguntas para determinar qué tipo de tareas de mantenimiento deben de realizarse (Herrscher, 2013).

En el siguiente cuadro se describen las preguntas que forman parte del procedimiento para la determinación de las tareas de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad o RCM:

Cuadro 6. Procedimiento RCM

Pregunta 1	¿Qué quiere el usuario del equipo que este haga? (La Función).
Pregunta 2	¿Cómo el equipo deja de hacer lo que el usuario quiere? (la falla funcional)
Pregunta 3	¿Cuál es la causa de por la cual deja de hacer lo que el usuario quiere que haga? (El modo falla)
Pregunta 4	¿Cuál es el efecto de ese modo falla? (Qué sucede cuando la falla ocurre)
Pregunta 5	La consecuencia de la falla. (Qué y Cuánto importa ese modo de falla).
Pregunta 6	¿Qué acciones proactivas (anticipadas) se pueden ejecutar para impedir, evitar o minimizar esas consecuencias?
Pregunta 7	¿Qué se debe hacer si no se encuentra ninguna forma proactiva de acción?

Fuente: Herrscher, 2013.

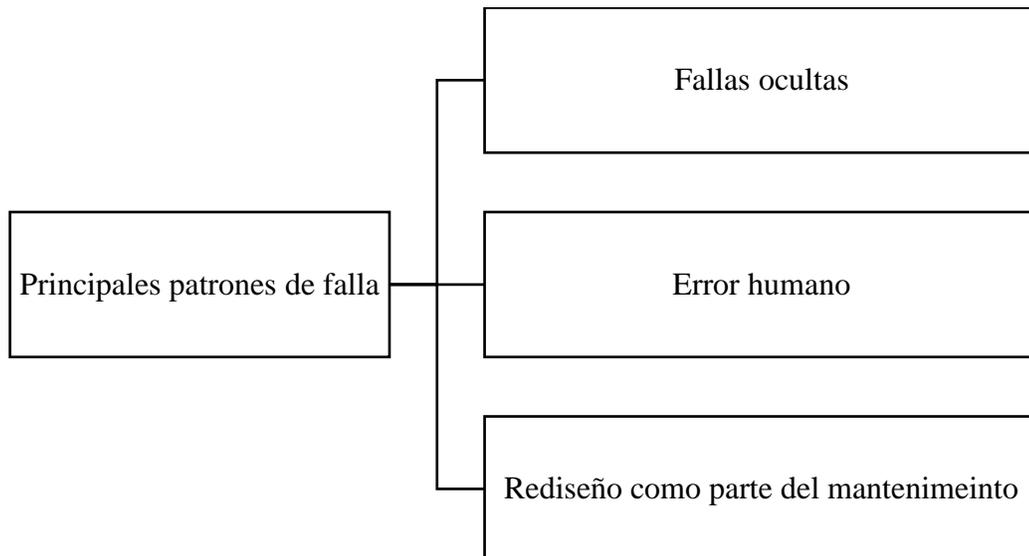
El concepto de confiabilidad total abarca el hecho de que todas las máquinas, equipos, personas, procedimientos, sistemas en general, deben ser muy confiables, es decir, todos los elementos que integran una organización deben hacer lo que se pretende que hagan; deben ser confiables y para lograrlo, se debe establecer la metodología de aplicación adecuada como lo puede ser el mantenimiento centrado en la confiabilidad (Herrscher, 2013).

Al estar pendiente del equipo, lo operadores, los sistemas de mantenimiento y los procesos, se tendrá un mejor control de todo y, por ende, las fallas serán menores.

Las metodologías actuales para asegurar la confiabilidad de los procesos, equipos y herramientas abarcan más que solo un mantenimiento de cualquier clase, por consiguiente, el diseño o rediseño, la capacidad de los operadores y/o mantenedores, así como la redacción y de mantenimiento realizado, forman parte de la confiabilidad (Herrscher, 2013).

Se reconocen en la actualidad tres patrones de falla y aprendizaje que la mayoría de los modos de falla no se producen por envejecimientos, tales patrones son:

Figura 26. Patrones principales de falla



Fuente: Herrscher, 2013.

### Fallas ocultas

La falla oculta por sí sola no tiene ninguna consecuencia, sino hasta que ocurre un incidente indeseable se pone en evidencia, se dice que solamente el 33% de estas fallas son conocidas y bien manejadas, el resto permanecen ocultos hasta que aparecen. Para este tipo de falla importante se debe tener un plan de búsqueda exhaustiva, debido a que existen muchas en los equipos novedosos, sobre todo por la tecnología moderna (Herrscher, 2013).

Detectar las fallas ocultas es un procedimiento muy complejo, es necesario revisar detenidamente el equipo y buscar muy minuciosamente todos sus componentes, el personal que debe realizar esta función debe conocer plenamente el equipo, de lo contrario, dejará pasar por alto detalles que pueden indicar alguna anomalía indetectable.

#### Errores humanos

Cualquier falla que afecte al proceso operativo, debe ser revisado y controlado, por tal razón, el factor humano es muy tomado en cuenta como un posible modo de falla, ejemplo que se ponga en operación un rodamiento sin lubricación o que se lubrique con uno equivocado (Herrscher, 2013).

Muchos errores humanos en el mantenimiento se realizan por falta de conocimiento técnico y/o habilidades del personal encargado de este, por tal razón, es importante tener a mano el manual de la máquina y/o equipo, asimismo, el mantenimiento debe ser ejecutado por personal altamente calificado y se debe tener un registro de todas las actividades realizadas.

#### Rediseño como parte del mantenimiento

En el mantenimiento centrado en la confiabilidad, el rediseño siempre busca incrementar la capacidad del proceso, por consiguiente, se pueden modificar los elementos físicos. Aunque también puede consistir en aumentar las capacidades de los operadores por medio de capacitaciones constantes acerca del equipo y de los diferentes tipos de mantenimiento, pero también puede significar un cambio de procedimiento de operación, en todos los casos existe un rediseño para que el equipo realice lo que se necesita (Herrscher, 2013).

El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), es la mejor solución para las empresas en la actualidad, por medio de este se pueden reducir todo tipo de fallas.

Como toda metodología, para poder implementar el mantenimiento centrado en la confiabilidad de los equipos, se deben seguir ciertas actividades, las cuales se describen en la siguiente figura:

Figura 27. Proceso de implementación del RCM



Fuente: Cárcel, 2014.

El mantenimiento centrado en la confiabilidad de los equipos RCM, tiene muchas ventajas respecto a otros tipos de mantenimiento, en el siguiente cuadro se describen algunas:

Cuadro 7. Ventajas de RCM

a.	Puede reducir la cantidad de mantenimiento rutinario preventivo realizado eventualmente.
b.	Si se aplicara para desarrollar un nuevo sistema de mantenimiento preventivo en la empresa, el resultado será que la carga de trabajo programada sea mucho menor que si el sistema se hubiera desarrollado por métodos convencionales.
c.	Su lenguaje técnico es común, sencillo y fácil de entender para todos los empleados vinculados al proceso RCM, permitiendo al personal involucrado en las tareas, saber que pueden y qué no pueden esperar de esta aplicación y quién debe hacer qué, para conseguirlo.

Fuente: Cárcel, 2014.

Según Cárcel, 2014, el mantenimiento centrado en la fiabilidad de los equipos pone énfasis en las consecuencias de las fallas como las características técnicas de las mismas, mediante:

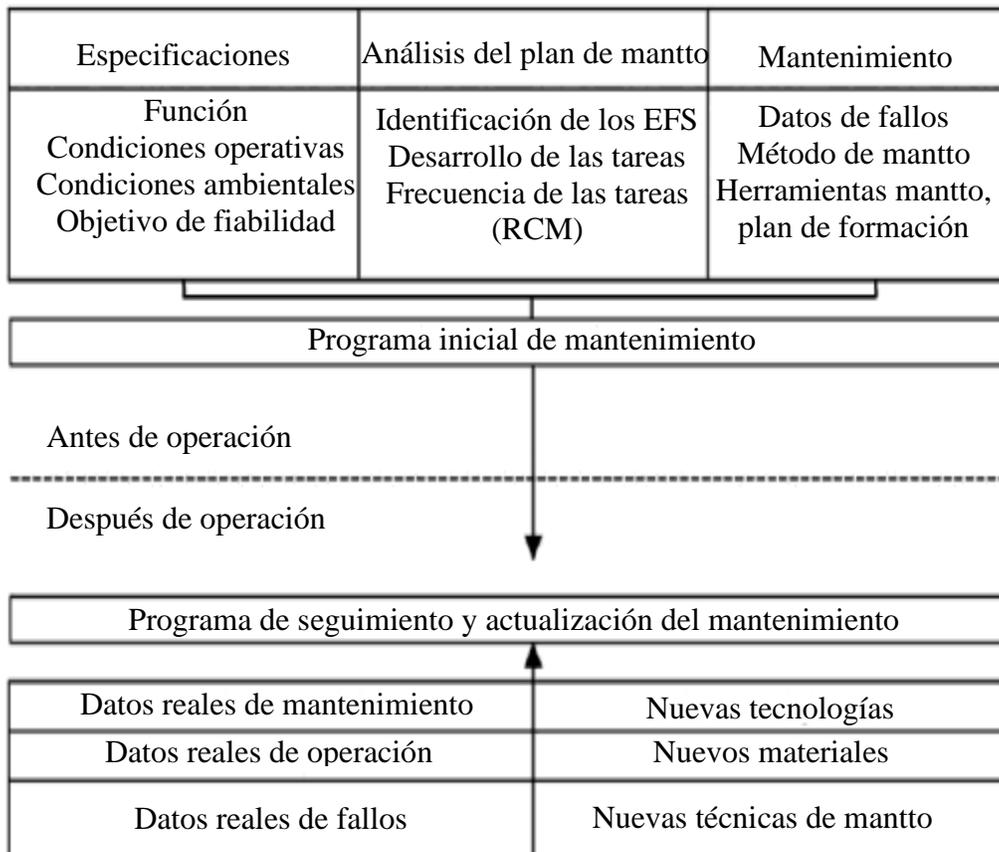
Integración de una revisión de las fallas operacionales con la evaluación de aspectos de seguridad y amenazas al medio ambiente, esto hace que la seguridad y el medio ambiente sean tenidos en cuenta a la hora de tomar decisiones en materia de mantenimiento (Cárcel, 2014).

Mantener mucha atención en las tareas del mantenimiento que más incidencias tienen en el funcionamiento y desempeño de las instalaciones para garantizar que la inversión en mantenimiento se utilice donde más beneficios va a reportar (Cárcel, 2014).

El programa de mantenimiento inicial, que comúnmente resulta de la colaboración entre el suministrador y el usuario, se define con anterioridad a la operación y está basado en la metodología del mantenimiento centrado en la fiabilidad RCM. El programa de seguimiento y actualización del mantenimiento, que se desarrolla a partir del programa inicial, lo inicia el usuario tan pronto como sea posible y una vez que ha comenzado la operación (Cárcel, 2014).

Los programas de mantenimiento se pueden basar en datos reales de las fallas y en los avances de la tecnología, los materiales, sistemas, métodos y técnicas de mantenimiento, tal y como se muestran en la siguiente figura:

Figura 28. Evolución de un programa dinámico de RCM



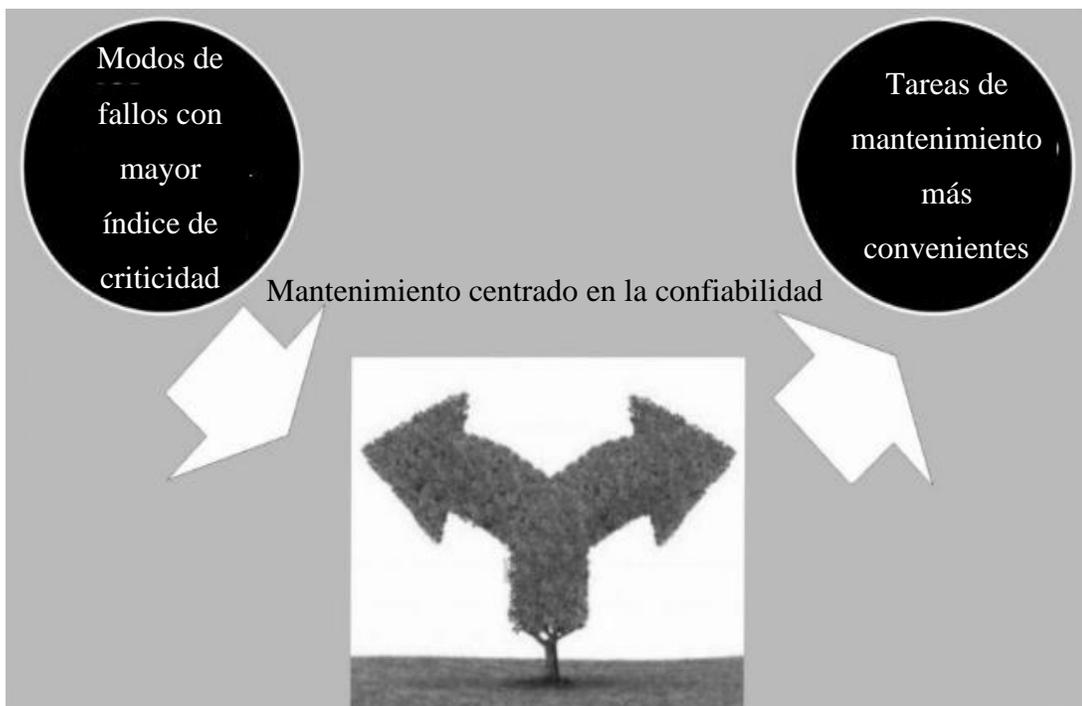
Fuente: Cárcel, 2014.

### Matriz de decisión RCM

Esta una herramienta se utiliza para establecer el tipo de tarea de mantenimiento más conveniente. El objetivo de esta etapa es la determinación de acciones que se deben programar en el cronograma para cada tipo de fallas críticas. Para esto, el modelo se basa en un árbol de decisiones, el cual sigue una lógica de razonamiento, busca asignar a cada tipo de avería un tipo diferente de actividad de mantenimiento (Torres, 2015).

Los inputs requeridos para ingresar a este árbol son los datos y la información de los modos de fallas previamente determinadas. El foco y alma de esta etapa es muchas veces el denominado árbol de decisiones. Actualmente, hay muchos modelos, sin embargo, todos se alinean en mayor o menor medida a la norma SAE JA-1012 y a su lógica de razonamiento específica. En la siguiente figura se muestra el esquema global del árbol de decisiones (Torres, 2015).

Figura 29. Esquema global del árbol de decisiones



Fuente: Torres, 2015.

### Mantenimiento combinado TPM y RCM

La combinación del mantenimiento productivo total TPM y el mantenimiento centrado en la confiabilidad de los equipos RCM, tiene diversas ventajas, entre las que se pueden mencionar la de mejorar el proceso para facilitar el trabajo en equipo, entre el mantenimiento y las funciones de producción, mejorar la fiabilidad de las máquinas y reducir los costos de operación. Ambas tácticas se complementan, pues mientras el TPM mejora la productividad, el RCM aumenta la confiabilidad y la competitividad (Marks, 1997).

### Los pilares básicos del TPM y su relación con la estrategia RCM

El TPM trata de restaurar el equipo a una condición parecida a la nueva, y ayuda a reducir el mínimo las fallas que ocurren en la etapa de mortalidad infantil, durante la instalación y puesta en marcha o a partir de ellas con la restauración del equipo y el cuidado básico por parte del operador, mientras que el RCM erradica o controla las fallas (Mora, 2009).

El TPM contribuye a la participación del operador en el mantenimiento del equipo, pero este necesita el apoyo de especialistas cuando el problema en la maquinaria implica tecnología avanzada. Dichos especialistas emplean los principios RCM para el análisis de los modos de falla y sus efectos, usan herramientas de monitoreo de condición de vibraciones e instrumentos avanzados para identificar las causas de los problemas (Mora, 2009).

El TPM mejora la eficacia y la eficiencia del mantenimiento, al igual que la táctica del RCM (Mora, 2009).

El TPM exige que las personas se entrenen o capaciten para mejorar sus habilidades de trabajo, mientras que el RCM ayuda a identificar las fallas del capital humano e indica las áreas que requieren entrenamiento (Mora, 2009).

El TPM usa el control y prevención del mantenimiento. Esto es inherente en el RCM que se encarga de identificar y evitar los modos de falla (Mora, 2009).

El TPM intensifica el uso del mantenimiento preventivo, el RCM lo complementa al utilizar intensivamente el predictivo. El RCM ayuda a identificar cómo y cuándo usar el mantenimiento preventivo o predictivo mediante el análisis de los modos de falla (Mora, 2009).

La combinación de ambas modalidades de mantenimiento es una costumbre que se incrementa día a día en las empresas modernas, para mejorar y conservar los equipos y sus funciones. Con esta combinación se logra evitar crisis y fallas en el proceso productivo, se minimizan los costos y mejorar constantemente los procesos en la planta (Mora, 2009).

La relación clave entre el TPM y el RCM se da en que sus principios clave de organización y confiabilidad se combinan, para garantizar una excelente operación y gestión del mantenimiento. El RCM sirve para determinar los requerimientos de mantenimiento para operaciones físicas con su contexto operativo tecnológico y en el TPM se logra que estos requerimientos se difundan como los más efectivos y económicos (Geraghty, 1996).

El empleo en conjunto de ambas tácticas permite alcanzar un manejo intensivo y exitoso de los instrumentos básicos y avanzados de mantenimiento, en especial del recurso humano (TPM) y de la tecnología (RCM). (Mora, 2009).

### III. COMPROBACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Este capítulo contiene los datos obtenidos del trabajo de campo realizado en Zona Vial No. 4, Dirección General Caminos, Retalhuleu, con el fin de comprobar la hipótesis: El riesgo de pérdidas económicas, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu, en los últimos cinco años, por inadecuados procesos de mantenimiento de maquinaria pesada de operación, es debido a inexistencia de plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, para la cual se emplearon dos cuestionarios con dos preguntas cerradas cada uno.

La primera boleta para comprobar la Variable Dependiente “Y” (Efecto Riesgo de pérdidas económicas, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu, en los últimos cinco años, dirigida a 7 personas del área administrativa, mediante un censo

La segunda boleta para comprobar la Variable Independiente “X” (Causa): Inexistencia de plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, para maquinaria pesada de operación, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu, dirigida también a 7 personas del área administrativa, mediante un censo.

Del cuadro 8 al 10 y gráfica de la 1 a la 3, se refiere a la comprobación de la variable dependiente; el cuadro 11 al 13 y gráfica de la 4 a la 6 para comprobar la variable independiente o causa principal.

Se hace la observación que con el cuadro 8 y gráfica 1 se comprueba la variable dependiente; y, con el cuadro 11 y gráfica 4 se comprueba la variable independiente, contenidas en la hipótesis de trabajo formulada.

Cuadros y gráficas para la comprobación de la variable dependiente (Y) o efecto.

Cuadro 8.

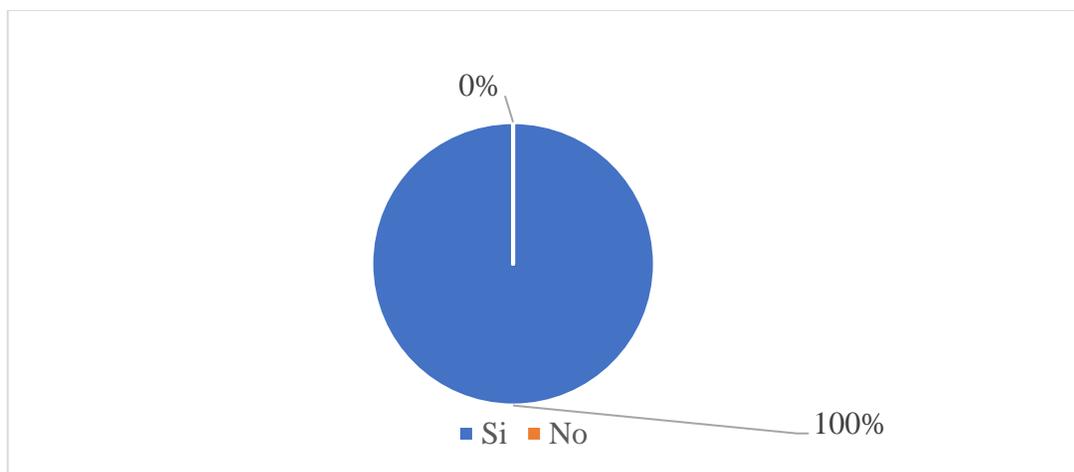
Personas que opinan sobre la existencia de riesgo de pérdidas económicas en Zona Vial No. 4, Dirección General Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu.

Respuestas	Valor absoluto	Valor relativo (%)
Si	7	100
No	0	0
TOTAL	7	100

Fuente: Información obtenida de personal administrativo de Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu (2022).

Gráfica 1.

Personas que opinan sobre la existencia de riesgo de pérdidas económicas en Zona Vial No. 4, Dirección General Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu.



Fuente: Información obtenida de personal administrativo de Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu (2022).

### Análisis

Se puede observar en los datos obtenidos, que la totalidad de los encuestados consideran que existe riesgo de pérdidas económicas en Zona Vial No. 4, Dirección General Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu. Con esto se comprueba la variable dependiente.

Cuadro 9.

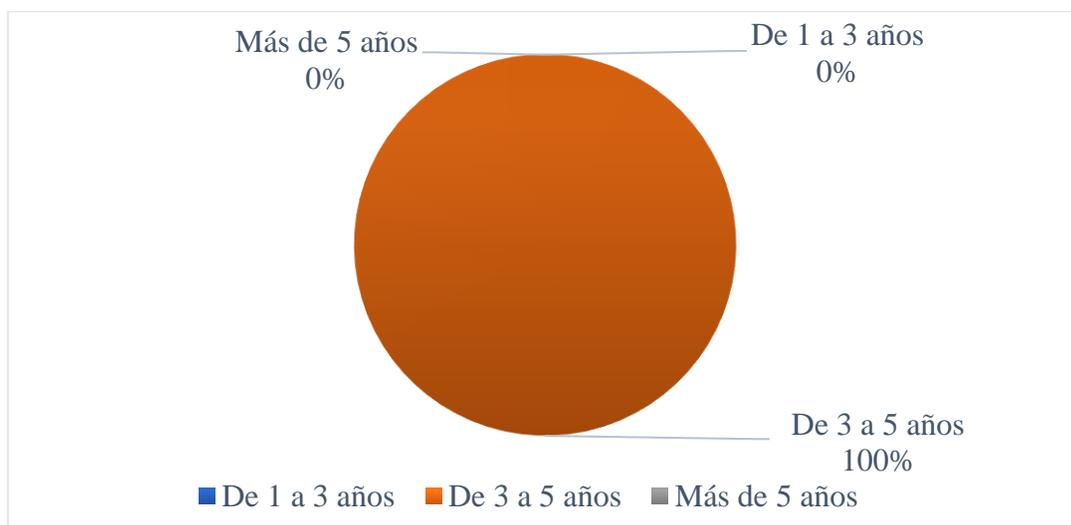
Personas que opinan sobre el tiempo de existencia del riesgo de pérdidas económicas, en Zona Vial No 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu.

Respuestas	Valor absoluto	Valor relativo (%)
De 1 a 3 años	0	0
De 3 a 5 años	7	100
Más de 5 años	0	0
TOTAL	7	100

Fuente: Información obtenida de personal administrativo de Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu (2022).

Gráfica 2.

Personas que opinan sobre el tiempo de existencia del riesgo de pérdidas económicas, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu.



Fuente: Información obtenida de personal administrativo de Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu (2022).

### Análisis

Según los datos anteriores, los encuestados coinciden en que el riesgo de pérdidas económicas lleva entre 3 a 5 años de existir. Esto contribuye a la comprobación de la variable dependiente.

Cuadro 10.

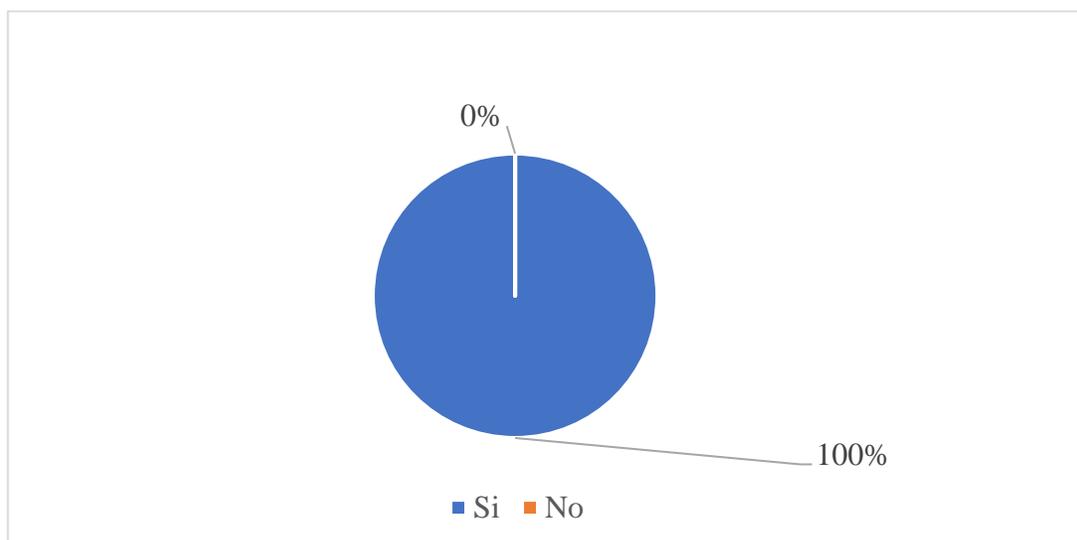
Personas que opinan sobre la importancia de reducir riesgo de pérdidas económicas, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu.

Respuestas	Valor absoluto	Valor relativo (%)
Si	7	100
No	0	0
TOTAL	7	100

Fuente: Información obtenida de personal administrativo de Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu (2022).

Gráfica 3.

Personas que opinan sobre la importancia de reducir riesgo de pérdidas económicas, en Zona Vial No. 4 , Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu



Fuente: Información obtenida de personal administrativo de Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu (2022).

### Análisis

Como se describe en el cuadro y gráfica anteriores, todos los entrevistados saben que es importante reducir el riesgo de pérdidas económicas en Zona Vial No 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu. Esto apoya a la comprobación del efecto.

Cuadros y gráficas para la comprobación de la variable independiente (X) o causa

Cuadro 11.

Personas que opinan sobre la existencia de Plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, para maquinaria pesada de operación, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu.

Respuestas	Valor absoluto	Valor relativo (%)
Si	0	0
No	7	100
TOTAL	7	100

Fuente: Información obtenida de personal administrativo de Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu (2022).

Gráfica 4.

Personas que opinan sobre la existencia de Plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, para maquinaria pesada de operación, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu.



Fuente: Información obtenida de personal administrativo de Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu (2022).

#### Análisis

Como se puede apreciar en los datos anteriores, los encuestados saben que falta un Plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, para maquinaria pesada de operación de Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu. Con esto se comprueba la variable independiente.

Cuadro 12.

Personas que opinan sobre la necesidad de plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, para maquinaria pesada de operación, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu, Retalhuleu.

Respuestas	Valor absoluto	Valor relativo (%)
Si	7	100
No	0	0
TOTAL	7	100

Fuente: Información obtenida de personal administrativo de Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu (2022).

Gráfica 5.

Personas que opinan sobre la necesidad de plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, para maquinaria pesada de operación, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu.



Fuente: Información obtenida de personal administrativo de Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu (2022).

### Análisis

Todos los entrevistados saben que es necesario implementar un Plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, para maquinaria pesada de operación, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu. Con esto se ayuda a la comprobación de la variable independiente.

Cuadro 13.

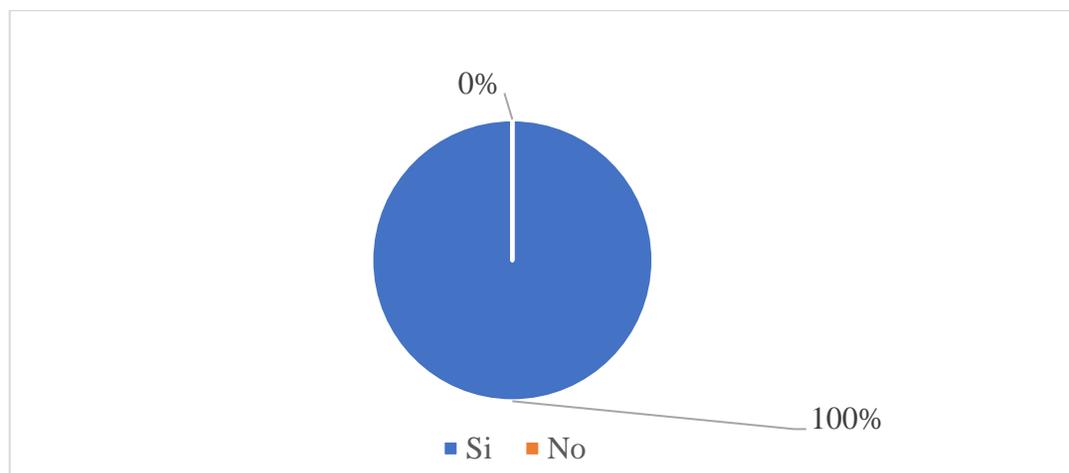
Personas que apoyarán al Plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, para maquinaria pesada de operación, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu.

Respuestas	Valor absoluto	Valor relativo (%)
Si	7	100
No	0	0
TOTAL	7	100

Fuente: Información obtenida de personal administrativo de Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu (2022).

Gráfica 6.

Personas que apoyarán al Plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, para maquinaria pesada de operación, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu.



Fuente: Información obtenida de personal administrativo de Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu (2022).

### Análisis

Como se puede apreciar en el cuadro y gráfica anteriores, todos los encuestados apoyarían el Plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, para maquinaria pesada de operación de Zona Vial No. 4, Dirección General Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu. Con esto se apoya a la comprobación de la variable independiente.

## IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### IV.1. Conclusiones

1. Se comprueba la hipótesis: El riesgo de pérdidas económicas, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu, en los últimos cinco años, por inadecuados procesos de mantenimiento de maquinaria pesada de operación, es debido a inexistencia de plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, con un nivel de confianza del 100% y 0% en el grado de error del muestreo.
2. Existe alto riesgo de pérdidas económicas en Zona Vial No. 4, Dirección General Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu.
3. El tiempo de existencia del riesgo de pérdidas económicas, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, es de 3 a 5 años.
4. Es importante reducir el riesgo de pérdidas económicas en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu.
5. No se cuenta con un Plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, para maquinaria pesada de operación de Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos.
6. Se evidencia la necesidad de implementar un plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos.
7. Se contará con el apoyo a la implementación del plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, para maquinaria pesada de operación, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos.

#### IV.2. Recomendaciones

1. Implementar la propuesta: Plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, para maquinaria pesada de operación, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu.
2. Reducir el riesgo de pérdidas económicas en Zona Vial No. 4, Dirección General Caminos, Retalhuleu.
3. Eliminar el tiempo que lleva de existir el riesgo de pérdidas económicas, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, para los próximos años.
4. Tomar en cuenta la importancia de reducir el riesgo de pérdidas económicas en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu.
5. Eliminar la falta de plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad, para maquinaria pesada de operación, de Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos.
6. Ejecutar el presente plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad, para maquinaria pesada de operación, adaptado a las necesidades de Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos.
7. Aprovechar la disponibilidad de apoyo al presente plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad, para maquinaria pesada de operación de Zona vial No.4, Dirección General de Caminos.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Acuña, J. (2003). Ingeniería de Confiabilidad. Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica.
2. Alonzo, L. y Rodríguez, G. (2009). Carreteras. México: Ediciones de la Universidad Autónoma de Yucatán.
3. All Machines SAS, (2018). Tipos de mantenimiento para maquinaria pesada. Colombia.
4. Bottini, R. (2010). Mantenimiento y confiabilidad. Modelos de optimización. Argentina. Paradigmas. Universidad Austral.
5. Cano, H. (2011). Modelo gerencial de mantenimiento para la flota de tractocamiones de Tractocarga Ltda. Universidad Industrial de Santander. Colombia.
6. Cárcel, J. (2014). La gestión del conocimiento en la ingeniería de mantenimiento industrial. España: OmniaScience.
7. Cárdenas, J. (2022). Diseño geométrico de vías urbanas. Colombia: ECOE Ediciones.
8. Caterpillar Inc. (1986). La guía de su tren de rodaje. Estados Unidos: Editorial Caterpillar.
9. Centro Internacional de Agricultura Tropical. (1980). Selección y adecuación de lotes para la producción continua de arroz de riego. Colombia: CIAT.

10. De Lara, A. (2005). Medición y control de riesgos financieros. México: Editorial Limusa.
11. Del Valle, M. (2006). Conocimientos de la maquina a utilizar y descripción de normas AASHTO utilizadas por COVIAL en el mantenimiento de caminos de terracería. Escuela de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería. USAC.
12. Espeso, J., Fernández, F., Paramio, A., Fernández, B. y Espeso M. (2010). Coordinadores de seguridad y salud en el sector de la construcción. España: Lex Nova.
13. Galgano, A. (2003). Las tres revoluciones. Caza del desperdicio: doblar la productividad con la Lean production. España: Ediciones Díaz de Santos.
14. García, J. y Salazar, P. (2005). Métodos de Administración y Evaluación de Riesgos. Chile: Universidad de Chile.
15. Geraghty, T. (1996). RCM and TPM complementary rather than conflicting techniques. Estados Unidos.
16. Goel, H., Grievink, J. y Weijnen, M. (2003). Integrated optimal reliable design, production, and maintenance planning for multipurpose process plants, computers & chemical engineering. Netherlands: Delft University of Technology.
17. Gómez, A. y López, J. (2002). Riesgos financieros y operaciones internacionales. España. ESIC Editorial.
18. Gómez, F. (1998). Tecnología del mantenimiento industrial. España: Editorial EDITUM.

19. Hernández, V. (2010). Plan de mantenimiento preventivo para la maquinaria pesada en funcionamiento de la zona vial No 14, Dirección General de Caminos, Salamá, Baja Verapaz. Escuela de Ingeniería Mecánica. USAC.
20. Herrscher, E. (2013). Administración. Aprender y actuar: Management sistémico para PyMEs. Argentina: Ediciones Granica.
21. Idhammar, C. (1997). Maintenance management: moving from reactive to results-oriented. Estados Unidos: Journal review Pima's PageMaker.
22. Maldonado, V. y Sigüenza, L. (2012). Propuesta de un plan de mantenimiento para maquinaria pesada de la Empresa Minera Dynasty Mining el Cantón Portovelo. Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca. Ecuador.
23. Marks, J. (1997). Combining TPM and reliability-focused maintenance (RCM), Reliability Centered Maintenance. Estados Unidos.
24. Mora, Luis. (2009). Mantenimiento - planeación, ejecución y control. México: Alfa omega Grupo Editor.
25. Nieto, E. (2013). Mantenimiento industrial práctico. España: Fidestec Ediciones.
26. Olivares, L. (2020). Renovación de flota de equipos rodantes: Evaluación de los factores claves. Chile: Universidad del Desarrollo.
27. Ponce, P. (2009). Necesidad de actualizar el reglamento de derecho de vía y su relación con los predios que atraviesa. Escuela de Ciencias Jurídicas y Sociales. USAC.

28. Rosales, J. (2005). Rosales, J. Planteamiento de solución a la problemática de la infraestructura vial en Guatemala, la modalidad de contratación estudio, diseño y construcción Llave en mano. Escuela de Ingeniería Civil. USAC.
29. Sandoval, J. (2014). Diseñar un plan de mantenimiento de la maquinaria y equipo basándose en el sistema LEMIS en la empresa Dynamic Tools Services SAS de Neiva.
30. Sarmenteros, I. (2018). Evolución e Importancia de la Planificación en el Proceso de la Administración. Principios de Administración Continental, S.A. México.
31. Socconini, L. (2019). Lean Manufacturing: Paso a paso. Alpha Editorial. Colombia: Marge Books.
32. Solminihac, H., Echaveguren, T. y Chamorro, A. (2019). Gestión de infraestructura vial. Tercera edición. Chile: Ediciones Universidad Católica de Chile.
33. Suzuki, T. (1992). TPM en industrias de proceso. España: TOP Hoshin.
34. Torres, L. (2015). Gestión Integral de Activos Físicos y Mantenimiento. Argentina: Alpha Editorial.
35. Trashorras, J. 2002. Instalaciones electrotécnicas. Desarrollo de instalaciones electrotécnicas en los edificios.
36. Valle, E. 2012. Rutinas de mantenimiento preventivo, correctivo y predictivo a equipo médico. México: Instituto Politécnico Nacional. España: Paraninfo
37. Vargas, W. 2004. Programa de mantenimiento para la maquinaria pesada de la zona vial 11, de caminos, en el departamento de Izabal. USAC.

## ANEXOS

### Anexo 1: Modelo de investigación y proyectos dominó

F-30-07-2019-01

### *Modelo de investigación y proyectos: Dominó*

*(Derechos reservados por Doctor Fidel Reyes Lee y Universidad Rural de Guatemala)*



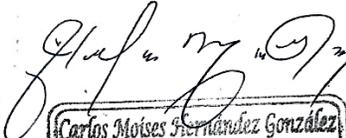
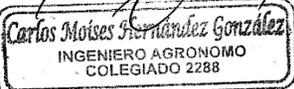
Elaborado por: Gervert Manuel Cifuentes Pimentel Para: Programa de Graduación Universidad Rural de Guatemala Fecha: 10/03/2023

Problema	Propuesta	Evaluación
1) Efecto o variable dependiente Riesgo de pérdidas económicas, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu, en los últimos cinco años.	4) Objetivo general Reducir el riesgo de pérdidas económicas, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu.	15) Indicadores, verificadores y cooperantes del objetivo general Indicadores: al quinto año de ejecutada la propuesta, se reduce el riesgo de pérdidas económicas, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu, y se soluciona el efecto en 80%. Verificadores: reportes de la Unidad Ejecutora Cooperante: Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda.
2) Problema central Inadecuados procesos de mantenimiento de maquinaria pesada de operación, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu.	5) Objetivo específico Implementar adecuados procesos de mantenimiento de maquinaria pesada de operación, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu.	16) Indicadores, verificadores y cooperantes del objetivo específico Indicadores: al quinto año de ejecutada la propuesta, se implementan adecuados procesos de mantenimiento de maquinaria pesada de operación, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu, y se soluciona el problema en 80%. Verificadores: reportes de la Unidad Ejecutora Cooperante: Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda.
3) Causa principal o variable independiente Inexistencia de plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, para maquinaria pesada de operación, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu.	6) Nombre Propuesta de plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, para maquinaria pesada de operación, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu.	
7) Hipótesis El riesgo de pérdidas económicas, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu, en los últimos cinco años, por inadecuados procesos de mantenimiento de maquinaria pesada de operación, es debido a inexistencia de plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.	12) Resultados o productos R1. Fortalecimiento de la Unidad Ejecutora R2. Propuesta de plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, para maquinaria pesada de operación, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu. R3. Programa de capacitación a personal de Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu.	

<p>8) Preguntas clave y comprobación del efecto</p> <p>a) ¿Existe riesgo de pérdidas económicas, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu? Si _____ No _____</p> <p>b) ¿ Desde hace cuántos tiempo existe riesgo de pérdidas económicas, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu? 1-3 años__ 3-5 años__ Más de 5 años__</p> <p>c) ¿Considera importante reducir el riesgo de pérdidas económicas, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu? Si _____ No _____</p> <p>Dirigidas a personal administrativo de Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu</p> <p>Boletas 07. Población censal.</p>	<p>13) Ajustes de costos y tiempo</p> <p>N/A</p>
<p>9) Preguntas clave y comprobación de la causa principal</p> <p>a) ¿Existe plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, para maquinaria pesada de operación, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu? Si ___ No ___</p> <p>b) ¿Considera necesario plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, para maquinaria pesada de operación, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu? Si No</p>	

*Carlos Moisés Hernández González*  
 Carlos Moisés Hernández González  
 INGENIERO AGRÓNOMO  
 COLEGIADO 2288

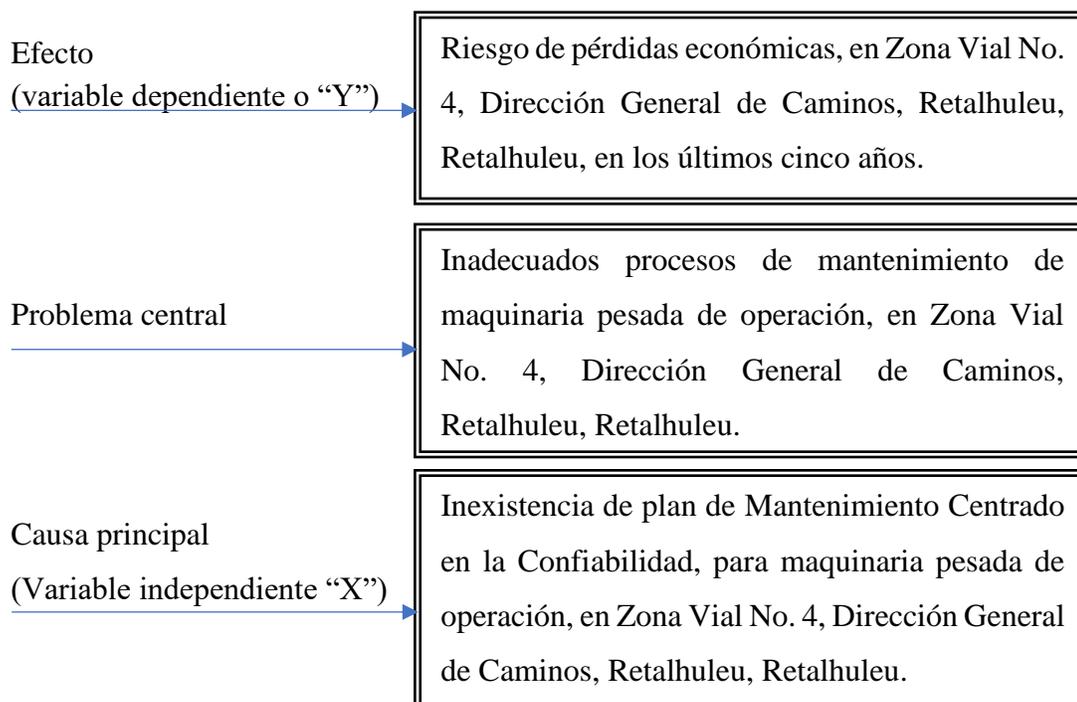
<p>c) ¿Apoyaría usted plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, para maquinaria pesada de operación, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu? Si ___ No ___</p> <p>Dirigidas a personal administrativo de Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu</p> <p>Boletas 07. Población censal.</p>	
<p>10) Temas del Marco Teórico</p> <p>a) Dirección General de Caminos</p> <p>b) Pérdidas económicas</p> <p>c) Riesgo de pérdidas económicas</p> <p>d) Maquinaria pesada de operación</p> <p>e) Procesos de mantenimiento</p> <p>f) Mantenimiento de maquinaria pesada de operación</p> <p>g) Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad</p>	<p>14) Anotaciones, aclaraciones y advertencias</p> <p>Los resultados deben tener por lo menos cuatro actividades.</p> <p>R1. Fortalecimiento de la Unidad Ejecutora A1 An</p> <p>R2. Propuesta de plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, para maquinaria pesada de operación, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu. A1 An</p>
<p>11) Justificación</p> <p>El investigador debe evidenciar con proyección estadística y matemática, el comportamiento del efecto identificado el árbol de problemas.</p>	<p>R3. Programa de capacitación a personal de Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu. A1 An</p>

## Anexo 2: Árbol de problemas, hipótesis y árbol de objetivos

### 2.I. Árbol de problemas e hipótesis

De acuerdo con la investigación realizada en la Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, y con la aplicación del Método Científico y del Marco Lógico fue posible identificar el siguiente problema central, así como la causa y efecto general:



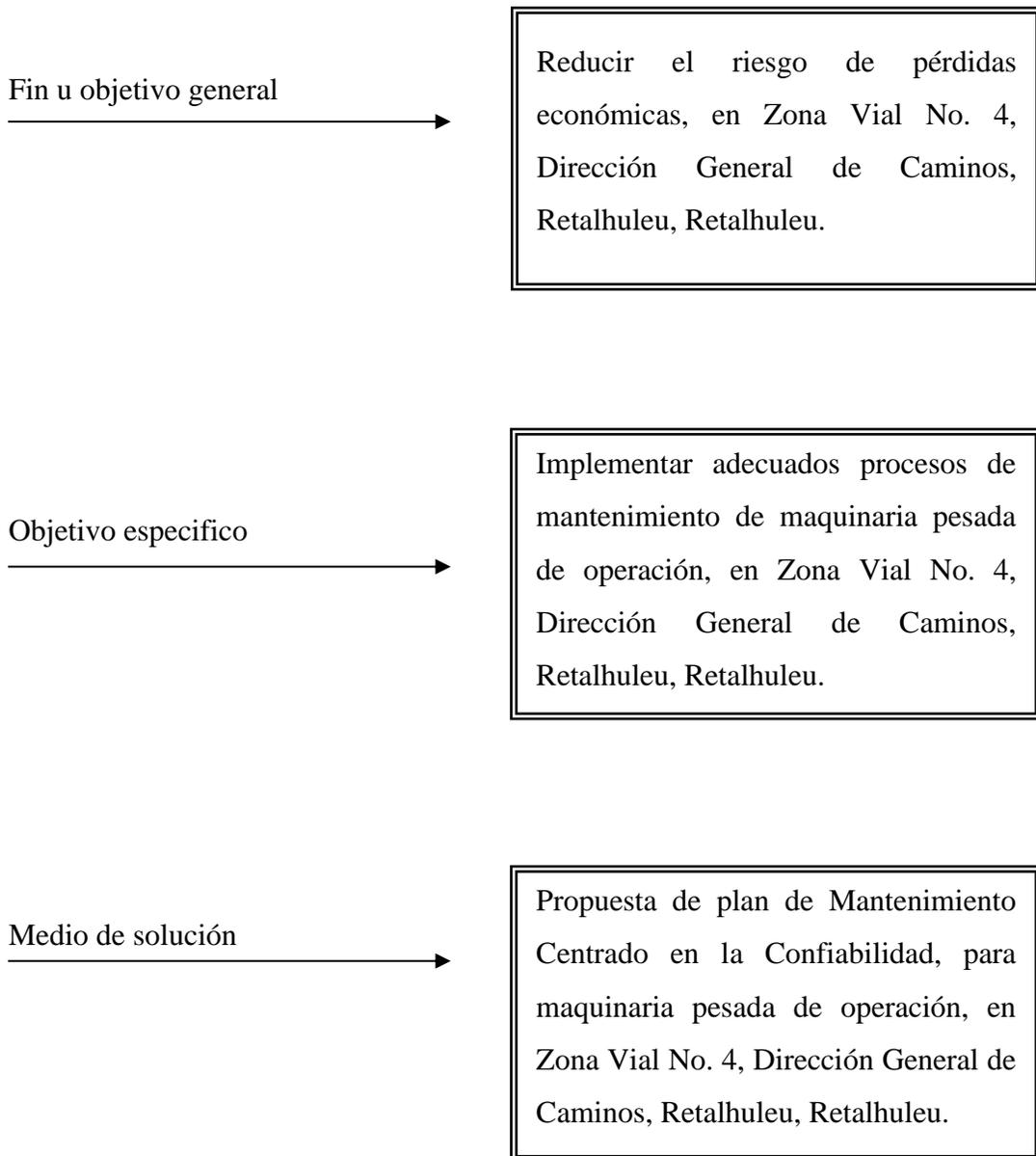
#### Hipótesis:

“El riesgo de pérdidas económicas, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu, en los últimos cinco años, por inadecuados procesos de mantenimiento de maquinaria pesada de operación, es debido a inexistencia de plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad”.

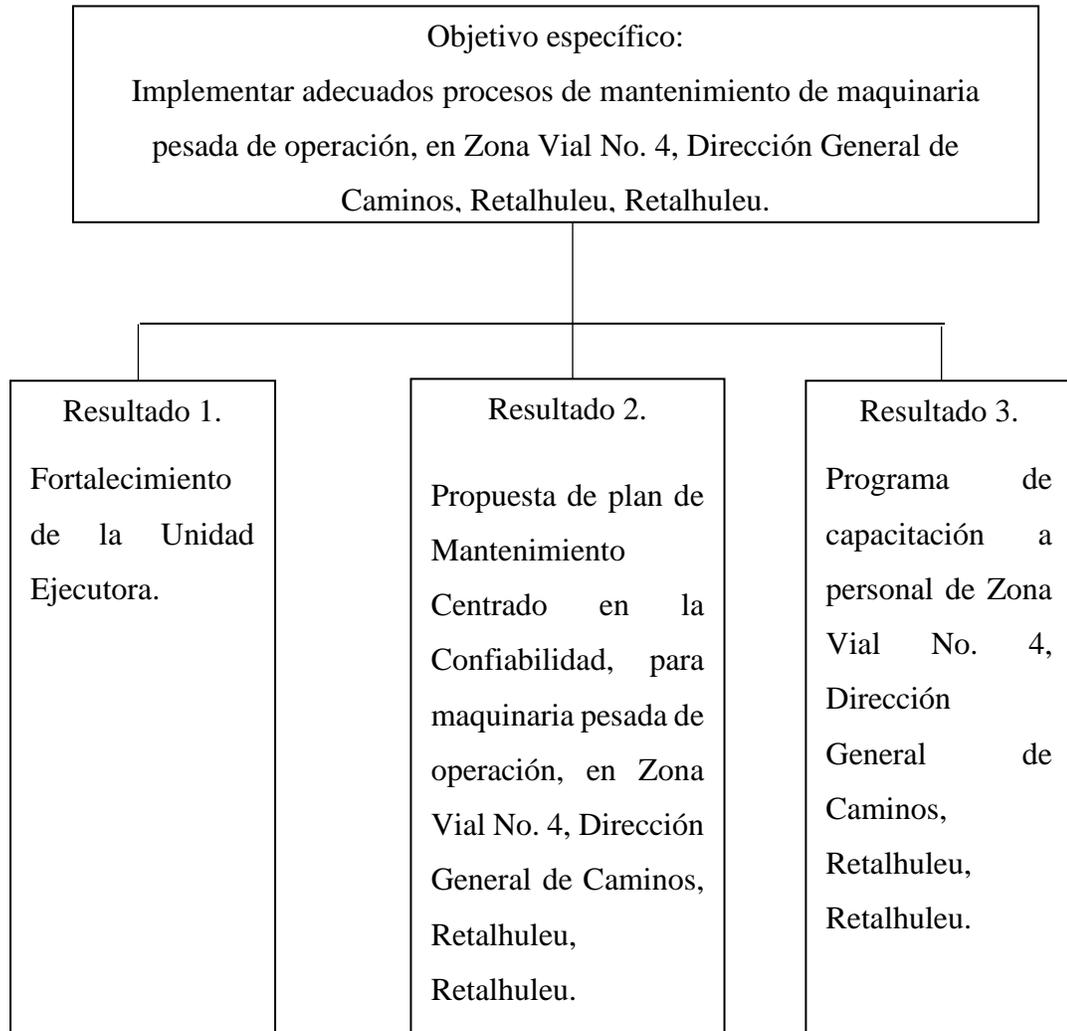
¿Será la inexistencia de plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, por inadecuados procesos de mantenimiento de maquinaria pesada de operación, la causante del riesgo de pérdidas económicas, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu, en los últimos cinco años?

## 2.2. Árbol de objetivos

De acuerdo con la problemática, causa y efecto planteados en el árbol de problemas, fue posible la determinación y diagramación de los objetivos del trabajo de graduación.



Anexo 3. Diagrama del medio de solución de la problemática



Anexo 4. Boleta de investigación para comprobación del efecto general

Universidad Rural de Guatemala

Boleta de Investigación

Variable Dependiente

Objetivo: Esta boleta tiene por objeto comprobar la variable dependiente: Riesgo de pérdidas económicas, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu, en los últimos cinco años.

Esta boleta está dirigida a personal administrativo de Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, mediante un censo.

Instrucciones: A continuación, se les presentan varias preguntas a los que les deben responder y marcar con una “x” la respuesta que considere correcta.

1. ¿Existe riesgo de pérdidas económicas, en Zona Vial No 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu?

SI\_\_\_\_\_ NO\_\_\_\_\_

2. ¿Desde hace cuánto tiempo existe riesgo de pérdidas económicas, en Zona Vial No 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu?

1-3 años\_\_\_\_\_ 3-5 años\_\_\_\_\_ Más de 5 años\_\_\_\_\_

3. ¿Considera importante reducir el riesgo de pérdidas económicas, en Zona Vial No 4 en Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu?

SI\_\_\_\_\_ NO\_\_\_\_\_

Anexo 5. Boleta de investigación para la comprobación de la causa principal

Universidad Rural de Guatemala

Programa de Graduación

Boleta de investigación

Objetivo: Esta boleta tiene por objeto comprobar la variable independiente: Inexistencia de plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, para maquinaria pesada de operación, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu.

Esta boleta está dirigida a personal administrativo de Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, mediante un censo.

Instrucciones: A continuación, se les presentan varias preguntas a los que les deben responder y marcar con una “x” la respuesta que considere correcta.

1. ¿Existe un plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, para maquinaria pesada de operación, en Zona Vial No 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu?

SI \_\_\_\_\_ NO \_\_\_\_\_

2. ¿Considera necesario un plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, para maquinaria pesada de operación, en Zona Vial No 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu?

SI \_\_\_\_\_ NO \_\_\_\_\_

3. ¿Apoyaría usted el plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, para maquinaria pesada de operación, en Zona Vial No 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu?

SI \_\_\_\_\_ NO \_\_\_\_\_

Observaciones: \_\_\_\_\_

Lugar y fecha: \_\_\_\_\_

## Anexo 6. Anexo metodológico comentado sobre el cálculo de muestra

No se calculó la muestra, porque la población es menor de 35 elementos.

Para el efecto o variable dependiente: Riesgo de pérdidas económicas, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu, en los últimos cinco años, se tomó a 7 personas (Personal administrativo), mediante censo.

Para la causa o la variable independiente: Inexistencia de plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, para maquinaria pesada de operación, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu, se tomó a 7 personas del área administrativa, igual mediante censo, debido a que ambas poblaciones son menores a 35 elementos.

## Anexo 7. Anexo metodológico comentado sobre el cálculo de coeficiente de correlación

Este coeficiente es un indicador estadístico que nos indica el grado de correlación de dos variables; es decir el comportamiento gráfico de las mismas, para trazar la ruta para proyectar dichas variables. En este caso el coeficiente de correlación es igual a 0.99, lo que indica que el comportamiento de estas variables obedece a la ecuación de la línea recta; cuya fórmula simplificada es la siguiente:  $y=a+bx$ .

Es importante destacar que para que se considere el comportamiento lineal de dos variables, el coeficiente de correlación debe oscilar de  $\geq \pm 0.80$  y  $\leq \pm 1$ . A continuación, se presenta los cálculos y fórmulas utilizadas para obtener dicho coeficiente. A continuación, se presentan los cálculos y fórmula utilizada para obtener dicho coeficiente.

### Cálculo del coeficiente de correlación

Requisito: Coeficiente de correlación: entre  $\geq \pm 0.8$  a  $\leq \pm 1$

#### Historial de Riesgo de pérdidas económicas en los últimos cinco años

Año	X (años)	Y (Efecto) Riesgo de pérdidas económicas Q.	XY	X <sup>2</sup>	Y <sup>2</sup>
2018	1	395,547	395,547	1	156,457,714,003
2019	2	665,585	1,331,169	4	443,002,726,640
2020	3	878,572	2,635,715	9	771,887,950,898
2021	4	1,274,119	5,096,476	16	1,623,378,971,337
2022	5	1,384,416	6,922,079	25	1,916,606,968,848
Totales	15	4,598,238	16,380,985	55	4,911,334,331,726

### Cálculo de correlación

n=	5
$\sum X=$	15
$\sum XY=$	16,380,985.33
$\sum X^2=$	55
$\sum Y^2=$	4,911,334,331,726
$\sum Y=$	4,598,238.05
$n\sum XY=$	81,904,926.65
$\sum X*\sum Y=$	68,973,570.75
Numerador=	12,931,355.90
$n\sum X^2=$	275
$(\sum X)^2=$	225
$n\sum Y^2=$	24,556,671,658,632
$(\sum Y)^2=$	21,143,793,164,468
$n\sum X^2-(\sum X)^2=$	50
$n\sum Y^2-(\sum Y)^2=$	3,412,878,494,164.52
$(n\sum X^2-(\sum X)^2)*(n\sum Y^2-(\sum Y)^2)=$	170,643,924,708,226
Denominador=	13,063,074.8566
r=	0.99

FÓRMULA:

$$r = \frac{n\sum XY - \sum X * \sum Y}{\sqrt{(n\sum X^2 - (\sum X)^2) * (n\sum Y^2 - (\sum Y)^2)}}$$

### Análisis:

Al realizar el cálculo matemático estadístico se determinó un coeficiente de correlación equivalente a 0.99, este dato es estadísticamente aceptable por lo que se puede a realizar una proyección de la línea recta.

#### Anexo 8. Anexo metodológico de la proyección

Para proyectar el impacto que genera la problemática estudiada, se procedió a utilizar la proyección lineal del fenómeno estudiado.

Previo a ello se procedió determinar el comportamiento de la variable tiempo respecto a casos sujetos de estudio en el tiempo conforme a una serie histórica dada, la que se encuentra dentro de los parámetros aceptables para considerarse como un comportamiento lineal, que se resumen con la siguiente ecuación  $y=a+bx$ .

Es importante destacar que para que se considere el comportamiento lineal de dos variables el coeficiente de correlación debe oscilar de  $\geq \pm 0.80$  y  $\leq \pm 1$ ; cuyo cálculo es parte integrante de este documento.

A continuación, se presenta los cálculos y tabla de análisis de varianza para proyectar los datos correspondientes.

Proyección lineal  $Y= a+ bx$

Año	X (años)	Y (Efecto) Riesgo de pérdidas económicas	XY	X <sup>2</sup>	Y <sup>2</sup>
2018	1	395,547	395,547	1	156,457,714,003
2019	2	665,585	1,331,169	4	443,002,726,640
2020	3	878,572	2,635,715	9	771,887,950,898
2021	4	1,274,119	5,096,476	16	1,623,378,971,337
2022	5	1,384,416	6,922,079	25	1,916,606,968,848
Totales	15	4,598,238	16,380,985	55	4,911,334,331,726

A continuación, se presenta el cálculo de proyección para los próximos cinco años, sin la implementación del presente proyecto.

Cálculo de proyección sin proyecto

n=	5
$\sum X=$	15
$\sum XY=$	16,380,985.33
$\sum X^2=$	55
$\sum Y^2=$	4,911,334,331,726
$\sum Y=$	4,598,238.05
$n\sum XY=$	81,904,926.65
$\sum X*\sum Y=$	68,973,570.75
Numerador de b:	12,931,355.90
Denominador de b:	
$n\sum X^2=$	275
$(\sum X)^2=$	225
$n\sum X^2 - (\sum X)^2 =$	50
b=	258,627.12
Numerador de a:	
$\sum Y=$	4,598,238.05
$b * \sum X =$	3,879,406.77
Numerador de a:	718,831.28
a=,	143,766.26

FÓRMULAS:

$$b = \frac{n\sum XY - \sum X * \sum Y}{n\sum X^2 - (\sum X)^2}$$

FÓRMULAS:

$$a = \frac{\sum y - b\sum x}{n}$$

Teniendo los valores para a y b, se inicia hacer los cálculos matemáticos para encontrar el valor de X (próximos cinco años). En la siguiente página se desarrollan dichos cálculos sin la implementación de la propuesta, para los cuales se hace uso de la ecuación de la recta  $Y = a + bx$ .

Ecuación de la recta  $Y = a + bx$

Ecuación de la recta $Y = a + (b * X)$			
Y=	a	+	(b * X)
Y=	143,766.26	+	258,627.12 X
Y=	143,766.26	+	258,627.12 6
Y (2023) =	1,695,528.96	Pérdidas económicas (riesgo)	

Ecuación de la recta $Y = a + (b * X)$			
Y=	a	+	(b * X)
Y=	143,766.26	+	258,627.12 X
Y=	143,766.26	+	258,627.12 7
Y (2024) =	1,954,156.08	Pérdidas económicas (riesgo)	

Ecuación de la recta $Y = a + (b * X)$			
Y=	a	+	(b * X)
Y=	143,766.26	+	258,627.12 X
Y=	143,766.26	+	258,627.12 8
Y (2025) =	2,212,783.20	Pérdidas económicas (riesgo)	

Ecuación de la recta $Y = a + (b * X)$			
Y=	a	+	(b * X)
Y=	143,766.26	+	258,627.12 X
Y=	143,766.26	+	258,627.12 9
Y (2026) =	2,471,410.32	Pérdidas económicas (riesgo)	

Ecuación de la recta $Y = a + (b * X)$			
Y=	a	+	(b * X)
Y=	143,766.26	+	258,627.12 X
Y=	143,766.26	+	258,627.12 10
Y (2027) =	2,730,037.44	Pérdidas económicas (riesgo)	

Resumen de cálculo de proyección sin proyecto para los próximos cinco años

Y=	a	+	b	x	=	Riesgo de pérdidas económicas (Q.)
2023	143,766.26	+	258,627.12	6	=	1,695,528.96
2024	143,766.26	+	258,627.12	7	=	1,954,156.08
2025	143,766.26	+	258,627.12	8	=	2,212,783.20
2026	143,766.26	+	258,627.12	9	=	2,471,410.32
2027	143,766.26	+	258,627.12	10	=	2,730,037.40

Cálculo de la proyección con proyecto

Datos de la proyección del riesgo de pérdidas financieras para los próximos 5 años.

Proyección del riesgo de pérdidas económicas (en quetzales)

Año proyectado	=	Año anterior	-	%	Con propuesta
Y (2023)	=	Y (2022)	-	16%	=
Y (2023)	=	1,384,415.75	-	221,506.52	1,162,909.23
Y (2023)	=	1,162,909.23	Pérdidas económicas (riesgo)		

Año proyectado	=	Año anterior	-	%	Con propuesta
Y (2024)	=	Y (2023)	-	16%	=
Y (2024)	=	1,162,909.23	-	186,065.48	976,843.75
Y (2024)	=	976,843.75	Pérdidas económicas (riesgo)		

Año proyectado	=	Año anterior	-	%	Con propuesta
Y (2025)	=	Y (2024)	-	16%	=
Y (2025)	=	976,843.75	-	156,295.00	820,548.75
Y (2025)	=	820,548.75	Pérdidas económicas (riesgo)		

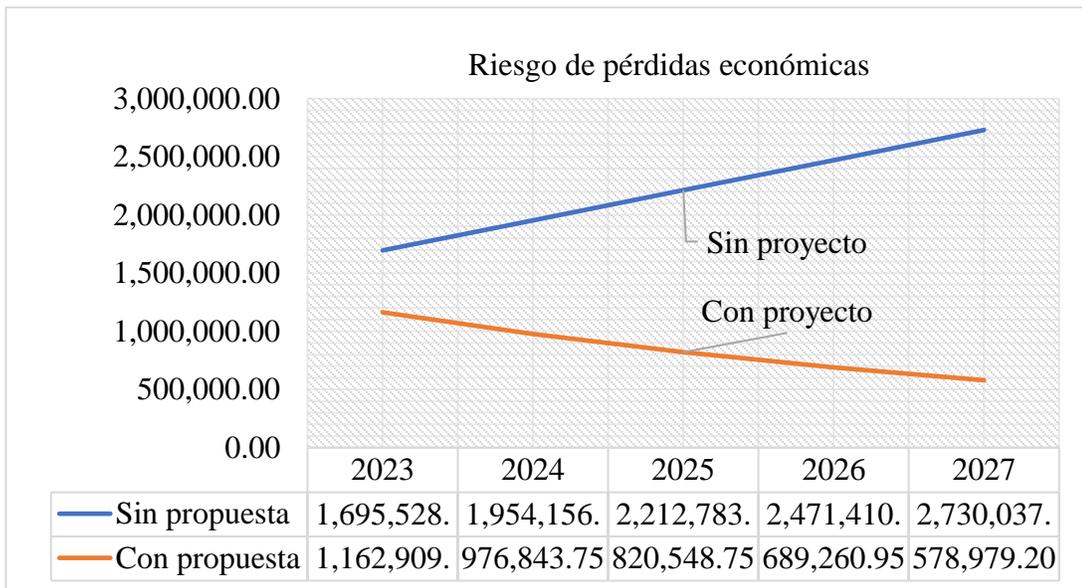
Año proyectado	=	Año anterior	-	%	Con propuesta
Y (2026)	=	Y (2025)	-	16%	=
Y (2026)	=	820,548.75	-	131,287.80	689,260.95
Y (2026)	=	689,260.95	Pérdidas económicas (riesgo)		

Año proyectado	=	Año anterior	-	%	Con propuesta
Y (2027)	=	Y (2026)	-	16%	=
Y (2027)	=	689,260.95	-	110,281.75	578,979.20
Y (2027)	=	578,979.20	Pérdidas económicas (riesgo)		

Cuadro comparativo sin y con proyecto

Año	Proyección sin proyecto	Proyección con proyecto
2023	1,695,528.96	1,162,909.23
2024	1,954,156.08	976,843.75
2025	2,212,783.20	820,548.75
2026	2,471,410.32	689,260.95
2027	2,730,037.44	578,979.20

Análisis comparativo con y sin proyecto



Análisis: Como se puede notar en la información anterior, la problemática crece a medida que transcurre el tiempo; de no ejecutarse la presente propuesta, la situación del efecto identificado seguirá en incremento, por lo que se hace evidente la necesidad de la implementación la propuesta de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.

Gervert Manuel Cifuentes Pimentel

TOMO II

PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA  
CONFIABILIDAD, PARA MAQUINARIA PESADA DE OPERACIÓN, EN  
ZONA VIAL NO. 4, DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS, RETALHULEU,  
RETALHULEU



Asesor General Metodológico

Ing. Agr. Carlos Moisés Hernández González

Universidad Rural de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Guatemala, octubre de 2023

Informe final de graduación

PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA  
CONFIABILIDAD, PARA MAQUINARIA PESADA DE OPERACIÓN, EN  
ZONA VIAL NO. 4, DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS, RETALHULEU,  
RETALHULEU



Presentado al honorable tribunal examinador por:

Gervert Manuel Cifuentes Pimentel

En el acto de investidura previo a su graduación de Licenciatura en Ingeniería  
Industrial con énfasis en Recursos Naturales Renovables

Universidad Rural de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Guatemala, octubre de 2023

Informe final de graduación

PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA  
CONFIABILIDAD, PARA MAQUINARIA PESADA DE OPERACIÓN, EN  
ZONA VIAL NO. 4, DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS, RETALHULEU,  
RETALHULEU



Rector de la universidad:

Doctor Fidel Reyes Lee

Secretario de la Universidad:

Licenciado Mario Santiago Linares García

Decano de la Facultad de Ingeniería

Ingeniero Luis Adolfo Martínez Díaz

Universidad Rural de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Guatemala, octubre de 2023

Esta tesis fue presentada por el autor, previo a obtener el título Universitario de Licenciatura en Ingeniería Industrial con Énfasis en Recursos Naturales Renovables.

## Prólogo

Esta investigación es un requisito previo a optar al título universitario de Licenciatura en Ingeniería Industrial con Énfasis en Recursos Naturales Renovables, de conformidad con los estatutos establecidos por Universidad Rural de Guatemala.

Las razones prácticas de la investigación son: aplicar todos los conocimientos adquiridos durante la carrera, servir como fuente de consulta para estudiantes de Universidad Rural de Guatemala y otras universidades, y que los conocimientos adquiridos de la investigación se puedan aplicar en otras empresas que tengan la misma problemática.

El estudio: Propuesta de plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, para maquinaria pesada de operación, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu, se llevó a cabo para proponer las posibles soluciones a la problemática que posee la entidad en la ejecución de rutas y el desempeño de mantenimiento de carreteras.

Los resultados del presente estudio pueden aplicarse en otras empresas que tengan la misma problemática. También puede utilizarse como consulta académica de estudiantes de las distintas universidades del país, además permite que los estudiantes apliquen los conocimientos adquiridos durante el proceso de su carrera profesional.

Con el fin de dar solución, la problemática, se presenta como aporte a dicha solución, tres resultados; Fortalecimiento de la Unidad Ejecutora, Propuesta de plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, para maquinaria pesada de operación, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu y programa de capacitación a personal de Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu. Esto permitirá reducir el riesgo de pérdidas económicas.

## Presentación

El estudio denominado Propuesta de plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, para maquinaria pesada de operación, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu, fue realizado durante los meses de febrero a septiembre del año dos mil veintidós, como requisito previo a obtener el Título Universitario de Licenciatura en Ingeniería Industrial con Énfasis en Recursos Naturales Renovables, según los estatutos establecidos por Universidad Rural de Guatemala.

El fin primordial u objetivo de la investigación es reducir el riesgo de pérdidas económicas, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu.

A esto se añade la documentación ya existente de dicha problemática, la cual refuerza la importancia y necesidad de realizar un plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, para maquinaria pesada de operación, en Zona Vial No. 4. Se determinó que el problema central son los inadecuados procesos de mantenimiento de maquinaria pesada de operación, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu.

En la investigación surgió una propuesta para solucionar el problema, formada por los tres resultados siguientes: a) Fortalecimiento de la Unidad Ejecutora. b) Propuesta de plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, para maquinaria pesada de operación, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu. c) Programa de capacitación a personal de Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu.

Los resultados descritos, conjuntamente con sus actividades respectivas, conforman la presente propuesta.

## ÍNDICE

No.	Contenido	Pagina
I	RESUMEN.....	01
II	CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIÓN.....	10
	Anexos	

## I. RESUMEN

El presente trabajo de investigación: Propuesta de plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, para maquinaria pesada de operación, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu es una propuesta de solución a la problemática de riesgo de pérdidas económicas en la institución.

La investigación realizada permite describir de la siguiente manera que la problemática encontrada en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos se origina y está formada por el efecto o variable dependiente, el problema central y la causa principal o variable independiente.

El problema encontrado es inadecuados procesos de mantenimiento de maquinaria pesada de operación, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu. El efecto es riesgo de pérdidas económicas y la causa principal es la inexistencia de plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, para maquinaria pesada de operación, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu.

### Planteamiento del problema

La hipótesis es la siguiente: El riesgo de pérdidas económicas, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu, en los últimos cinco años, por inadecuados procesos de mantenimiento de maquinaria pesada de operación, es debido a inexistencia de plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.

El objetivo general es reducir el riesgo de pérdidas económicas, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, las cuales perjudican el buen desempeño de la planificación anual establecida por la institución. Para el año 2022, si no se aplica la propuesta continuará el riesgo de pérdidas económicas en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu. Por contrario, si se aplica la presente, se reducirá dicho riesgo.

Por lo anterior, se crea la propuesta integrada por: Fortalecimiento de la Unidad Ejecutora. Propuesta de plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, para maquinaria pesada de operación, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu. Programa de capacitación a personal de Zona Vial No. 4.

#### Hipótesis

A través del Marco Lógico, se elaboró la Variable Dependiente: Riesgo de pérdidas económicas, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu, en los últimos cinco años y la Variable Independiente: Inexistencia de plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, para maquinaria pesada de operación, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu.

Con estas variables se elaboró la siguiente hipótesis: El riesgo de pérdidas económicas, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu, en los últimos cinco años, por inadecuados procesos de mantenimiento de maquinaria pesada de operación, es debido a inexistencia de plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.

¿Será la inexistencia de plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad por inadecuados procesos de mantenimiento de maquinaria pesada de operación, la causante del riesgo de pérdidas económicas, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu, en los últimos cinco años?

#### Objetivos

Con la finalidad de dar solución a la problemática se trazaron los siguientes objetivos:

##### Objetivo general

Reducir el riesgo de pérdidas económicas, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu.

### Objetivo específico

Implementar adecuados procesos de mantenimiento de maquinaria pesada de operación, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu.

### Justificación

Durante el desarrollo del presente trabajo de investigación, se refleja la imperiosa necesidad de implementar medidas ante la gravedad de la problemática inadecuados procesos de mantenimiento de maquinaria pesada de operación, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu, cuyo efecto generado es el riesgo de pérdidas económicas.

La presente investigación se basó en fuentes de información que ofrecen datos verídicos y serios; además de otras fuentes constituyentes, el trabajo de campo que se desarrolló con las personas que se encuentran dentro de la institución y en la documentación existente sobre el tema.

Como aproximación y solución del problema expuesto, se hace necesario realizar una Propuesta de plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, para maquinaria pesada de operación, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu.

Los métodos y estrategias para implementar la Propuesta de plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, de acuerdo a la investigación se determinó que en la institución no se ejecuta ningún tipo de plan para evitar fallas inesperadas en la maquinaria y reducir el riesgo de pérdidas económicas en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu. En virtud, a lo antes indicado y para solucionar la problemática se sugiere la presente propuesta.

Si se aplica la presente propuesta, para los próximos años, se reducirá el riesgo de pérdidas económicas. Caso contrario, al no aplicarse continuará el riesgo de pérdidas económicas en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu. De esta manera se justifica la implementación de la presente, se reduce el riesgo de pérdidas económicas y si no se aplica se incrementará las mismas.

### Metodología

Para comprobar la hipótesis de estudio El riesgo de pérdidas económicas, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu, en los últimos cinco años, por inadecuados procesos de mantenimiento de maquinaria pesada de operación, es debido a inexistencia de plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, se realizó la siguiente metodología, integrada por métodos y técnicas, los cuales son descritos en los siguientes párrafos:

### Métodos

Se dividen en los utilizados para la formulación de la hipótesis y para la comprobación de la hipótesis. La metodología utilizada para la elaboración de la hipótesis y su comprobación se compone de métodos y técnicas.

### Métodos utilizados en la formulación de la hipótesis

Los métodos utilizados en la formulación de la hipótesis fueron: El Método Deductivo y el Método del Marco Lógico.

### Método deductivo

Este se utilizó para identificar la problemática, la cual inicia con la observación de fenómenos naturales y de esta manera poder definir la investigación planteada, por lo que fue necesario visitar la Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu. Por medio de la deducción se llegó a conclusiones generadas de la investigación.

### Método del marco lógico o la Estructura lógica

Es una herramienta que facilita el proceso de conceptualización, diseño, ejecución y evaluación de proyectos. Su énfasis está centrado en la orientación por objetivos, la orientación hacia grupos beneficiarios y el facilitar la participación y la comunicación entre las partes interesadas.

El Método del Marco Lógico o la Estructura Lógica, sirvió para la estructura y elaboración de los árboles de problemas y objetivos, para establecer los resultados deseados y esperados dentro de la investigación, así mismo para fijar y establecer los insumos y tiempos por cada resultado. También para comprobar la hipótesis.

### Métodos utilizados para la comprobación de la hipótesis

Los métodos utilizados para la comprobación de la hipótesis fueron los siguientes: Inductivo, de Síntesis y Estadístico.

### Método inductivo

Se estudian los fenómenos particulares, que darán soluciones generales. Con este método se obtuvieron los resultados de la problemática, se utilizó para realizar encuestas y diseñar conclusiones, de esta forma poder llegar a la hipótesis planteada.

### Método de síntesis

Una vez interpretada la información, se utilizó la síntesis para obtener conclusiones y recomendaciones del presente trabajo de investigación; la que sirvió para hacer congruente la totalidad de la investigación.

### Método estadístico

Con este método, se tabularon los resultados de la encuesta, en los cuadros y gráficas, para comprobar la variable dependiente “Y” y la variable independiente “X”, que son la causa y el efecto.

## Técnicas

Las técnicas empleadas en la formulación y comprobación de la hipótesis fueron las siguientes:

### Técnicas de investigación para la formulación de hipótesis

Las técnicas que se utilizaron para la formulación de la hipótesis son las herramientas que se detallan a continuación:

#### Lluvia de ideas

Se utilizó esta técnica para recopilar ideas de la problemática de todos los colaboradores de la zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu. Todas las ideas emanadas fueron tomadas en cuenta, posteriormente se seleccionaron las mejores.

#### Observación directa

Por medio de esta investigación se observa el problema directo que se encontraba en la entidad y se recolectó dicha información, por lo que fue necesario realizar visitas de campo a la institución.

#### Investigación documental

Se utilizó, con el objetivo de no duplicar documentos, además para obtener aportes y puntos de vista de otros investigadores sobre la problemática. Fue necesario acudir a textos confiables de primera, posteriormente fue necesario sintetizar toda la información.

#### Modelo dominó

Técnica importante creada por el Dr. Fidel Reyes Lee y la Universidad Rural de Guatemala, que ayudó al análisis macro y micro de la investigación, sirvió como guía durante toda la elaboración del proyecto de tesis.

Técnicas empleadas para la comprobación de la hipótesis

Para la comprobación de la hipótesis se aplicaron las siguientes herramientas:

#### Cuestionario

Se elaboraron dos cuestionarios con preguntas cerradas dicotómicas, el primero para investigar el efecto (variable dependiente “Y”) y el segundo para investigar la causa principal del problema (variable independiente “X”), y se distribuyó el mismo a la muestra representativa.

#### Análisis

Esta técnica se aplicó al interpretar los datos obtenidos del trabajo de campo realizado, los cuales fueron tabulados en valores absolutos y relativos, obtenidos después de aplicar las boletas de investigación, “Y” y “X”, que tuvieron como objetivo la comprobación de la hipótesis

#### Coefficiente de correlación

Empleado como medida para conocer el grado de asociación lineal entre las variables cuantitativas (X, Y). Se tomó como base el riesgo de pérdidas económicas, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu, en los últimos cinco años (2018 a 2022), el resultado del cálculo del coeficiente de correlación fue de 0.99, el cual está dentro de los parámetros de aceptación establecidos  $r = (\geq \pm 0.8 \leq \pm 1)$ .

#### Ecuación lineal de la recta

Por medio de esta técnica, se confirmó el comportamiento lineal del efecto generado entre los años 2018 al 2022, donde se hace evidente el riesgo de pérdidas económicas existente; posteriormente se consiguió proyectar el efecto para los siguientes cinco años (2023 a 2027), para describir el comportamiento futuro del efecto con y sin el presente proyecto.

## Censo

Para la comprobación de la variable dependiente “Y” o efecto, se empleó censo a 7 personas del área administrativa de Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu, para tener una certeza del 100% de información obtenida de la población objeto de estudio, dado que los elementos eran limitados.

Para la comprobación de la variable independiente “X” o causa, también se empleó censo a 7 personas del área administrativa de Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu, para tener una certeza del 100% de información obtenida de la población objeto de estudio, dado que los elementos eran menores a 35 elementos.

## Comprobación de la hipótesis

Este acápite contiene todos los datos obtenidos del trabajo de campo realizado a la población objeto de estudio (7 personas del área administrativa de Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu) por medio de dos cuestionarios, para comprobar las variables X y Y (Causa y efecto respectivamente), los registros obtenidos fueron tabulados en cuadros y representados gráficamente con su referente análisis. Posteriormente se realizaron las conclusiones finales del estudio con sus respectivas recomendaciones.

## Anexos

El estudio contiene ocho anexos, los cuales son: modelo de investigación y proyectos dominó, árbol de problemas, hipótesis, árbol de objetivos, diagrama del medio de solución de la problemática, boleta de investigación para la comprobación del efecto general, boleta de investigación para la comprobación de la causa principal, anexo metodológico comentado sobre el cálculo de la muestra, anexo metodológico comentado sobre el cálculo del coeficiente de correlación y anexo metodológico de la proyección.

Anexos 1: Propuesta para solucionar la problemática

La presente propuesta está integrada por tres resultados y sus respectivas actividades:

Resultado 1: Fortalecimiento de la Unidad Ejecutora

Actividad 1: Espacio físico

Actividad 2: Reclutamiento, selección y contratación de personal

Actividad 3: Adquisición de equipo

Actividad 4: Gestión de financiamiento

Resultado 2: Propuesta de plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, para maquinaria pesada de operación, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu.

Actividad 1. Maquinaria pesada de operación existente

Actividad 2. Tareas de mantenimiento

Actividad 3. Mantenimiento basado en RCM para maquinaria pesada

Actividad 4. Verificar tabla de lubricantes

Resultado 3: Programa de capacitación a personal de Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu.

Actividad 1: Taller de tipos de mantenimiento

Actividad 2: Taller de mantenimiento basado en RCM

Actividad 3: Taller de maquinaria pesada

Actividad 4: Taller de buenas prácticas de operación de maquinaria

Actividad 5: Taller de tipos de aceites y lubricantes

Actividad 6: Taller de seguridad industrial

Otros anexos: Anexo 2: Matriz de la estructura lógica. Anexo 3: Perfil del Ingeniero Industrial.

## II. CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIÓN

### Conclusión

Se comprueba la hipótesis: El riesgo de pérdidas económicas, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu, en los últimos cinco años, por inadecuados procesos de mantenimiento de maquinaria pesada de operación, es debido a inexistencia de plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, con un nivel de confianza de 100% y un grado de error del 0% en el muestreo.

### Recomendación

Implementar la propuesta: Propuesta de plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, para maquinaria pesada de operación, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu.

## ANEXOS

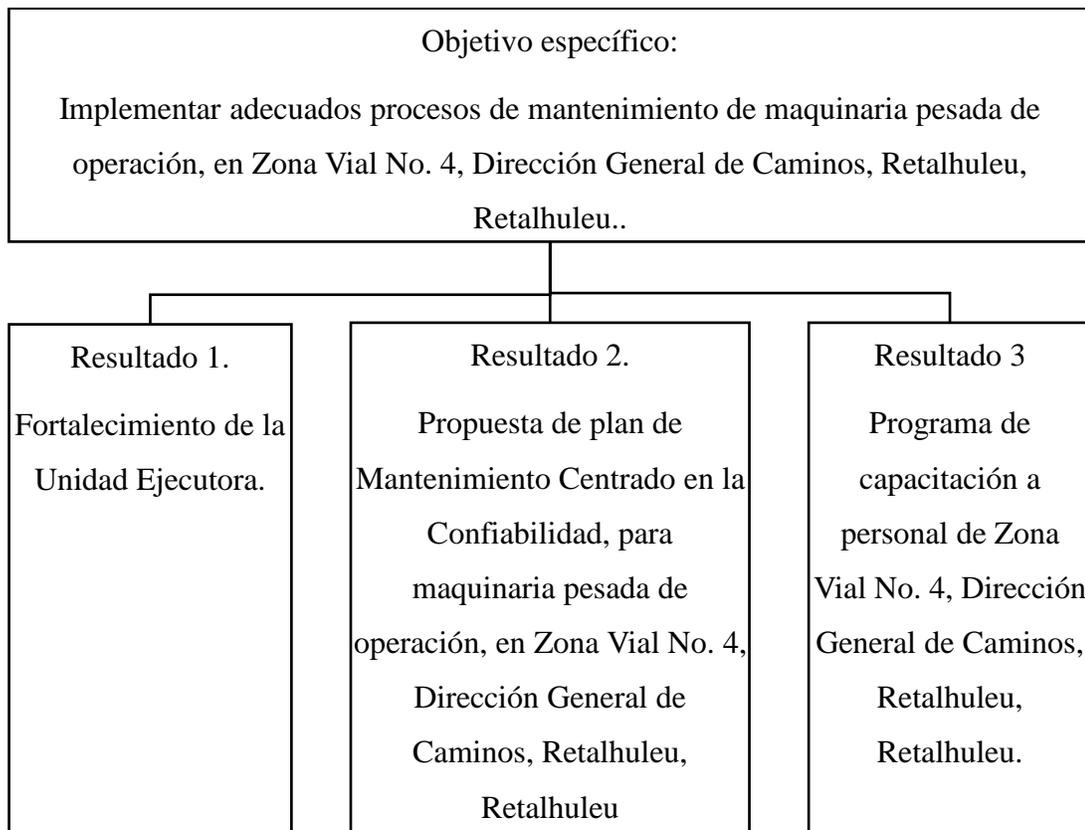
### Anexo No 1. Propuesta para solucionar la problemática

#### 1. Introducción

Se exhibe el presente trabajo de investigación denominado Propuesta de plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, para maquinaria pesada de operación, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu realizada durante los meses de febrero a septiembre del año dos mil veintidós.

#### Diagrama del medio de solución de la problemática

La propuesta fue diseñada de tal forma que permita cumplir con los objetivos planteados al inicio de la misma



### 1.1. Descripción de resultados

La propuesta pretende que la Dirección General de caminos, Retalhuleu, Retalhuleu, cuente con un plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad para maquinaria pesada de operación, la misma está integrada por los tres resultados siguientes:

#### Resultado 1. Fortalecimiento de la Unidad Ejecutora

La unidad Ejecutora es la Dirección General de Caminos; entidad que está encargada de implementar todos los componentes, materiales, fuerza laboral y recursos necesarios para ejecutar la propuesta planteada.

#### Actividad 1: Espacio físico

El lugar de trabajo deberá ser una oficina anexa al departamento de Talleres Mecánicos, con un área de 2mts.x 3mts. (6m<sup>2</sup>) con iluminación y servicio de internet.

#### Actividad 2: Reclutamiento, selección y contratación de personal

Se necesita un Ingeniero Industrial, quien será el encargado de llevar a cabo el plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad para maquinaria pesada de operación. El perfil del profesional requerido se describe en el anexo 3. Seleccionado el candidato, es contratado cumpliendo con la legislación laboral correspondiente.

#### Actividad 3: Adquisición de equipo

El equipo requerido para la correcta ejecución de las actividades del nuevo integrante del equipo es: una laptop, impresora multifuncional, un escritorio ejecutivo con su respectiva silla, un archivo físico y un celular.

#### Actividad 4: Gestión de Financiamiento

La Dirección General de Caminos se encargará de proveer todos los recursos necesarios para implementar la presente propuesta, así mismo, es la responsable del monitoreo constante de la propuesta.

Resultado 2. Propuesta de plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, para maquinaria pesada de operación, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu.

Actividad 1: Maquinaria pesada de operación existente

Antes de elaborar el plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), es muy importante tener un listado de toda la maquinaria a la cual se le hará el mantenimiento, la contabilización es un factor clave que ayudará a tener el monitoreo de los equipos.

Tabla de Maquinaria existente en Zona Vial No. 4

No. DGC	Tipo de maquinaria	Unidades disponibles
210-410, 210-414, 210-416 y 210-417	Camión de Volteo	04
310-140 y 310-144	Cargador Frontal	02
320-66 y 320-68	Motoniveladora	02
450-47	Vibrocompactadora	01
451-10	Tractor topador	01

Actividad 2: Tareas de Mantenimiento

Teniendo el conteo de la maquinaria existente se deben identificar con códigos únicos cada actividad requerida para llevar un control exclusivo de cada tarea de mantenimiento ejecutado a cada unidad o equipo disponible, ver tabla siguiente:

Tabla de Tareas de Mantenimiento

Código	Tipo
A	Limpieza
B	Inspección

C	Lubricación
D	Puesta a punto
E	Sustitución
F	Reparación

### Actividad 3: Mantenimiento basado en RCM para maquinaria pesada

La realización de este mantenimiento está a cargo de los operarios y mecánicos de la institución, razón por la cual conjuntamente deberán de diagnosticar los resultados del mantenimiento general basado en RCM de la maquinaria.

### Acción 1: Actividades de mantenimiento preventivo para maquinaria pesada

Código	Actividades requeridas	Responsable
	MOTOR	
A	Sopletear filtro de aire	Operador
B	Revisar mangueras de válvulas de aire.	Mecánico
B	Inspeccionar abrazaderas de los ductos de admisión que no estén oxidadas o flojas	Operador
A	Limpiar los componentes accesibles de admisión y escape	Mecánico
B	Comprobar nivel y estado de fluidos, refrigerante del radiador, aceites de motor	Operador
D	Accionar el motor de la máquina y dejarlo en ralentí para observar su funcionamiento	Mecánico
B	Revisar indicadores de temperatura, presión de aire y alta presión de aceites.	Operador
B	Verificar el depósito de combustible y sus tuberías externar por posible fuga	Mecánico

B	Inspeccionar las fajas de poleas visualmente, comprobando que no existan grietas notorias y desajuste en los tensores	Operador
<b>TRANSMISIÓN</b>		
B	Comprobar que no exista fugas en los tubos y mangueras del aceite de la transmisión	Mecánico
B	Verificar viscosidad y nivel de aceite de la transmisión	Mecánico
B	Verificar posibles fugas en tubos y mangueras de válvula de control solenoides	Mecánico
<b>EJES</b>		
A	Limpiar los componentes a revisar (crucetas, sellos y cojinetes)	Mecánico
B	Revisar posible juego de eje cardan y deslizante	Mecánico
C	Lubricar crucetas de eje cardan, articulaciones de dirección y ejes de carga	Mecánico
B	Comprobar fugas o daños por golpes en los ejes de traslación	Mecánico
B	Verificar el estado de cucharones, cantoneras, cuchillas, puntas, compuerta de volteo o cualquier componente de trabajo	Mecánico
<b>FRENOS</b>		
B	Revisar el funcionamiento y la presión del frenado	Operador
D	Rectificar el freno de estacionamiento	Operador
B	Verificar el desgaste de pastillas, zapatas o embrague de frenado	Mecánico

NEUMATICOS/ RODANTES		
D	Rectificar la presión de los neumáticos	Operador
D	Reapretar tuercas de las ruedas	Operador
D	Verificar tensión de la cadena (oruga)	Mecánico
HIDRAULICO		
D	Rectificar nivel de aceite hidráulico	Operador
B	Verificar posibles fugas en mangueras, tuberías o depósitos de hidráulico	Mecánico
C	Lubricar el mecanismo de control hidráulico por varillaje	Mecánico
C	Lubricar con una engrasadora los cojinetes de todos los cilindros hidráulicos del equipo	Mecánico
ELECTRICO		
A	Limpieza de terminales y bornes de baterías	Operador
D	Rectificar el voltaje y estado de baterías	Mecánico
D	Verificar el estado y ajuste de los cables del motor de arranque	Mecánico
D	Accionar los mecanismos de luces delanteras y traseras	Operador
B	Verificar funcionamiento de los indicadores del tablero	Operador

Acción 2: Actividades de Mantenimiento Correctivo para maquinaria pesada

Modo de fallas	Causa probable	Código Tarea de Mantto.	Responsable
Fallas en el motor			
Inestabilidad del motor en baja o se apaga	Filtro de aire obstruido	A	Operador

	Filtro de combustible sucio	E	Mecánico
	Falla en los inyectores	F	Mecánico
	Fuga de aire por manguera de admisión	E	Mecánico
Sobrecalentamiento del motor	Fisuras externas en el radiador	F	Mecánico
	Radiador obstruido	A	Mecánico
	Fugas en mangueras del sistema de enfriamiento	E	Mecánico
	Termostato obstruido	E	Mecánico
	Fuga u obstrucción en la bomba de agua	F	Mecánico
	Fallas alternas del ventilador	F	Mecánico
	Fugas por el filtro de aceite (mal instalado)	E	Mecánico
	Bomba de aceite en mal estado	F	Mecánico
	Desgaste en los metales del eje de levas y cigüeñal	F	Mecánico
	Fugas de aceite por los sellos del cigüeñal	E	Mecánico

	Fuga o fisura por el cárter o aceitera	F	Mecánico
Perdida de potencia por debajo de sus revoluciones	Fuga de combustible por tuberías o mangueras	E	Mecánico
	Filtro de combustible obstruido parcialmente	F	Mecánico
	Falta de calibración de válvulas	D	Mecánico
	Desgaste interno de la bomba de combustible	E	Mecánico
<b>Fallas en Transmisión</b>			
Los cambios entre marchas no engranan fácilmente	Contaminación del aceite	E	Mecánico
	Bajo nivel de aceite	D	Mecánico
	Desgaste en la viscosidad del aceite	E	Mecánico
La acción de marchas se atasca	Filtro obstruido	E	Mecánico
	Avería interna (rodamientos, sellos, engranajes)	F	Mecánico
	Contaminación del sistema de embrague (por operar el equipo en río o inundaciones)	A	Mecánico

<b>Fallos en Ejes</b>			
Ruido en eje cardan y deslizante	Crucetas del eje cardan en mal estado	E	Mecánico
	Desajuste en los ejes deslizantes	D	Mecánico
Fuerza de marcha irregular	Desgaste de engranajes y rodamientos	F	Mecánico
<b>Fallos en Frenos</b>			
Vibraciones en el frenado	Pastilla de freno cristalizada o contaminada	E	Mecánico
	Pistón de mordaza pegado	F	Mecánico
Perdida de presión en el frenado	Fugas por tuberías de frenos	F	Mecánico
	Tubería corroída	A	Mecánico
<b>Fallos en neumáticos/rodantes</b>			
Neumático sin aire (pinchada)	Corte, perforación e impacto no previsto	F	Mecánico
Explosión o estallido del neumático	Llanta agrietada	E	Mecánico
Desgaste irregular de la llanta	Reapretar las tuercas de llanta	D	Operador
Cadena descarrillada y estirada	Tensor con fuga	F	Mecánico
	Resorte con fisuras	E	Mecánico

	Tornillos fisurados	E	Mecánico
Fallos en el sistema hidráulico			
Baja presión de hidráulico	Filtro de retorno tapado	E	Mecánico
	Aceite hidráulico desgastado	E	Mecánico
Ruidos anormales en líneas de impulsión	Fugas del aceite por mangueras dañada	E	Mecánico
	Contaminación del aceite	E	Mecánico
	Desgaste interno de la bomba hidráulica	F	Mecánico
Reducción en los cambios del desplazamiento	Sellos deteriorados	E	Mecánico
	Desgaste en las guías	F	Mecánico
Rechinido o tableteo de los actuadores	Falta de lubricación	D	Mecánico
	Cojines oxidados y llenos de grasa cristalizada	C	Mecánico
	Exceso de carga de trabajo	B	Operador
Fallas sistema eléctrico			
Encendido del motor nulo	Batería descargada	D	Mecánico
	Poca potencia o motor de arranque dañado	F	Mecánico

	Cables de encendido rotos	E	Mecánico
	Switch dañado	F	Mecánico
	Cortocircuito de fusibles	F	Mecánico

#### Actividad 4: Verificar la tabla de lubricantes

Con el objeto de obtener mejores resultados en las operaciones que ejecuten la maquinaria pesada se debe tomar en cuenta el tipo de lubricante y las temperaturas recomendables para su desempeño en las actividades requeridas de la empresa. Para ejecutar correctamente el plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), es vital conocer a plenitud el componente o sistema y lubricantes, ver tabla siguiente:

Tabla de Tipos de aceite y temperaturas

Sistema	Lubricante	Temp.		Sistema	Lubricante	Temp.	
		Mi	Ma			Mi	Ma
	SAE 5W-20	-25	10		SAE 5W-20	-25	0
Motor	SAE 10W	-20	10		SAE 10W	-20	10
Cd	SAE 10W-30	-20	40	Transmisión	SAE 10W-30	-20	10
O	SAE 15W-40	-15	50	CD/TO-2	SAE 15W-40	-15	20
CD/TO-2	SAE 30	0	40		SAE 30	0	40
	SAE 40	5	50		SAE 40	5	50
	SAE 5W-20	-25	10		SAE 10W	-30	0
Sistema	SAE 10W	-20	40	Mando final	SAE 30	-20	25
Hidráulico	SAE 10W-30	-20	40	Cd	SAE 40	-10	40
HYDO	SAE 15W-40	-15	50		SAE 50	0	50
	SAE 30	10	50	Tándem (patrol)	SAE 90	-20	50

Se tomó como referencia la clasificación de servicio que ha sido establecida por el Instituto Americano del Petróleo; el cual está diseñado para distribuir conforme a los componentes la utilidad de los aceites para desempeñarse satisfactoriamente en los diferentes grados de operación de motores, presiones e hidráulicos.

Resultado 3. Programa de capacitación a personal de Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu.

El presente resultado está integrado por las siguientes cuatro actividades.

Actividad 1. Taller de tipos de mantenimiento

Dirigido a: jefe de zona, inspector de maquinaria e inspector de talleres, mecánicos y operadores

Impartido por: INTECAP

Temas a impartir: Importancia del mantenimiento en maquinaria pesada; En que consiste el Mantenimiento preventivo; Mantenimiento Predictivo; Mantenimiento Correctivo y Mantenimiento proactivo.

Actividad 2. Taller de mantenimiento basado en RCM

Dirigido a: jefe de zona, inspector de talleres, Mecánico y Operadores

Impartido por: Técnico de INTECAP

Temas a impartir: ¿Qué es el RCM?; Las 7 preguntas del RCM; Fases del RCM; Modelo de fallas y sus efectos; Taxonomía del RCM.

Actividad 3. Taller de Maquinaria Pesada

Dirigido a: Inspector de maquinaria, operadores, inspector de talleres y mecánicos

Impartido por: Técnico de Gentrac

Temas a impartir: Tipos de maquinaria pesada; Descripción de maquinaria pesada; Características y su aplicación; Funciones y rendimiento de cada máquina.

Actividad 4. Taller de Buenas prácticas de operación de maquinaria

Dirigido a: inspector de maquinaria y operadores

Impartido por: Técnico Gentrac

Temas a impartir: Fijación y nivelación de la máquina; Medidas de seguridad al operar maquinaria, Límites de carga del equipo; ¿Cómo conducir la máquina en carretera?

Actividad 5. Taller de tipos de aceites y lubricantes

Dirigido a: inspector de talleres y mecánicos

Impartido por: Técnico de Intecap

Temas a impartir: Índices de viscosidad; Propiedades y características del lubricante; Aceite de Motor; Aceite de transmisión; Aceite hidráulico; Aceite para diferenciales

Actividad 6: Taller de Seguridad Industrial

Dirigido a: operadores, mecánicos, inspector de maquinaria e inspector de talleres

Impartido por: Técnico de Intecap

Temas a impartir: ¿Qué es la Seguridad Industrial?; Aseguramiento y colocación de avisos; Equipos de protección personal en el trabajo; Reglamentación general de la Seguridad industrial

La programación de los talleres a impartir se llevará a cabo en las instalaciones de la Zona Vial No. 4, en días miércoles por la mañana:

Módulo	Tema	Horario	Responsable
I	Tipos de mantenimiento	8:00-10:00	INTECAP
II	Mantenimiento basado en RCM	8:00-10:00	INTECAP
III	Maquinaria pesada	8:00-10:00	GENTRAC
IV	Buenas prácticas de operación de maquinaria	8:00-10:00	GENTRAC
V	Tipos de aceites y lubricantes	8:00-10:00	INTECAP
VI	Seguridad Industrial	8:00-10:00	INTECAP

Anexo 2. Matriz de la Estructura Lógica

Componentes	Indicadores	Medios de verificación	Cooperantes
<p>Objetivo general: Reducir el riesgo de pérdidas económicas, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu, en los últimos cinco años.</p>	<p>Reducción del riesgo pérdidas económicas en un 80% al quinto año.</p>	<p>Reportes de la Unidad Ejecutora.</p>	<p>El Ministerio de Comunicaciones Infraestructura y Vivienda apoyará al alcance de los objetivos.</p>
<p>Objetivo específico: Implementar adecuados procesos de mantenimiento de maquinaria pesada de operación, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu.</p>	<p>Implementación de adecuados procesos de mantenimiento de maquinaria pesada de operación en un 80% para el quinto primer año.</p>	<p>Reportes de la Unidad Ejecutora</p>	<p>El Ministerio de Comunicaciones Infraestructura y Vivienda apoyará al alcance de los objetivos.</p>
<p>Resultado 1: Fortalecimiento de la Unidad Ejecutora</p>			

Resultado 2: Propuesta de plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, para maquinaria pesada de operación, en Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu			
Resultado 3: Programa de capacitación a personal de Zona Vial No. 4, Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu			

### Anexo 3. Perfil del Ingeniero Industrial

DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS, RETALHULEU, RETALHULEU	
Organización/Funciones	Descripción
Unidad:	Departamento de capacitaciones
Código unidad:	08
Cargo:	Jefe de capacitación y de operadores de maquinaria
Código cargo:	006
Naturaleza del puesto:	Operativa
Dependencia jerárquica:	Director General
Unidades bajo su mando:	Operadores, personal del taller mecánico

Relaciones de trabajo Internas:	Jefe de zona, Inspector de taller, Inspector de maquinaria
Funciones:	<p>Responsable de implementar el plan de mantenimiento centrado en confiabilidad.</p> <p>Planificar, dirigir, organizar, y controlar las actividades de capacitación.</p> <p>Coordinar, asignar y evaluar tareas diarias en el área de operación.</p> <p>Otras que le sean asignadas según el cargo.</p>
<p>Descriptor de puestos</p> <p>Requisitos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Licenciatura en Ingeniería Industrial</li> <li>- Conocimiento en mantenimiento RCM para maquinaria pesada</li> <li>- Experiencia dos años en mantenimiento de maquinaria pesada</li> </ul>	

Dirección General de Caminos, Retalhuleu, Retalhuleu

Requisitos:

- Licenciatura en Ingeniería Industrial
- Conocimiento sobre mantenimiento RCM para maquinaria pesada
- Experiencia tres años

Ofrecemos:

- Prestaciones laborales
- Salario atractivo
- Oportunidad de desarrollarse dentro de la Institución