

UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA



TESIS

**MEJORA DE LA DISPONIBILIDAD MECÁNICA DE UNA
FLOTA DE VOLQUETES VOLVO FMX-440, MEDIANTE
LA OPTIMIZACIÓN DE LA FRECUENCIA DE
MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE MUELLES,
UTILIZANDO DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD
DE FALLA**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER
JORGE ANTONIO CRUZADO ESPINOZA
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO MECÁNICO**

AREQUIPA – PERÚ

2018

Dedico esta ardua investigación a DIOS y a mis padres, Jorge Luis Cruzado Díaz y María Irma Espinoza Quispe, quienes siempre me brindaron su apoyo incondicional y esfuerzos desinteresados para que yo culmine mis estudios superiores.

A los docentes de la Universidad Alas
Peruanas, por brindarme los conocimientos
necesarios para desarrollar con éxito esta tesis.

A mis asesores que me instruyeron y contestar
todas mis interrogantes durante el desarrollo
de esta investigación.

RESUMEN

La importancia de la Gestión de Mantenimiento se fundamenta principalmente en el deterioro de los equipos industriales y en las consecuencias que este ocasiona en la economía de las organizaciones productivas o de servicios.

Es por ello que esta investigación tiene por objetivo principal la utilización del modelo de distribución de probabilidad de fallas mediante Weibull para mejorar la disponibilidad mecánica de los volquetes Volvo FMX-440 mediante la optimización de la frecuencia del mantenimiento preventivo de los muelles de estas unidades.

Aplicando el modelo de distribución de probabilidad de fallas y los costos asociados se logró optimizar la disponibilidad inherente de 99.27% (para MTBF) a 99.63% (frecuencia óptima).

La relación de los costos es del 75% del costo actual, vale decir se ahorra un 25% de costos en el mantenimiento de un muelle; por lo que es conveniente cambiar el muelle preventivamente cada 4 800 horas que dejar que fallen en un promedio cada 7 071 horas. Cabe mencionar que se tienen fallas desde las 2 856 horas hasta las 14 000 horas.

Palabras Clave

Mantenimiento preventivo, distribución de Weibull, disponibilidad mecánica, tiempos medios entre fallas, tiempos medios hasta el fallo y confiabilidad.

ABSTRACT

The importance of Maintenance Management is based mainly on the deterioration of industrial equipment and the consequences that this causes in the economy of productive organizations or services.

That is why this research has as main objective the use of the probability distribution model of faults by Weibull to improve the mechanical availability of the Volvo FMX-440 dump trucks by optimizing the frequency of preventive maintenance of the springs of these units.

Applying the fault probability distribution model and associated costs, it was possible to optimize the inherent availability of 99.27% (for MTBF) to 99.63% (optimum frequency).

The cost ratio is 75% of the current cost, that is, it saves 27% of costs in the maintenance of a dock; so it is advisable to change the spring preventively every 4 800 hours to let it fail at an average every 7 071 hours. It is worth mentioning that there are faults from 2 856 hours to 14 000 hours

Keywords

Preventive maintenance, Weibull's distribution, mechanical availability, average times between failures, average times until failure and reliability.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTO	III
RESUMEN	IV
ABSTRACT.....	V
ÍNDICE DE TABLAS	IX
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
INTRODUCCIÓN	XIII
CAPÍTULO I	1
PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO.....	1
1.1. Planteamiento del problema	1
1.2. Formulación interrogativa del problema	2
1.3. Formulación del problema	2
1.4. Justificación de la investigación.....	2
1.4.1. Justificación teórica	3
1.4.2. Justificación práctica.....	3
1.4.3. Justificación ambiental.....	3
1.4.4. Justificación económica	4
1.5. Delimitaciones de las fronteras de investigación	4
1.5.1. Delimitación espacial.....	4
1.5.2. Delimitación social	5
1.5.3. Delimitación temporal	5
1.6. Objetivos de la investigación	5
1.6.1. Objetivo general.....	5
1.6.2. Objetivos específicos	5
1.7. Hipótesis general de la investigación	6
1.8. Análisis de variables.....	6
1.8.1. Variable independiente	6
1.8.2. Variables dependientes	6
1.8.3. Variables intervinientes	6
1.9. Indicadores	6
1.9.1. Indicadores de variables independientes.....	6

1.9.2.	Indicadores de la variable dependiente	7
1.9.3.	Indicadores de las variables intervinientes	7
1.9.4.	Matriz de operacionalización de variables.....	7
1.10.	Metodología de la investigación.....	8
1.10.1.	Tipo de investigación	9
1.10.2.	Tipo de diseño	9
1.10.3.	Población y muestra	9
1.10.4.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	10
CAPÍTULO II.....		12
MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN.....		12
2.1.	Antecedentes de la investigación	12
2.2.	Bases teóricas	17
2.2.1.	Definición de mantenimiento.....	17
2.2.2.	Evolución del mantenimiento	18
2.2.3.	Gestión del mantenimiento	28
2.2.4.	Objetivos del mantenimiento	30
2.2.5.	Costo integral del mantenimiento	34
2.2.6.	Mantenimiento preventivo basado en la confiabilidad	35
CAPÍTULO III.....		42
DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE MANTENIMIENTO DE LA SERVICE PARA LOS MUELLES DE LA FLOTA DE VOLQUETES VOLVO FMX – 440.....		42
3.1.	Información de la empresa	42
3.1.1.	Misión y visión	43
3.1.2.	Proceso de mantenimiento de muelles de volquetes Volvo FMX – 440.....	44
3.1.3.	Contexto operativo de los muelles.....	60
CAPÍTULO IV.....		68
DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE DATOS Y MEDICIÓN DE INDICADORES DE DISPONIBILIDAD Y CONFIABILIDAD PARA LA FLOTA DE VOLQUETES VOLVO FMX – 440		68
4.1.	Distribución de probabilidad de fallas de la flota de volquetes Volvo FMX – 440..	68
4.1.1.	Test de tendencia de Laplace por camiones.....	72
4.1.2.	Cálculo de la probabilidad de falla del muelle de los volquetes Volvo FMX – 440	77
CAPÍTULO V.....		98

MODELO PARA OPTIMIZAR LAS FRECUENCIAS DE MANTENIMIENTO Y EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL MODELO PROPUESTO	98
5.1. Optimización de disponibilidad mecánica de la flota de volquetes Volvo FMX – 440 98	
5.2. Evaluación económica de la optimización	102
CONCLUSIONES	105
RECOMENDACIONES.....	107
BIBLIOGRAFÍA	108
ANEXOS	110

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Matriz de operacionalización de variables.....	8
Tabla 2. Flota de volquetes Volvo FMX - 440 consideradas para el estudio	10
Tabla 3. Sistemas y componentes del volquete Volvo FMX - 440	52
Tabla 4. Ejemplo de orden de trabajo para mantenimiento de muelle.....	56
Tabla 5. Informe de mantenimiento del muelle en el taller	57
Tabla 6. Data operativa del volquete Volvo FMX-440; número de fallas por componente....	61
Tabla 7. Criterios de evaluación	65
Tabla 8. Matriz de control para las oportunidades de mejora.....	66
Tabla 9. Matriz de control II para las oportunidades de mejora	67
Tabla 10. Data histórica de tiempos entre fallas: Diez unidades de volquetes Volvo FMX-440	70
Tabla 11. Test de Laplace para volquete V2C-798.....	72
Tabla 12. Test de Laplace para volquete V5J-824.....	72
Tabla 13. Test de Laplace para volquete VJ5-840.....	73
Tabla 14. Test de Laplace para volquete V2H-720	73
Tabla 15. Test de Laplace para volquete V2B-717.....	74
Tabla 16. Test de Laplace para volquete V2B-718.....	74
Tabla 17. Test de Laplace para volquete V2B-711.....	75
Tabla 18. Test de Laplace para volquete V2C-722.....	75
Tabla 19. Test de Laplace para volquete V2F-707	76
Tabla 20. Test de Laplace para volquete V2C-796.....	76
Tabla 21. Tiempo entre fallas en horas para el volquete Volvo FMX-440	77
Tabla 22. Frecuencia de fallas ordenadas en forma ascendente de los volquetes Volvo FMX- 440	78
Tabla 23. Aproximación por rangos medios según distribución Weibull	79
Tabla 24. Continuación de aproximación por rangos medios según distribución Weibull	80
Tabla 25. Valores de X e Y en base a los cálculos de distribución Weibull	81
Tabla 26. Parámetros de confiabilidad según distribución Weibull	83
Tabla 27. Test de Kolmogorov Smirnov para la data recolectada de los volquetes Volvo FMX-440	86
Tabla 28. Resultados del test de Kolmogorov y Smirnov para los volquetes Volvo FMX-440	88

Tabla 29. Cálculo del tiempo medio entre fallos del muelle (MTBF - Mean Time Between Failures).....	89
Tabla 30. Cálculo de la función densidad mediante la distribución de Weibull.....	90
Tabla 31. Cálculo de la función probabilidad acumulada de fallas mediante la distribución de Weibull	92
Tabla 32. Cálculo de la función supervivencia o de confiabilidad mediante la distribución de Weibull	94
Tabla 33. Cálculo de la función de riesgo mediante la distribución de Weibull	96
Tabla 34. Data para los cálculos de la optimización del manto preventivo de los muelles.....	98
Tabla 35. Cálculo para la optimización del mantenimiento preventivo de los muelles de los volquetes Volvo FMX-440.....	100
Tabla 36. Cálculo del VAN del mantenimiento correctivo	103
Tabla 37. Cálculo del VAN del mantenimiento preventivo basando en la confiabilidad.....	104

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica de la empresa.....	4
Figura 2. Mantenimiento de primera generación.....	19
Figura 3. Mantenimiento de la segunda generación.....	21
Figura 4. Mantenimiento de la tercera generación.....	24
Figura 5. Mantenimiento de la cuarta generación.....	27
Figura 6. Objetivos del mantenimiento.....	30
Figura 7. Mantenimiento preventivo.....	32
Figura 8. Ventajas del mantenimiento preventivo.....	32
Figura 9. Tipos de mantenimiento preventivo.....	33
Figura 10. Costo integral de mantenimiento.....	35
Figura 11. Función densidad.....	38
Figura 12. Función acumulada de fallas.....	39
Figura 13. Función de supervivencia.....	40
Figura 14. Función de riesgo.....	41
Figura 15. Ficha técnica de los muelles.....	51
Figura 16. Flujograma para el mantenimiento correctivo del muelle.....	54
Figura 17. Flujograma para el mantenimiento de emergencia.....	55
Figura 18. Inspección del muelle averiado.....	58
Figura 19. Muelle desmontado.....	58
Figura 20. Falla por rotura en el muelle.....	59
Figura 21. Mantenimiento correctivo del muelle.....	59
Figura 22. Número de fallas por componente - Volquete Volvo FMX-440.....	62
Figura 23. Análisis cusa-raíz de la baja disponibilidad mecánica de volquetes Volvo FMX - 440.....	63
Figura 24. Probabilidad de falla en el muelle.....	84
Figura 25. Probabilidad de Weibull calculada en software Weibull ++ 11 de Reliasoft.....	85
Figura 26. Función densidad de los muelles de los volquetes Volvo FMX-440.....	91
Figura 27. Función probabilidad acumulada de fallas de los muelles de los volquetes Volvo FMX-440.....	93
Figura 28. Función supervivencia o de confiabilidad de los muelles de los volquetes Volvo FMX-440.....	95
Figura 29. Función de riesgo de los muelles de los volquetes Volvo FMX-440.....	97

Figura 30. Optimización de la frecuencia de mantenimiento preventivo e indisponibilidad de los muelles de los volquetes Volvo FMX-440 101

INTRODUCCIÓN

Debido a la alta competitividad de las empresas industriales y de servicios, lo medular en gestión de estas entidades debe estar orientado hacia una gestión de la calidad.

Al respecto, este nuevo enfoque en la que actualmente se desenvuelven las diferentes empresas, han obligado a los gerentes a optimizar todos los procesos que intervienen en la organización, con la finalidad de desarrollar procesos de calidad. En ese contexto, el mantenimiento como proceso, tiene una función clave en el logro de las metas y objetivos de la empresa.

Contribuye a reducir costos, minimizar el tiempo muerto de los equipos, mejorar la calidad de los servicios, incrementar la productividad y contar con un equipo seguro y bien configurado para entregar las órdenes de los clientes justo a tiempo.

Asimismo, cabe mencionar, la importancia de la Gestión de Mantenimiento se fundamenta principalmente en el deterioro de los equipos industriales y en las consecuencias que este ocasiona en la economía de las organizaciones productivas o de servicios. Debido al alto costo que se supone este deterioro para las empresas, es necesario aumentar la confiabilidad de las máquinas, como la seguridad de los equipos y de las personas.

En ese sentido, la gestión del mantenimiento de los equipos de las empresas juega un papel muy importante en el proceso de prestación de servicios, toda vez que permite incrementar la confiabilidad y disponibilidad de los equipos, minimizando el costo del ciclo de vida de los mismos.

Las empresas que tienen como filosofía una gestión de calidad, la gestión de mantenimiento de sus instalaciones tiene que ser también de calidad.

También, cabe destacar, que la solución estratégica de los problemas que afectan actualmente a la gestión de mantenimiento, está en gran medida en lograr formar y capacitar continuamente a las personas involucradas en esta actividad, fundamentalmente en las técnicas más avanzadas de la ingeniería y la gestión de mantenimiento.

Las técnicas más avanzadas con respecto a la gestión de mantenimiento incluyen a los métodos cualitativos y cuantitativos. Dentro de los métodos cuantitativos, la estadística juega un rol preponderante, ya que no se puede gestionar si no se puede medir. Las mediciones son clave. Si no se mide, no se puede controlar. Si no se puede controlar, no se puede gestionar, y si no se puede gestionar no se puede mejorar.

La estadística permite a la gestión de mantenimiento responder preguntas a problemas crónicos y esporádicos existentes en las empresas.

En esta tesis, para lograr nuestro objetivo de optimizar la gestión de mantenimiento de los equipos, utiliza como herramienta el análisis de confiabilidad, que combina las técnicas cualitativas y cuantitativas.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

1.1. Planteamiento del problema

La empresa Grupo TTN S.A.C cuenta con volquetes Volvo modelos Fmx-440; en estas unidades el subsistema que falla con mayor frecuencia son los muelles debido a su contexto operativo en las mineras. La empresa cuenta con un departamento de mantenimiento el cual depende del departamento de servicios.

Los problemas que enfrenta la empresa Grupo TTN S.A.C son con frecuencia el mantenimiento de los muelles.

- Los muelles sufren rupturas por exceso de peso o por mal uso en el contexto operacional.
- No se conoce en qué etapa del ciclo de vida se encuentra cada uno de ellos.
- No utilizan estadísticas del tiempo entre fallas-tiempo hasta el fallo (historial de fallas), ni del tiempo de reparación de fallas de los muelles
- No se conoce cuál es el tiempo medio entre fallas, ni cuáles son los tiempos medios de reparación de fallas de los muelles.

- El ciclo actual de mantenimiento de los muelles ha sido considerado sin ningún sustento técnico, y el personal responsable del mantenimiento carece de conocimientos sobre técnicas cuantitativas o estadísticas del mantenimiento preventivo; es decir, recurren a mantenimientos correctivos o de emergencia.

1.2. Formulación interrogativa del problema

¿Cómo mejorar la disponibilidad mecánica de la flota de volquetes Volvo FMX-4 mediante la optimización de la frecuencia del mantenimiento preventivo de muelles, utilizando distribuciones de probabilidad?

1.3. Formulación del problema

En el proceso de mantenimiento de muelles de los volquetes Volvo FMX-440, existe déficit en las frecuencias de mantenimiento, lo cual ocasiona el incremento en los costos asociados, fallas no controladas en los equipos e indisponibilidad del activo fijo.

1.4. Justificación de la investigación

Actualmente, las empresas de transporte de movimiento de tierra están entendiendo que la gestión eficaz del mantenimiento de sus equipos e instalaciones se ha convertido en un arma poderosa para ser competitivos. Esto se debe a que una gestión de calidad del mantenimiento contribuye a procesos de producción de calidad.

Una gestión eficaz del mantenimiento en una flota de unidades, conlleva a una alta confiabilidad y disponibilidad de equipos e instalaciones; por ende, evitar las paradas de emergencia, que ocasiona daño económico a las empresas.

Una eficiente gestión del mantenimiento contribuye a elevar la eficiencia del proceso productivo de la empresa.

Un mantenimiento eficiente minimiza las fallas de las unidades, en tal sentido, las técnicas y herramientas que se apliquen juegan un papel preponderante para prevenir o mitigar dichas fallas.

1.4.1. Justificación teórica

La justificación teórica consiste en la propuesta de implementación del mantenimiento preventivo basado en la confiabilidad que dará un mejor servicio al cliente para que se sienta satisfecho del servicio prestado.

1.4.2. Justificación práctica

La investigación de este proyecto es importante ya que si el resultado es favorable se podrá optimizar la disponibilidad de la flota de volquetes Volvo FMX-440.

1.4.3. Justificación ambiental

Dado que la flota de volquetes Volvo FMX-440 tendrá un mejor proceso y frecuencia de mantenimientos se reducirán las fallas y esto conlleva una reducción de emisión de gases de los equipos por mal funcionamiento.

1.5.2. Delimitación social

El estudio de investigación tendrá como alcance a todas las empresas mineras y constructoras que tiene la necesidad de recibir servicios de manutención de escombros y ameritan realizar mantenimiento centrado en la confiabilidad y disponibilidad del equipo.

1.5.3. Delimitación temporal

De marzo a diciembre de 2017.

1.6. Objetivos de la investigación

1.6.1. Objetivo general

Proponer un método de optimización de frecuencias de mantenimiento basado en la probabilidad de falla que nos permita mejorar la confiabilidad, disponibilidad y productividad de un volquete Volvo FMX 440.

1.6.2. Objetivos específicos

- Resumir la teoría vigente relacionada con el mantenimiento y distribuciones de probabilidad para optimizar el mantenimiento preventivo.
- Describir el proceso de mantenimiento usado en el mantenimiento de los muelles.
- Describir el proceso de obtención de datos y medición de los indicadores de disponibilidad y confiabilidad.
- Proponer un modelo que permita optimizar las frecuencias de mantenimiento y realizar la evaluación económica de la optimización.

1.7. Hipótesis general de la investigación

Usando un modelo de distribución de probabilidad de fallas y los costos asociados es posible optimizar las frecuencias de mantenimiento de un muelle.

1.8. Análisis de variables

1.8.1. Variable independiente

Modelo de optimización de frecuencias de mantenimiento basado en distribución de probabilidad.

1.8.2. Variables dependientes

Mejorar la disponibilidad del equipo y optimizar el costo de las intervenciones de mantenimiento.

1.8.3. Variables intervinientes

- Política de mantenimiento de la empresa.
- Sistema de gestión de datos de mantenimiento.

1.9. Indicadores

1.9.1. Indicadores de variables independientes

- Costo total de reemplazo preventivo.
- Costo total de reemplazo por falla.
- Tiempo requerido para un reemplazo preventivo.
- Tiempo requerido para un reemplazo por falla.
- Tiempo hasta la falla de componentes.

1.9.2. Indicadores de la variable dependiente

- Disponibilidad operacional del equipo.
- Costo de mantenimiento por costo de producción.
- Utilización de la mano de obra.

1.9.3. Indicadores de las variables intervinientes

- Política de mantenimiento menor.
- Política de mantenimiento mayor.
- Políticas de sistemas de gestión del medio ambiente.
- Políticas de salud y seguridad ocupacional.
- Política de administración de historiales de mantenimiento.
- Niveles de formación profesional.
- Materiales de componentes de reemplazo.

1.9.4. Matriz de operacionalización de variables.

En la siguiente tabla se muestra la relación de las variables a evaluar en el presente estudio de investigación.

Tabla 1
Matriz de operacionalización de variables

Hipótesis	Variables	Indicadores
Usando un modelo de distribución de probabilidad de fallas y los costos asociados es posible incrementar la disponibilidad de un volquete volvo FMX 440 mediante la optimización de las frecuencias de mantenimiento	V. Independiente - Modelo de optimización de frecuencias de mantenimiento basado en distribución de probabilidad.	I. V. Independiente - Costo total de reemplazo preventivo. - Costo total de reemplazo por falla. - Tiempo requerido para un reemplazo preventivo. - Tiempo requerido para un reemplazo por falla. - Tiempo hasta la falla de componentes.
	V. Dependiente Mejorar la disponibilidad del equipo y optimizar el costo de las intervenciones de mantenimiento.	I. V. Dependiente - Disponibilidad operacional del equipo. - Costo de mantenimiento por costo de Producción. - Utilización de la mano de obra.
	V. Interviniente Política de mantenimiento de la empresa. Sistema de gestión de datos de mantenimiento.	I.V Interviniente - Política de mantenimiento menor. - Política de mantenimiento mayor. - Políticas de sistemas de gestión del medio ambiente. - Políticas de salud y seguridad ocupacional. - Política de administración de historiales de mantenimiento. - Niveles de formación profesional. - Materiales de componentes de reemplazo.

Fuente: Elaboración propia

1.10. Metodología de la investigación

En este apartado, el autor explica el proceso que se siguió en el desarrollo de la investigación.

1.10.1. Tipo de investigación

La presente investigación se caracteriza por ser:

- **Descriptiva:** Se describió detalladamente los diversos hechos, razones o causas incidentes en la realidad problemática, las mismas que se constituyeron en las causas fundamentales que motivaron la necesidad de investigar.
- **Explicativa:** Se explicaron cada uno de los hechos, causas o acciones generadas del problema.
- **Correlacional:** La investigación es correlacional porque sigue una secuencia lógica desde la descripción de la realidad problemática, el planteamiento del problema, los objetivos, las hipótesis, la determinación de las variables, hasta la formulación de los respectivos indicadores y porque establece correlaciones entre variables.

1.10.2. Tipo de diseño

Puesto que la pretensión principal de la investigación es evaluar y analizar las relaciones causa–efecto entre las variables “Mantenimiento preventivo basado en la confiabilidad” y “Optimizar la disponibilidad mecánica”; además, no se van a manipular variables dado que es una propuesta de implementación, entonces este estudio es de carácter no experimental.

1.10.3. Población y muestra

- **Población**

La población en la que se centra este autor es la flota de volquetes marca Volvo, modelo FMX-440.

- **Muestra**

Para la selección de la muestra, el autor de este estudio escogió 10 unidades modelo FMX-440, las cuales se describen por su placa en el siguiente cuadro:

Tabla 2
Flota de volquetes Volvo FMX - 440 consideradas para el estudio

Ítem	Activo Fijo	Marca	Modelo	Número de placa
1	Volquete	Volvo	FMX-440	V2C-798
2	Volquete	Volvo	FMX-440	V5J-824
3	Volquete	Volvo	FMX-440	V5M-947
4	Volquete	Volvo	FMX-440	V2H-720
5	Volquete	Volvo	FMX-440	V2B-717
6	Volquete	Volvo	FMX-440	V2D-729
7	Volquete	Volvo	FMX-440	V2B-711
8	Volquete	Volvo	FMX-440	V2C-722
9	Volquete	Volvo	FMX-440	V2F-707
10	Volquete	Volvo	FMX-440	V2C-796

Fuente: Elaboración propia

1.10.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La técnica de investigación utilizada para el desarrollo de la investigación fue la documental y empírica mediante la observación y recolección de datos con formatos existentes en la empresa Grupo TTN S.A.C.

- Encuestas.
- Análisis documental.
- Observación experimental y no experimental.
- Reportes de mantenimiento.

- Reportes de inspección técnica.
- Data histórica de tiempos de operación del equipo.
- Técnica AMFE – Análisis de modos de fallas y efectos.
- Distribución Weibull
- Análisis de criticidad.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Antecedentes de la investigación

Para el óptimo desarrollo de esta investigación, el autor de esta investigación ha recopilado tesis de grado relacionados a la misma problemática de estudio los cuales brindarán información detallada de cómo se ha aplicado el mantenimiento preventivo basado en la confiabilidad referidas a algunas de las variables plasmadas en este estudio.

- **Título:** Mantenimiento basado en la confiabilidad para mejorar la disponibilidad mecánica de los grupos electrógenos Olympian GEP 110-4 en el proyecto Flowline lote 56 de la empresa Serpetbol Perú S.A.C.
- **Autor:** Bastidas Quispe, Edison Hugo
- **Año:** Huancayo, Perú, 2013
- **Resumen:** El presente trabajo de investigación consiste en aplicar el mantenimiento basado en la confiabilidad en los grupos electrógenos GEP110-4 que proporcionan energía eléctrica en los campamentos del proyecto Flowline del lote 56 de la empresa Serpetbol Perú S.A.C, debido a que la empresa no cuenta con un programa o plan preventivo que le permita mejorar la disponibilidad mecánica de los diez grupos electrógenos Olympian GEP110-4

con series OLY00000ELEW00150, OLY00000CLEW00151, OLY00000TLEW00152, OLY00000PLEW00153, OLY00000KLEW00154, OLY00000CLEW00165, OLY00000PLEW00167, OLY00000KLEW00168, OLY00000JLEW00169, OLY00000JLEW00253. Esta investigación se realiza bajo la modalidad de trabajo de campo y tipo descriptivo para lo cual se empleó una población de diez (10) grupos electrógenos GEP110-4 y una muestra de una (01) grupo electrógeno, se utilizó la observación directa y la lista de cotejo como instrumentos para la recolección de datos y para la obtención de resultados satisfactorios.

Dentro del concepto de mantenimiento, se han hecho investigaciones durante el pasado y el presente siglo, que han definido distintos estilos o filosofías de mantenimiento, las cuales han facilitado y definido cómo debe ser la aplicación y la administración de procesos básicos como la reparación, inspección, lubricación y monitoreo de equipos y componentes. Todo esto, enfocado a incrementar la durabilidad y confiabilidad de los anteriores. A través de la gestión del mantenimiento basado en la confiabilidad se pueden desarrollar estrategias y procedimientos para la mejora en la producción de la empresa Serpetbol Perú S.A.C. Identificando los activos y sus funciones en su contexto operativo, para esto se establecen controles y planes de mantenimiento de mejora continua para la disminución de fallos de los equipos.

- **Título:** Propuesta de un plan de mantenimiento preventivo basado en el RCM para mejorar la disponibilidad mecánica de la excavadora CAT 336 de la empresa Ecosem Smelter S.A.
- **Autor:** Casachagua Dávila, César Gabriel

- **Año:** Huancayo, Perú, 2017
- **Resumen:** La investigación que se realizó es tecnológica de nivel aplicado, el cual tuvo como objetivo aplicar el conocimiento científico del mantenimiento centrado en la confiabilidad para mejorar la disponibilidad mecánica de las excavadoras CAT 336 de la empresa ECOSEM SMELTER S.A, se propuso la aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad a las excavadoras por ser equipos muy críticos, ya que su operatividad es continua y dependen de ellas las demás flotas, se recogió información de todos los reportes Check List, partes diarios, control de equipos, inspección técnica, status de equipos, etc y se realizó un registro de paradas de todos los sistemas encontrando una disponibilidad mecánica de la flota en un 80% siendo muy bajo comparado al target de la disponibilidad que la minera exige a la empresa, por lo que se propone un plan de mantenimiento basado en RCM, identificando así las funciones, fallas funcionales, modos de falla, para realizar el cuadro de Criticidad (AMFE), que fue la base del estudio de investigación quien por consiguiente determinó cuales serían las fallas correctivas y las tareas de mantenimiento AMFE para el estudio. Con el cual al final se logró mejorar un 9% la disponibilidad mecánica de las Excavadoras 336 en la empresa ECOSEM SMELTER S.A.
- **Título:** Mantenimiento basado en la confiabilidad aplicado a la trituradora Sandvik CH440 de la planta concentradora de estaño de la unidad minera San Rafael de MINSUR S.A.
- **Autor:** Quispe Coronel, Alan
- **Año:** Juliaca, Perú, 2016

- **Resumen:** La utilización de la metodología del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (MCC o RCM) implica el análisis y estudio del comportamiento del equipo, así como los subsistemas que lo conforman, y la relación con su ambiente de trabajo.

En la presente Investigación se realizará una identificación de los problemas que limitan la maximización de la función del equipo, utilizando como herramienta el método AMEF, que no es más que un Análisis de Modos y Efectos de Fallas.

Posterior al desarrollo del método AMEF, se identificarán los subsistemas críticos, modos y efectos de falla del equipo y su injerencia sobre las metas de producción, mantenimiento, salud ocupacional y medio ambiente.

Mediante el desarrollo del MCC se determinan las estrategias para la prevención, eliminación de fallas potenciales y paradas inesperadas del equipo, entre las más importantes tenemos:

- Reingeniería del plan de mantenimiento preventivo.
- Mejoramiento del programa de cambio de componentes en función de la frecuencia de las fallas.
- Implementación de inspecciones por parte de los operadores de planta.
- Identificación de mejoras en las instalaciones a cargo de Ingeniería de Mantenimiento.
- Identificación de subsistemas y repuestos críticos.
- Con la aplicación de la metodología se pretende maximizar la función del equipo, incrementar la vida útil de los componentes, reducir o

eliminar las fallas operacionales y sus consecuencias, incrementando así los valores de los indicadores clave de rendimiento (KPI's) a un menor costo de mantenimiento.

- **Título:** Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad a motores a gas de dos tiempos en pozos de alta producción.
- **Autor:** Da Costo Burga, Martín
- **Año:** Lima, agosto de 2010
- **Resumen:** El uso de la metodología del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (MCC o RCM) contempla no solamente el estudio del equipo como tal sino de los subsistemas que lo conforman y la interacción con el entorno físico que lo rodea.

En esta tesis primero se realizó una adecuada identificación de los problemas que nos dificultan la maximización de la función de los motores a gas de dos tiempos a través del Análisis de modo, fallas, causas y efectos (AMEF).

Al definirse los modos y las causas de las fallas se pudieron establecer la criticidad de cada una ellas y el impacto en las metas de producción, mantenimiento, salud y medio ambiente; así como su priorización.

Mediante el desarrollo de la metodología a lo largo del desarrollo del tema, se determinaron las siguientes estrategias de mantenimiento para la eliminación de las causas de las fallas identificadas:

- Optimización del mantenimiento preventivo.
- Implementación del mantenimiento predictivo.
- Optimización del cambio sistemático de componentes en función de la frecuencia de las fallas.

- Implementación de inspecciones sensoriales por parte de los operadores.
- Identificación de mejoras en las instalaciones a cargo de Ingeniería de Mantenimiento.
- Identificación de repuestos críticos.

Como resultado de la aplicación de la metodología, se espera lograr incrementar la vida útil de los componentes de los equipos, así como la disponibilidad de los mismos al disminuir las fallas y sus consecuencias, incrementando así, las ventas por la recuperación de petróleo crudo a un menor costo de mantenimiento.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Definición de mantenimiento

Rescatando el aporte de *SUAREZ (2007)* el mantenimiento se define como el conjunto de actividades que permiten mantener un equipo, sistema o instalación en condición operativa, de tal forma que cumpla con las funciones para las cuales fueron diseñados y asignados, también indica que los objetivos del mantenimiento son:

- Mejorar continuamente los equipos hasta su más alto nivel operativo, mediante el incremento de la disponibilidad, efectividad y confiabilidad.
- Aprovechar al máximo los componentes de los equipos para disminuir los costos de mantenimiento.
- Garantizar el buen funcionamiento de los equipos, para aumentar la producción.
- Cumplir todas las normas de seguridad y medio ambiente.

Para ampliar el concepto del mantenimiento, el autor hace mención a *BOHÓRQUEZ (2012)* quien afirma que el mantenimiento inició con el mismo nacimiento de la industria, cuando se crearon los procesos de producción mecanizados para la fabricación de bienes a gran escala, lo que obligó a que este dependiera de un adecuado funcionamiento de estas máquinas. Sin embargo, el mantenimiento era considerado una actividad sin importancia y un costo en el que se debía incurrir.

2.2.2. Evolución del mantenimiento

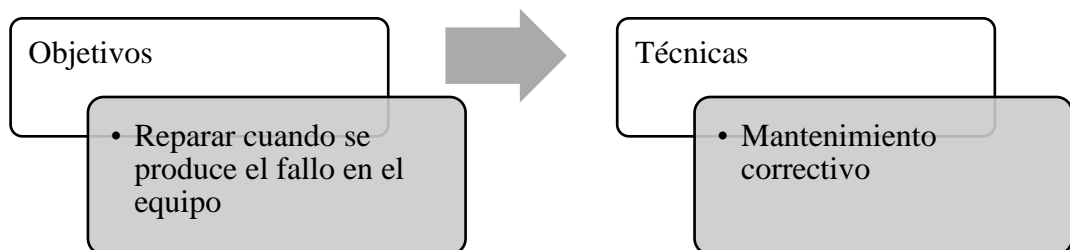
Rescatando el aporte de *PISTARELLI (2004)* la necesidad del mantenimiento surgió desde que el hombre comenzó a fabricar objetos para uso personal; le fue imprescindible llevar a cabo alguna restauración para volver a utilizarlos. Así fue que conforme evolucionó la tecnología, también se evidenciaron avances en las maneras de restaurar objetos, herramientas y máquinas.

En ese sentido, históricamente a lo largo del desarrollo industrial, la función mantenimiento ha evolucionado a través del tiempo pasando por diferentes etapas. Al respecto, muchos autores coinciden en establecer que durante el siglo XX la evolución del mantenimiento ha tenido tres (03) grandes etapas que, aunque no tienen una frontera clara entre ellas desde el punto de vista temporal, sí pueden dar una clara idea de cuál ha sido la evolución de las técnicas y organizaciones que se han ido implementando durante dicho siglo.

- **Mantenimiento de primera generación**

Según *GARCÍA (2004)* la Primera Generación cubre el período aproximadamente entre 1930 y 1950 o la Segunda Guerra Mundial. En esta época, la industria estaba poco mecanizada; por tanto, los tiempos fuera de servicio no eran críticos, lo que llevaba a no dedicar esfuerzos en la prevención de fallos de equipos. Además, al ser la maquinaria muy simple y normalmente sobredimensionada, los equipos eran muy confiables y fáciles de reparar, por lo que no se hacían revisiones sistemáticas, salvo las rutinarias de limpieza y lubricación. El único mantenimiento que se realizaba era el de “reparar cuando se averíe”, es decir, se practicaba el mantenimiento correctivo, y generalmente los propios operarios de producción se encargaban de las reparaciones de los equipo.

Figura 2. Mantenimiento de primera generación



Fuente: Elaboración propia

- **Mantenimiento de segunda generación**

Para desarrollar este apartado, el autor de la investigación hace mención al aporte de *GARCÍA (2004B)*: La Segunda Guerra Mundial, provocó un fuerte aumento de la demanda de toda clase de bienes. Este cambio, unido al descenso en la oferta de mano de obra que causó la guerra, aceleró el proceso de mecanización de la industria conforme aumentaba la mecanización; la industria cada vez más

comenzaba a depender del buen funcionamiento de la maquinaria. Esta dependencia, provocó que el mantenimiento se centrara en buscar formas de prevenir los fallos, por tanto, evitar o reducir los tiempos de parada forzada de las máquinas. Con este nuevo enfoque del mantenimiento, apareció el concepto de mantenimiento *preventivo*. En la década de los sesenta (60), éste consistía fundamentalmente en realizar revisiones periódicas o cíclicas a la maquinaria a intervalos fijos.

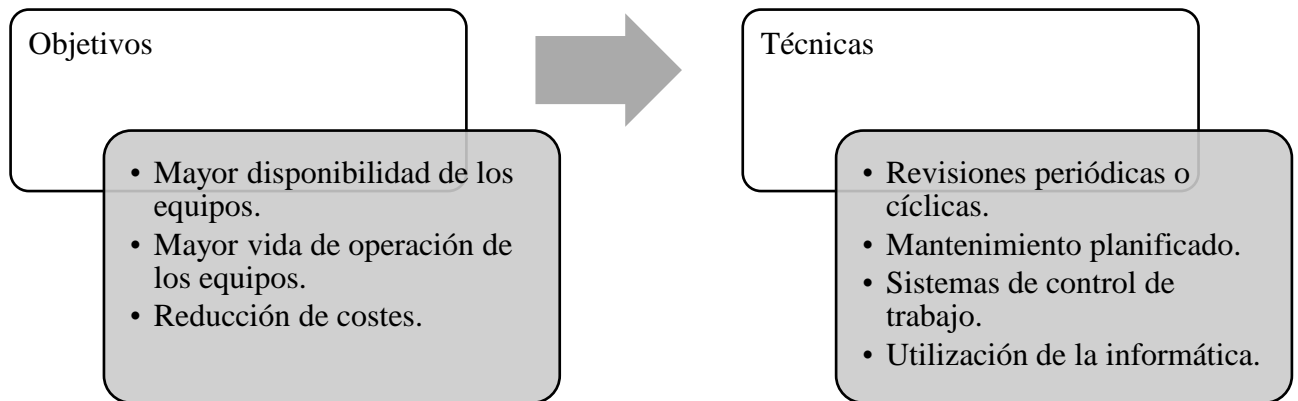
Además, se comenzaron a implementar sistemas de control y planificación del mantenimiento con el objetivo de controlar el aumento de los costes de mantenimiento, y planificar las revisiones a intervalos fijos.

Es importante recalcar que a partir de los años setenta (70), a medida que se generalizó el uso de herramientas informáticas, los sistemas de planificación y todas las actividades de los sistemas de control, se han ido implementando en bases de datos informáticos, cuyo tratamiento ha optimizado los sistemas de toma de decisiones. Asimismo, asociado a este auge de la informática, aparecieron en el mercado herramientas de *software* para facilitar a los responsables de mantenimiento, los trabajos de planificación y control.

En la década de los ochenta (80), se llegó a la conclusión de que el mantenimiento de la Segunda Generación, una vez optimizado en cuanto a las periodicidades y consistencias de las revisiones cíclicas preventivas, y una vez optimizados los sistemas de planificación y control, se entraba a una situación de estancamiento; esto es, los índices más definatorios de cualquier actividad de mantenimiento: *La confiabilidad, la disponibilidad y los costes*, se estabilizaban. Ante dicha situación de estancamiento, en los años ochenta (80) se empezó a hablar del mantenimiento de Tercera Generación.

Cabe recalcar, que la Segunda Generación cubre el período aproximadamente entre finales de 1950 e inicios de 1980

Figura 3. Mantenimiento de la segunda generación



Fuente: Elaboración propia

- **Mantenimiento de la tercera generación**

Según el aporte de *GARCÍA (2004C)* la tercera generación se inició aproximadamente a finales de los setenta (70), y primera década de los ochenta (80), cuando se aceleraron los cambios a raíz del avance tecnológico y de las nuevas investigaciones. La mecanización y la automatización siguieron creciendo; se operaba con volúmenes de producción muy elevados; cobraban mucha importancia los tiempos de parada, debido a los costos por pérdidas de producción. Alcanzó mayor complejidad la maquinaria, y la producción en las plantas industriales se volvía cada vez más dependientes de ellas. Se exigían cada vez productos y servicios de mayor calidad, considerando aspectos de seguridad y medio ambiente, y se consolidó el desarrollo del mantenimiento preventivo.

En ese sentido, la tercera etapa el mantenimiento fundamenta sus objetivos en la confiabilidad, disponibilidad y costes, abordando complementariamente la *seguridad* (factor muy poco tratado en las anteriores etapas del mantenimiento), con una gran tendencia a la emisión de normas, reglamentos, leyes, órdenes, etc. enfocadas hacia este aspecto. La calidad en los servicios de mantenimiento también empezó a tomar auge; la publicación de la norma ISO 9000 en 1984, en su versión ISO 9002 se dirigía básicamente a empresas de servicios. La protección del medio ambiente, también pasó a ser un aspecto crucial en cualquier actividad de mantenimiento. La publicación de la norma ISO 14000, igual que para la calidad fue la ISO 9002, propició un importante avance en el cuidado del medio ambiente. Asimismo, la duración de los equipos mediante el análisis detallado de los costes del ciclo de vida (LCC, *Life Cycle Cost*) pasó a ser determinante en las decisiones de compra de los nuevos equipos.

Cabe destacar, que en la Tercera Generación del mantenimiento, la observancia normativa adquiere una importancia primordial. Son muchas las organizaciones que abordan reglamentaciones específicas de mantenimiento; así pues, por ejemplo, aparecen reglamentos de aparatos a presión, equipos de transporte, ascensores, escaleras mecánicas, etc.

Por otra parte, la filosofía y técnicas del mantenimiento de la Tercera Generación se basan en la incorporación de nuevos métodos que conducen a intervenir los equipos e instalaciones sólo cuando es necesario. Así pues,

aparece el *Mantenimiento según Condición* o peritado previamente (MOC, *Maintenance on condition*), y el Mantenimiento Predictivo, encaminados a intervenir en las máquinas antes de que se produzca el fallo. En paralelo, otras muchas técnicas intentan hacer presencia en el mercado, tal como es el caso del RCM (*Reliability Centered Maintenance*), el TPM (*Total Productive Maintenance*), entre otros.

También, en esta etapa, el análisis de riesgos se presenta como una herramienta importante para las nuevas estrategias de mantenimiento. Si el fallo de un equipo no supone ningún riesgo, o dicho riesgo es mínimo y asumible, quizás sea más rentable dejar que falle. Asimismo, los sistemas expertos que ofrece el mercado, se incorporan masivamente a los elementos eléctricos, electrónicos y electromecánicos.

Los análisis de causas y efectos de fallos aparecen también sobre el tapete. No solamente hay que analizar la avería, sino que hay que ver sus causas dentro de un contexto operacional determinado, que puede ser un sistema de producción o la empresa.

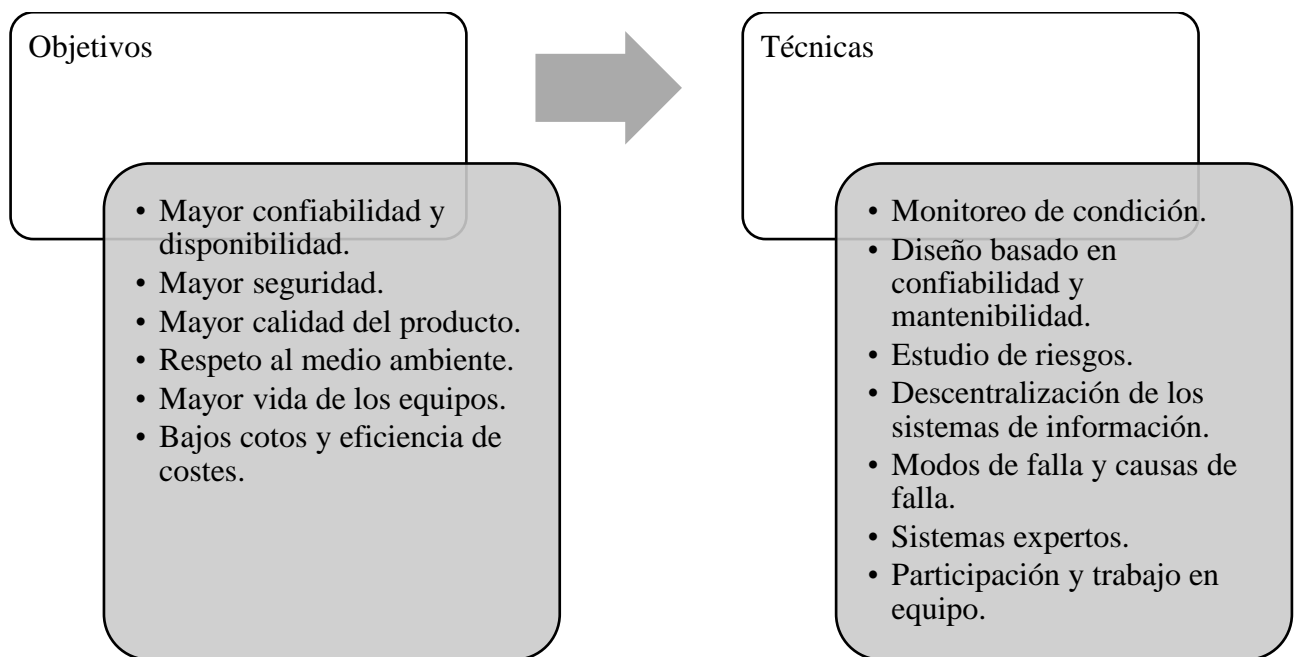
Para terminar, esta breve descripción del mantenimiento de Tercera Generación, conviene hablar de los recursos humanos. De la situación relativamente totalitaria entre 1950 y 1970-75, en la que los operarios se debían limitar a hacer lo que se les dijese, se pasa, a partir de aproximadamente 1980, a abordar metodologías de participación. Esta participación, con independencia

del método con que se implemente, provoca un cambio en las relaciones humanas de los departamentos de mantenimiento.

Por último, en los años de 1980, también aparece en el sector de mantenimiento, una nueva variable: La *externalización*. La contratación externa (*outsourcing*) de actividades de mantenimiento, se presenta como una iniciativa interesante para reducir costes, entre otros aspectos.

Cabe señalar, que la Tercera Generación del Mantenimiento cubre el período aproximadamente entre inicios de 1980 y finales de 1990.

Figura 4. Mantenimiento de la tercera generación



Fuente: Elaboración propia

- **Nuevas tendencias del mantenimiento**

Según *GONZÁLES (2009A)* en la primera década del siglo XXI se ha tenido un crecimiento muy importante de nuevos conceptos de mantenimiento y

metodologías aplicadas a la gestión del mantenimiento. En primer lugar, se refleja la necesidad de abordar las actividades de cualquier departamento o servicio de mantenimiento de forma integrada. Ya no es cuestión de hablar de una determinada tecnología, método organizativo, normativa, etc. Los responsables de mantenimiento deberán estructurar todas las actividades con una visión global e integradora; es decir, es de necesidad integrar todos los nuevos conceptos de mantenimiento que en los últimos decenios del pasado siglo XX se han planteado de forma muy aislada. Así pues, los nuevos conceptos del RCM o los del TPM no se pueden aplicar aisladamente como “filosofías salvadoras de los departamentos de mantenimiento”. En ese sentido, su implementación debe contemplarse no de manera exclusiva, sino de manera conjunta con otras diversas técnicas. Nunca deben considerarse como técnicas únicas y excluyentes. Hay que esforzarse en integrarlas.

Asimismo, *Gonzales (2009b)* señala, que otro enfoque que toma gran fuerza en los años finales del siglo XX y comienzos del siglo XXI es la gestión de mantenimiento orientada no a resultados técnicos del departamento de mantenimiento, sino a los clientes internos y externos.

También, señala, que un aspecto diferenciador con respecto a etapas anteriores, es que en el presente siglo XXI se profundiza la *externalización* o contratación de actividades ya esbozadas. Se profundiza la idea de contratación externa como búsqueda de mejora de costes y de mejora del servicio prestado. El objetivo de los contratos es hacer atractiva la actividad del mantenimiento, motivando a llevar a cabo procesos de mejora continua.

De otro, indica, que las aisladas certificaciones de calidad y medio ambiente ya no tendrán un tratamiento individual. Se tiende a alcanzar certificaciones integradas tanto en los aspectos de aseguramiento y garantía de calidad, como en protección del medio ambiente, seguridad de trabajos y competencia de los trabajadores.

Además, precisa, que se va a seguir profundizando la participación de los trabajadores, viendo sus resultados, sus avances y retrocesos. El *benchmarking* se abordará a todos los niveles. Ello significa que no nos compararemos solamente con nosotros mismos en cuanto a resultados anteriores / resultados actuales. Nos tendremos que comparar con las mejores empresas del sector y saber cómo consiguen mejoras en aquellos aspectos diferenciadores.

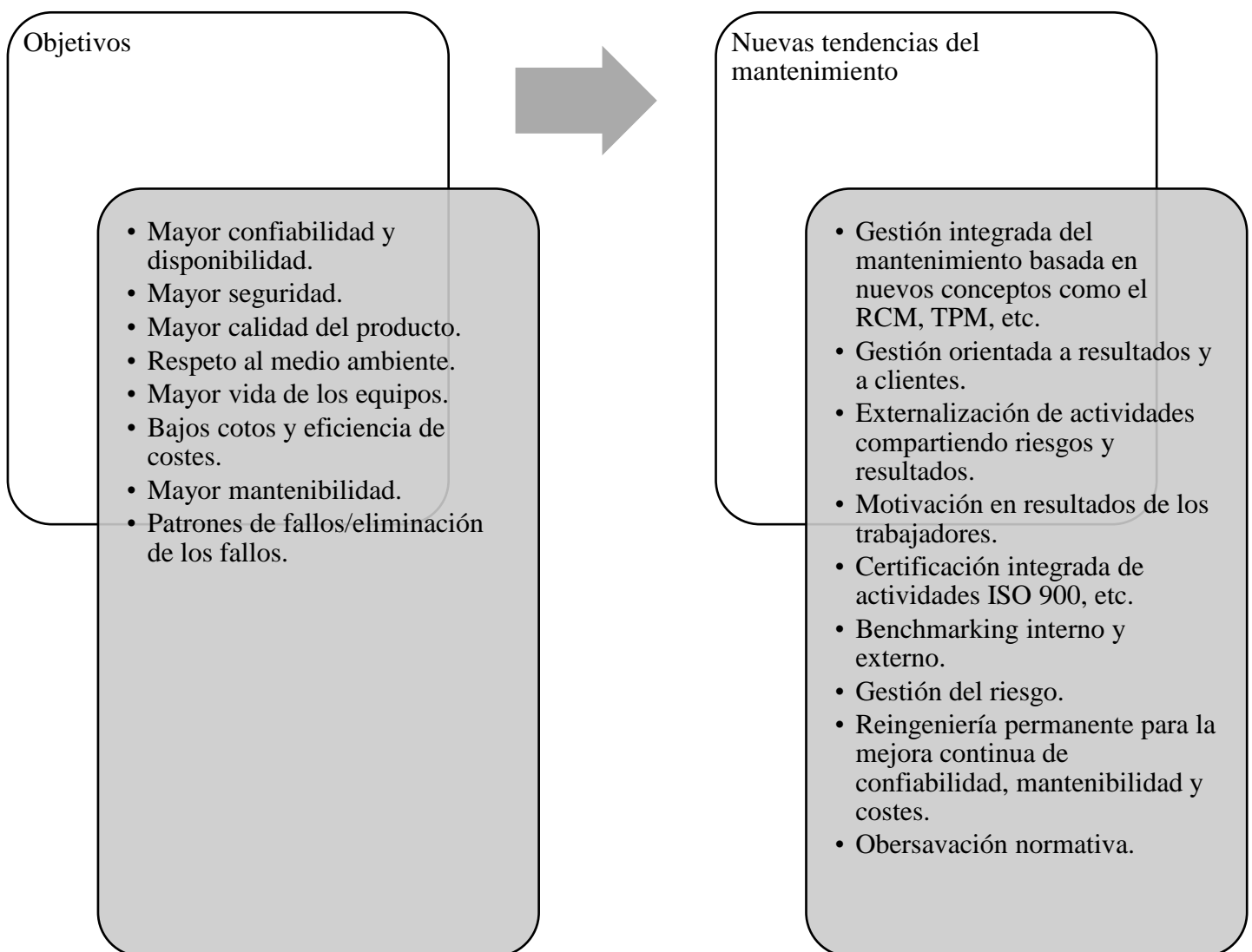
También, manifiesta, que se seguirán abordando análisis de consistencias y de actividades, según los riesgos que los fallos impliquen, y la reingeniería seguirá siendo una herramienta útil para revisar los tres parámetros (confiabilidad, disponibilidad y costos) que siguen siendo en el siglo XXI básicos identificadores de la gestión del mantenimiento. No solo se hará reingeniería técnica de máquinas, se hará reingeniería completa de procesos.

Cabe recalcar que en este siglo XXI, seguirá siendo crucial la observancia normativa. Las administraciones seguirán elaborando y redactando normas para cubrir el máximo número de aspectos legales, sobre todo de aquellos que afecten a la seguridad y medio ambiente.

Otro punto importante que considera, es la tendencia a implementar sistemas de mejora continua de los planes de mantenimiento preventivo y predictivo, de la organización y ejecución del mantenimiento.

Otro punto importante que considera, es la tendencia a implementar sistemas de mejora continua de los planes de mantenimiento preventivo y predictivo, de la organización y ejecución del mantenimiento.

Figura 5. Mantenimiento de la cuarta generación



Fuente: Elaboración propia

2.2.3. Gestión del mantenimiento

Según el aporte de *MORA (2009)* la palabra *gestión* se relaciona con administración o dirección de empresas (pudiendo ser también de áreas de producción, áreas de servicio, entre otras), cuya función básica es crear bienes o servicios que contribuyan a elevar el nivel de vida de la humanidad.

Este autor también menciona que la expresión *empresa* se entiende como una organización conformada por personas, máquinas, tecnología, información, planeación y recursos financieros que busca alcanzar objetivos establecidos (Eficiencia y eficacia), manejando adecuadamente los recursos disponibles (Eficiencia), respetando el medio ambiente con la mayor efectividad.

Ampliando el contexto el autor de esta investigación menciona el aporte de *DE MIGUEL (1990)*: La *gestión de una empresa* (que se refiere a su administración), es el conjunto de actividades que implican: Planificar, organizar, dirigir, coordinar y ejecutar, para lograr los objetivos establecidos, tal como lo establecen las escuelas modernas de gestión.

Por otro lado *NAVARRO, PASTOR Y MUGABURU (1997)*, mencionan que la Gestión del Mantenimiento debe enfocarse en dos direcciones: una de ellas es en la gestión que realiza mantenimiento con los demás departamentos o áreas enmarcado en los objetivos de la empresa, y el segundo nivel en la gestión integral e interna, propia del departamento. Al respecto, indican, la primera de ellas define las pautas que se siguen en las buenas relaciones que debe tener mantenimiento para operar dentro de un marco integral de la empresa, con el

fin de buscar mejores niveles de colaboración y de trabajo en equipo al seguir las pautas de la organización. En el segundo bloque de gestión integral interna, depende exclusivamente de cómo disponga sus recursos productivos para generar un buen servicio de mantenimiento al menor costo posible y con la mayor calidad, mediante el logro de excelentes niveles de satisfacción al cliente.

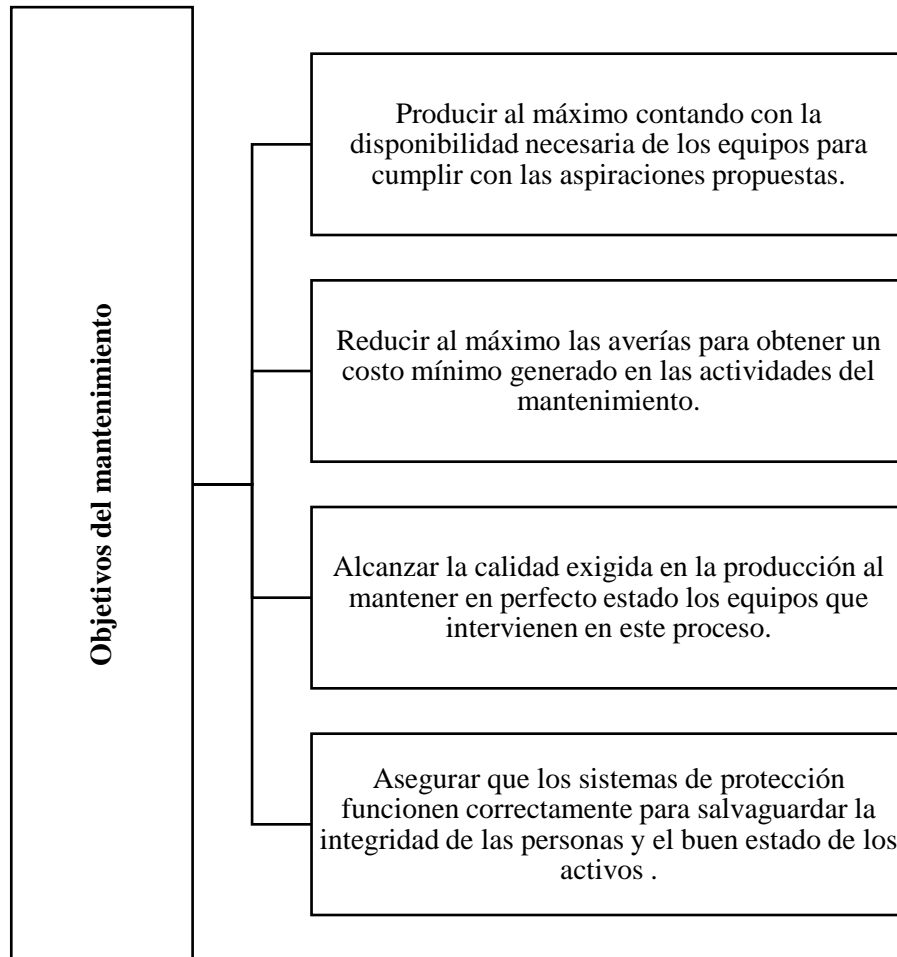
Asimismo, *LORICK (1998)*, se refiere a la Gestión del Mantenimiento como la organización de un área gerencial de mantenimiento que exige la necesidad de establecer sistemas de gestión y operación, mediante procesos, apoyándose en sistemas computarizados para manejar las actividades inherentes a mantenimiento.

Para concluir este concepto el autor decidió citar la investigación de *BELÉN (2008)*: La gestión del mantenimiento busca potenciar el planeamiento del mantenimiento de los equipos de la empresa, con los aportes realizados a los diferentes tipos de mantenimiento, luego del análisis a los procedimientos y acciones realizados (historial de la máquina). La gestión de mantenimiento de alguna manera busca aumentar la productividad de la empresa al aumentar los niveles de confiabilidad de sus equipos y reducir sus costos, control constante de las instalaciones y/o componentes, así como del conjunto de trabajos de reparación y revisión necesarios para garantizar el funcionamiento regular y el buen estado de conservación de un sistema”.

2.2.4. Objetivos del mantenimiento

Según *CÁCERES (2004)* el mantenimiento tiene como objetivo principal garantizar la producción necesaria en el momento oportuno y con el mínimo costo integral.

Figura 6. Objetivos del mantenimiento



Fuente: Elaboración propia

- **Mantenimiento correctivo**

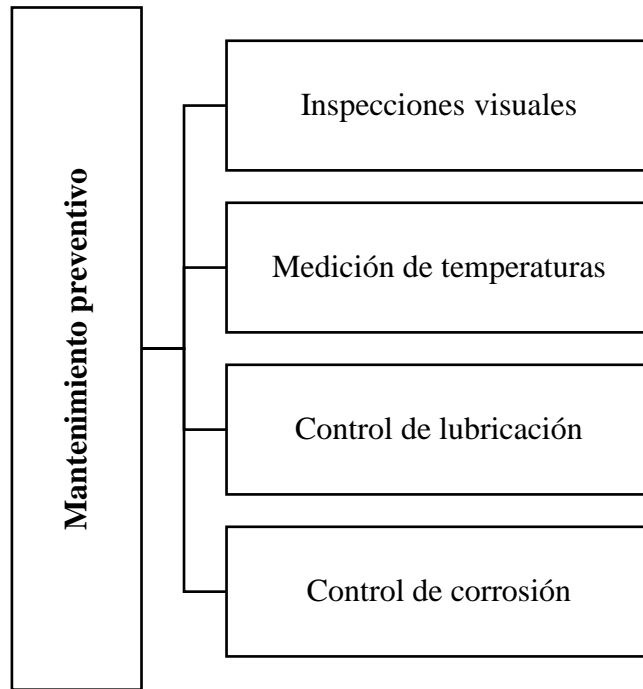
Conjunto de actividades realizadas tras la falla de un bien o el deterioro de su función, para permitirle cumplir con la función requerida, al menos de manera provisional.

Este mantenimiento es también denominado “mantenimiento reactivo”, tiene lugar luego que ocurre una falla o avería; es decir, solo actuará cuando se presenta un error en el sistema. En este caso, si no se produce ninguna falla, el mantenimiento será nulo; por lo tanto, se tendrá que esperar hasta cuando haya un desperfecto, para recién tomar medidas de corrección de errores. Este mantenimiento trae consigo las siguientes consecuencias:

- Paradas no previstas en el proceso productivo, disminuyendo las horas operativas.
- Afecta las cadenas productivas; es decir, los ciclos productivos posteriores se verán parados a la espera de la corrección de la etapa anterior.
- Presenta costos por reparación y repuestos no presupuestados; entonces, por falta de recursos económicos no se podrán comprar los repuestos en el momento deseado.
- La planificación del tiempo que estará el equipo fuera de operación no es predecible.

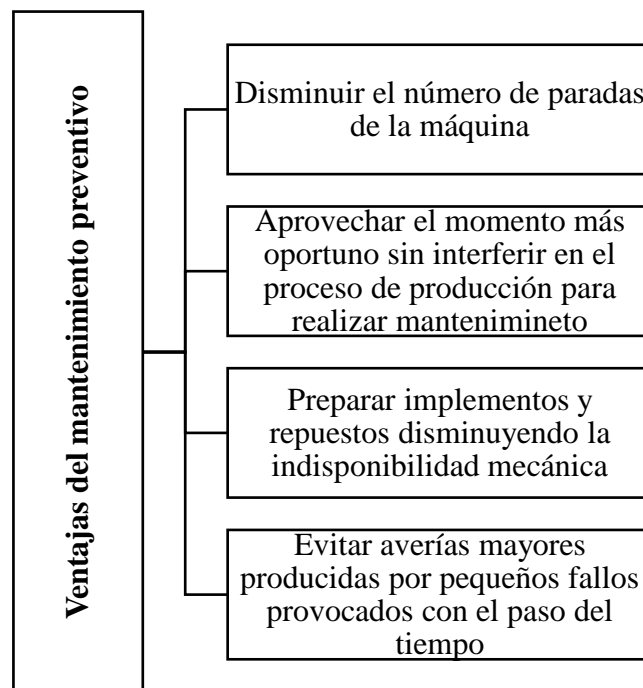
Es la actividad humana desarrollada en los recursos físicos de una empresa con el fin de programar el mantenimiento llevando controles periódicos en los diferentes sistemas y equipos de cada máquina.

Figura 7. Mantenimiento preventivo



Fuente: Elaboración propia

Figura 8. Ventajas del mantenimiento preventivo

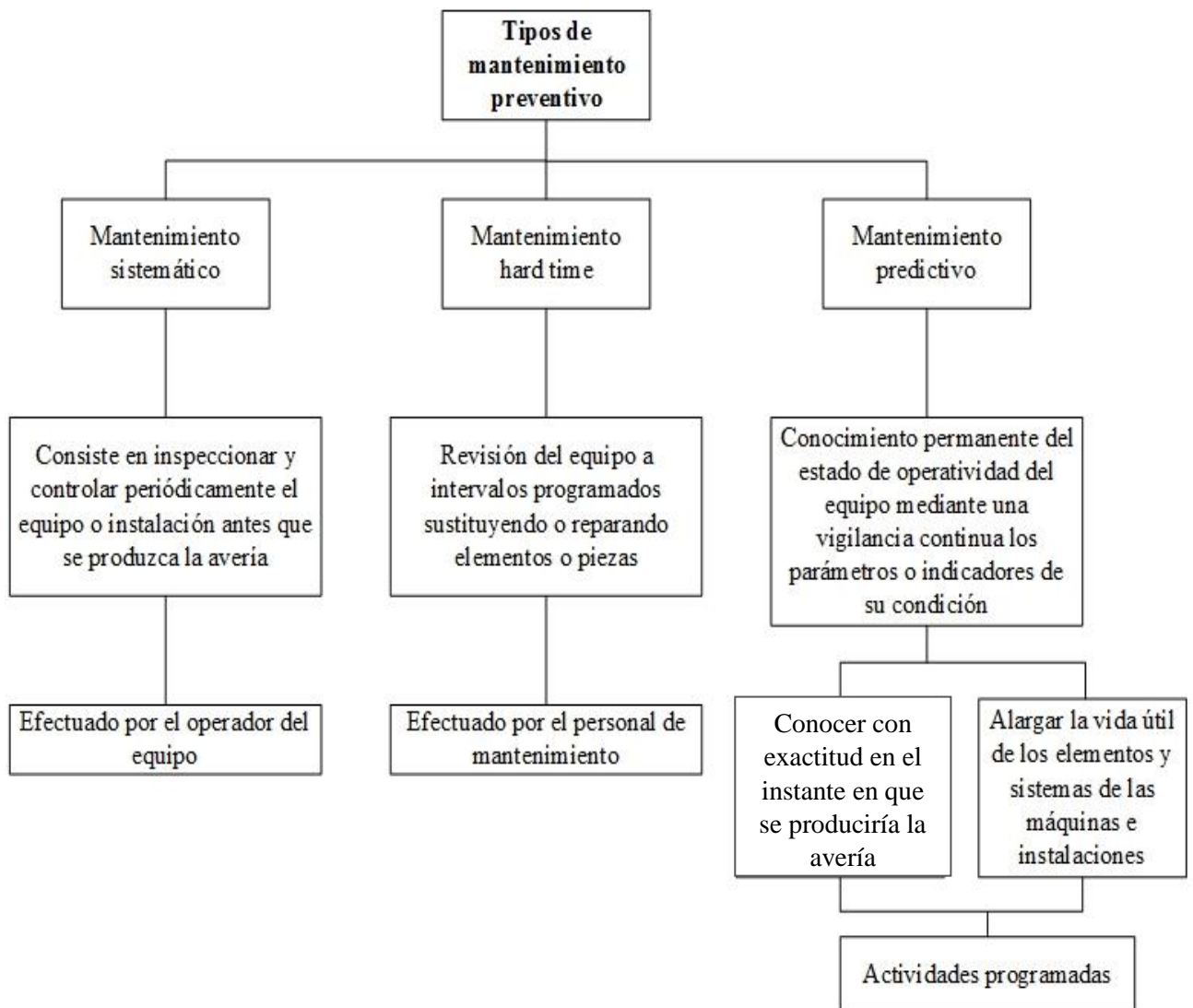


Fuente: Elaboración propia

- **Tipos de mantenimiento preventivo**

Para un mejor entendimiento, el autor de esta tesis dividió al mantenimiento preventivo en tres importantes grupos: Mantenimiento sistemático, mantenimiento hard time y mantenimiento predictivo los cuales se muestran en la *Figura 9*.

Figura 9. Tipos de mantenimiento preventivo



Fuente: Elaboración propia

- **Mantenimiento proactivo o productivo**

Este mantenimiento tiene como fundamento los principios de solidaridad, colaboración, iniciativa propia, sensibilización y trabajo en equipo. De modo tal que todos los involucrados indirecta y directamente en la gestión del mantenimiento, deben conocer la problemática del mantenimiento; es decir, tanto como el personal de mantenimiento y el de logística deben estar al tanto de todas las labores que se realizarán en el mantenimiento del equipo, cada persona de acuerdo al cargo que ocupa debe aportar para el trabajo de mantenimiento.

El mantenimiento proactivo implica contar con una planificación de las operaciones a realizar, el cual debe estar incluido en el plan estratégico a realizar.

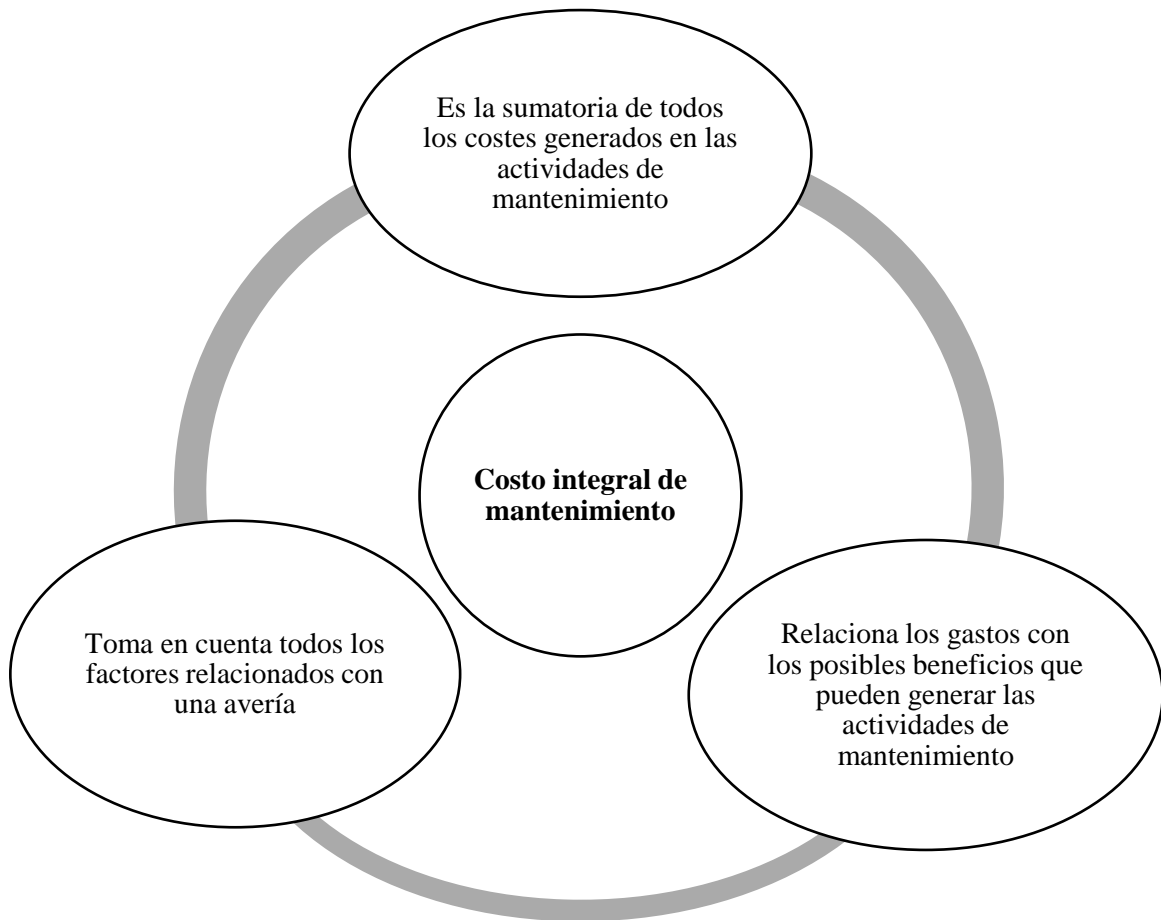
Este mantenimiento a su vez debe brindar indicadores (informes) hacia la gerencia, respecto al progreso de las actividades, logros, aciertos y también los errores que se pueden dar durante el proceso de mantenimiento.

2.2.5. Costo integral del mantenimiento

SOTO (2002) define que el costo integral del mantenimiento tiene en cuenta todos los factores relacionados con la avería y no solo los directamente relacionados con el mantenimiento.

El costo integral del mantenimiento es igual a la sumatoria de los costos fijos, variables, financieros y de falla.

Figura 10. Costo integral de mantenimiento



Fuente: Elaboración propia

2.2.6. Mantenimiento preventivo basado en la confiabilidad

Para desarrollar este apartado, el autor de la investigación hace mención a un diplomado titulado "Gestión estratégica del mantenimiento" en la Universidad Nacional de Ingenierías en el cual rescata la información de la siguiente presentación: UNI (S.F.). *INGENIERÍA DE CONFIABILIDAD APLICADA AL MANTENIMIENTO (GESTIÓN ESTRATÉGICA PARA UN MANTENIMIENTO PREDICTIVO)*

La ingeniería de confiabilidad son herramientas teóricas y prácticas que permiten especificar, proyectar, probar y demostrar la probabilidad y la capacidad según la cual componentes, productos, equipamientos y sistemas desempeñaran sus

funciones, por periodos determinados de tiempo, en ambientes específicos y sin presentar fallas.

Confiabilidad es una de las características de calidad más importante para componentes, productos y sistemas complejos.

Es una metodología científica aplicada para conocer el desempeño de vida de productos, equipamientos, plantas o procesos; para asegurar que estos ejecuten su función, sin fallar, por un periodo de tiempo en una condición específica

- **Etapas de la confiabilidad**

- **Confiabilidad previsional:** Es aquella confiabilidad basada en un modelo matemático definido a partir de las especificaciones técnicas del diseño y de la confiabilidad estimada de los componentes que intervienen en el mismo.
- **Confiabilidad estimada o intrínseca:** Es aquella que se obtiene mediante ensayos específicos realizados sobre un prototipo. A través de estos ensayos se podrá comprobar si la confiabilidad calculada se corresponde con la prevista inicialmente.
- **Confiabilidad de la operación:** Es la que se obtiene durante la vida útil del producto y depende del soporte logístico y de las condiciones reales de utilización.

- **Teorías básicas de la renovación**

- La teoría de la renovación explica las situaciones de falla donde las acciones preventivas basadas en el uso conducen hacia una restauración completa.
- Frecuentemente el enfoque es por el lado de la distribución estadística.

- Generalmente, se acepta que las fallas tienen lugar de acuerdo a una u otra distribución.
- Una de las distribuciones que frecuentemente se emplea en mantenimiento es la distribución Weibull.

- **Función de densidad**

La función de densidad nos da la probabilidad que ocurra una falla en un tiempo específico. Sus unidades son falla/ítem-tiempo. Así, para cualquier punto da la probabilidad que una falla ocurra durante la siguiente unidad de tiempo.

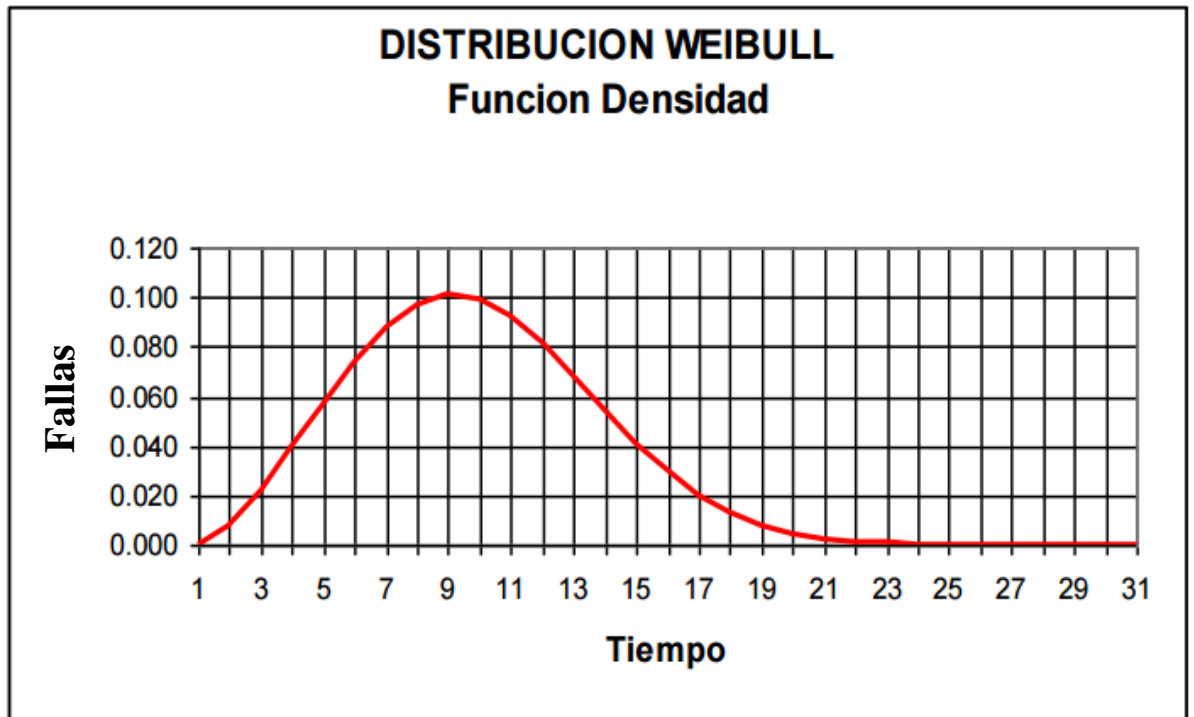
$$f(t) = \frac{1}{N} \frac{\Delta n}{\Delta t}$$

Si $\Delta t \rightarrow 0$:

- Δn = número de fallas en el intervalo de tiempo $[t, t+\Delta t]$
- Δt = Longitud del intervalo de tiempo
- N = Población original

$$f(t) = \frac{1}{N} \frac{dn}{dt}$$

Figura 11. Función densidad



Fuente: Gráfico recuperado de UNI (s.f.). *Ingeniería de confiabilidad aplicada al mantenimiento* [Gestión estratégica para un mantenimiento predictivo].

- **Función de probabilidad acumulada de falla**

Esta función nos da la probabilidad acumulada de falla; representa la probabilidad que una falla ha ocurrido antes de cierto tiempo.

$$F(t) = \frac{\sum n_i}{N}$$

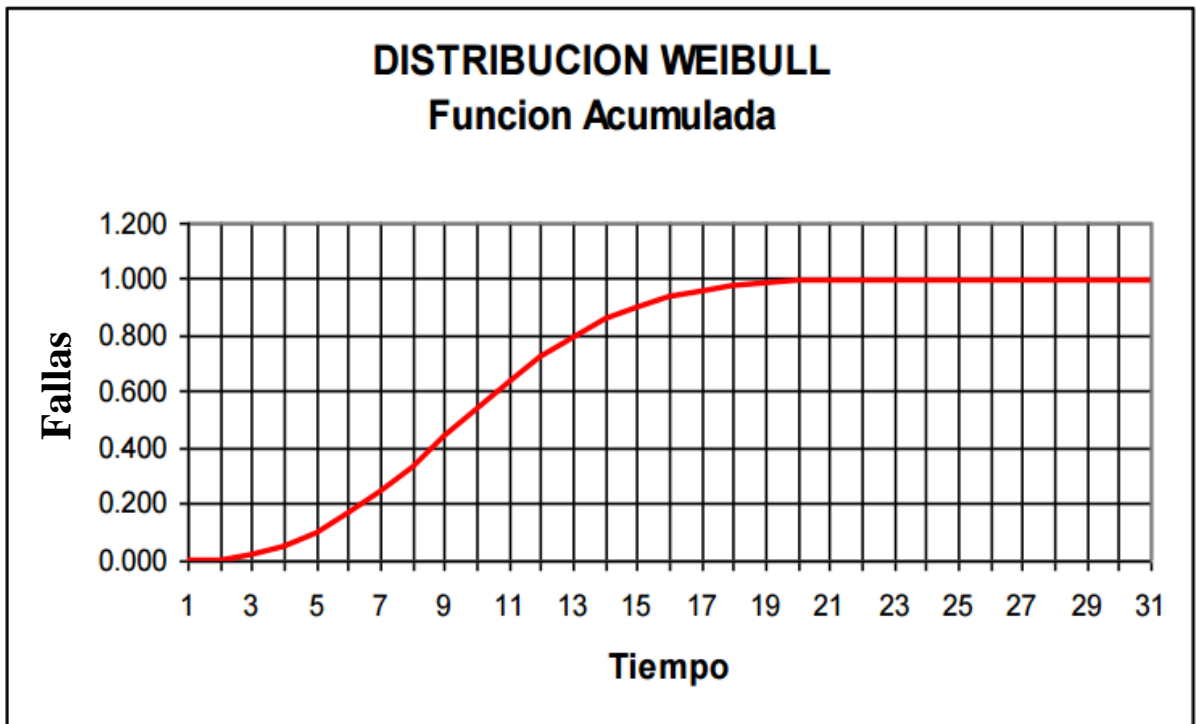
Si $\Delta t \rightarrow 0$:

• $\sum n_i$ = Número de fallas para un tiempo t

• N = Población original

$$F(t) = \int_0^t f(t) dt$$

Figura 12. Función acumulada de fallas



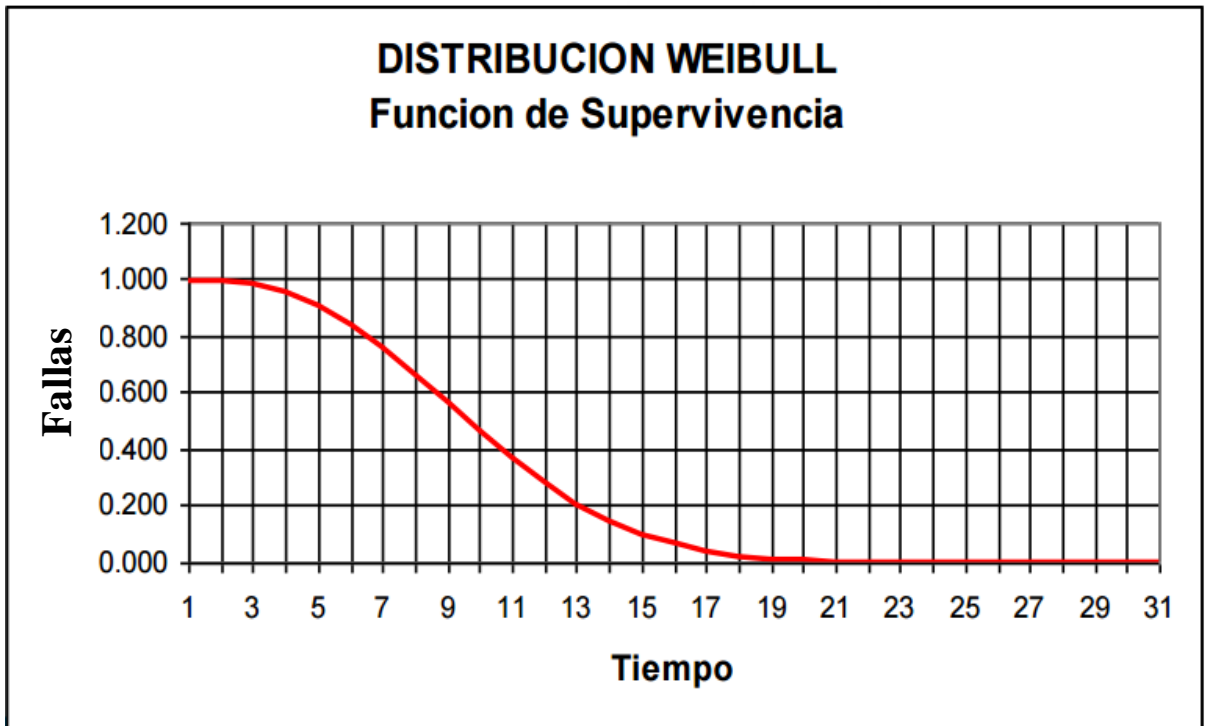
Fuente: Gráfico recuperado de UNI (s.f.). *Ingeniería de confiabilidad aplicada al mantenimiento* [Gestión estratégica para un mantenimiento predictivo].

- **Función de supervivencia o de confiabilidad**

La función de supervivencia o confiabilidad es el complemento de la función de distribución de falla. Nos da la probabilidad de supervivencia para cualquier tiempo específico.

$$R(t) = 1 - F(t)$$

Figura 13. Función de supervivencia



Fuente: Gráfico recuperado de UNI (s.f.). *Ingeniería de confiabilidad aplicada al mantenimiento* [Gestión estratégica para un mantenimiento predictivo].

- **Función de riesgo**

Es la función más importante en la teoría de la renovación. La forma de la función de riesgo sobre una gran magnitud determina qué estrategia se usará para mantener un componente específico.

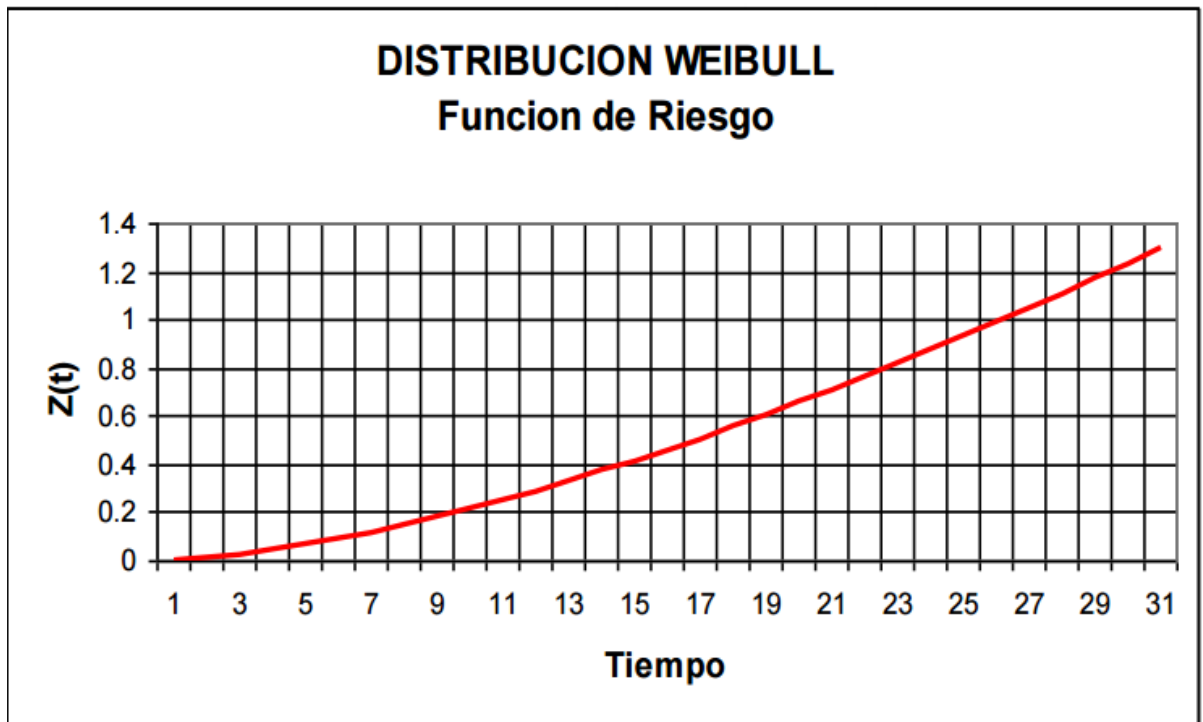
$$r(t) = \frac{1}{n(t)} \frac{\Delta n}{\Delta t}$$

• Δn = Número de fallas en un intervalo de tiempo $[t, t+\Delta t]$

• Δt = ancho del intervalo de tiempo

• $n(t)$ = Población sobreviviente en el tiempo t

Figura 14. Función de riesgo



Fuente: Gráfico recuperado de UNI (s.f.). *Ingeniería de confiabilidad aplicada al mantenimiento* [Gestión estratégica para un mantenimiento predictivo].

- **Análisis de Weibull**

- El análisis Weibull requiere el tiempo para la falla como dato.
- Una falla debe ser un evento definido y no solo una valoración subjetiva de pérdida de rendimiento.
- Los datos deberán ser estadísticamente una muestra al azar de la población.
- Emplear la medida de utilización adecuada para el equipo y el mayor modo de falla.
- Revisar otros factores tales como posición instalada, mal uso, incorrecto diagnóstico de falla, etc.

CAPÍTULO III

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE MANTENIMIENTO DE LA SERVICE PARA LOS MUELLES DE LA FLOTA DE VOLQUETES

VOLVO FMX – 440

3.1. Información de la empresa

Con casi 40 años en el campo del alquiler de maquinaria pesada para el movimiento de tierras a nivel nacional, Grupo TTN S.A.C. es una de las empresas con mayor experiencia de su rubro en el Perú.

La empresa ha participado en innumerables obras de construcción, rehabilitación de carreteras y trabajos en minas.

Grupo TTN S.A.C. ha implementado sistemas de seguridad de acuerdo a los altos estándares que sus clientes exigen, invierte en programas de mantenimiento preventivo de toda la maquinaria que disponen y cuenta con una flota de equipos que se renueva permanentemente.

La empresa alquila camiones volquetes, cargadores frontales, excavadores de oruga, tractores y demás equipos relacionados al movimiento de tierras los mismos que se encuentran perfectamente operativos y con personal altamente capacitado, lo que

garantiza al cliente la mayor productividad y retorno de su inversión, la misma que posee con:

- 70 volquetes Volvo de 15m³.
- Cinco cargadores frontales Volvo L120 de 3.5 m³ sobre llantas.
- Tres cargadores frontales Volvo L150 de 4 m³ sobre llantas.
- Ocho excavadoras sobre orugas Volvo 380 de 2.3 m³.
- Dos tractores sobre orugas D8T Caterpillar.
- Siete camionetas de auxilio Toyota Hi Lux.
- Ocho equipos de soldar y generación eléctrica.

3.1.1. Misión y visión

- Misión

Somos parte de grandes e importantes obras, brindando soluciones integrales en movimiento de tierras, alquilando maquinaria pesada y contando con personal especializado que la opera.

Nuestro trabajo se realiza con altos estándares de seguridad, con equipos en óptimo estado de funcionamiento, con la garantía y certificación de nuestros proveedores de equipos y con el respaldo de un experimentado grupo de mantenimiento propio.

- Visión

Consolidar nuestra posición de liderazgo en el rubro de alquiler de maquinaria pesada a nivel nacional, basados en la prestación de servicios de alta calidad. Facilitar el crecimiento personal y profesional de cada uno de nuestros colaboradores y a través de ellos lograr un desarrollo positivo en nuestra sociedad.

3.1.2. Proceso de mantenimiento de muelles de volquetes Volvo FMX – 440

Según Heizer y Render (1997) denominan ballesta al conjunto de resortes planos que hace parte de la suspensión de esta clase de vehículos y cuya función, en equipo con el amortiguador, es absorber las irregularidades del camino para proteger de los movimientos bruscos a los pasajeros, la carga y partes mecánicas delicadas del automotor. Un resorte de ballesta (o muelle) se compone principalmente de hojas, bujes, tornillo central, abrazaderas y separadores, que actúan de forma integral como un solo elemento. Este resorte siempre está sometido a permanentes oscilaciones acompañadas de esfuerzos de tensión y compresión y, por consiguiente, la alteración de cualquiera de sus componentes afecta el funcionamiento y acorta su vida útil. En el diseño de estos resortes, se analizan los esfuerzos máximos y se establece su vida útil (que se mide por el número de ciclos o movimientos alternativos que puede soportar antes de presentarse una falla); cada resorte obedece a un diseño específico que establece la capacidad de carga y condiciones de instalación, según la geometría de la suspensión de cada vehículo en particular. Durante su funcionamiento normal, los resortes están sometidos a esfuerzos de tensión y compresión, pero hay que añadirle el de fricción entre las hojas, que provocan calentamiento del material y dan origen a la fatiga. Esta fatiga ocasiona el debilitamiento del material hasta la fractura del mismo. Por otra parte, en algunos talleres someten los resortes a calentamiento para cortar, cambiar la curvatura, soldar, extraer bujes, alterar el diámetro o la forma de los ojos o para adelgazarlos. Esta práctica varía las propiedades físicas del material y ocasiona cambios en la forma del material y su posterior rotura. Mantenimiento Para prolongar la duración de los muelles hay que realizar mantenimiento rutinario cada 6.000 kilómetros, consistente en el ajuste de las grapas y del tornillo central,

inspección de cada una de las abrazaderas y hojas, verificación del estado del buje, lavado del resorte y engrase de las partes que se necesiten. Como mantenimiento preventivo, los especialistas dicen que debe hacerse cada 34.000 kilómetros y debe incluir: desmonte y desarmado del resorte, lavado e inspección de cada una de las partes (en caso de grietas o pérdida de curvatura, cambie las piezas), pintura de las hojas con anticorrosivos, cambio del tornillo y tuerca central (utilice grado 8), ensamble de las hojas con prensa para ayudar al asentamiento y apriete del tornillo central con el torque correcto. Fracturas Cuando este fenómeno se produce cerca de la perforación central (aledaña a la grapa de ajuste) la causa obedece a sobrecarga o a que sufrió un golpe seco y muy fuerte). La zona más débil de una hoja es por donde se encuentra la perforación central. Cuando la fractura sucede por ese punto, la causa es que no hubo suficiente apriete de la grapa. Si es en el área del ojo (vuelta en el extremo) se debe a alteraciones de los balancines o soportes, defecto del material, mala instalación de los bujes o bujes de dimensiones diferentes a las especificadas.

Inicio de muelles

Para *GARCÍA (2004D)* las ballestas no son un invento nuevo. Se han utilizado desde la antigua Roma, en una forma u otra, primero como postes de madera y, en el siglo 18, una placa de acero. En 1804, Abdías Elliot inventó el primer resorte de lámina de acero que se asemeja más estrechamente el resorte de lámina de hoy en día cuando se apilan las placas de acero y de ellos unido a la parte inferior de un carro. Peso - cojinete

Uno de los propósitos de los resortes de lámina es para soportar el peso del vehículo. El diseño semi - elíptica ayuda a sostener el vehículo, manteniéndolo por

encima del bastidor y el eje. Los vehículos más grandes, que no sólo deben soportar su peso, sino también sus cargas más pesadas pueden tener fuentes adicionales o de servicio pesado hoja.

Característica de muelles

Rescatando el aporte de GARCÍA (2004E) la ballesta es un conjunto elástico realizado con láminas de acero de la misma composición que el empleado para los muelles helicoidales en otros sistemas de suspensión, es decir, aleado con silicio y manganeso. Esta composición más su especial forjado y temple permiten a estas láminas doblarse bajo la acción de una fuerza, retornando a su posición inicial tras el cese de la misma.

Las láminas de acero que componen la ballesta reciben el nombre de *hojas*, y su longitud siempre es diferente respecto a las contiguas, de mayor a menor. Las hojas se mantienen unidas mediante un orificio central común a todas ellas, atravesado por un tornillo llamado tornillo capuchino. El conjunto de la ballesta se une al bastidor del vehículo mediante la hoja más larga, usualmente ubicada en la posición más alta. Esta hoja recibe el nombre de *hoja maestra*, y sus extremos están curvados tomando una forma cilíndrica para permitir su encaje en el bastidor. Estos extremos curvados se denominan *ojos*.

Para mantener la alineación de las hojas, además del tornillo capuchino central se dispone de varias bridas en U que impiden el desalineado durante el proceso de absorción de golpes del sistema de suspensión. Estas bridas se llaman abarcones.

La primera aplicación de una ballesta a un vehículo, como elemento elástico de las suspensiones, y, por tanto, la primera tentativa válida de aplicación a un vehículo de un ingenio que permitiese neutralizar o amortiguar los saltos producidos por las irregularidades de los caminos, debe situarse en el siglo xvi. Anteriormente, en el siglo XV, ya se trató de hacer más confortables los carros suspendiendo su caja mediante cadenas o correas. Así surgió la carroza, cuyo perfeccionamiento estuvo condicionado precisamente por la adopción de la ballesta (las primeras eran un simple arco de acero sometido a fáciles roturas).

Los progresos de la ciencia y de la técnica condujeron, en el siglo XIX, a la invención del automóvil, pero el elemento fundamental de las suspensiones, es decir, el elemento elástico, permaneció invariable. Durante muchos años, decir suspensiones de un automóvil significaba decir ballestas; éstas se empleaban en los ejes rígidos, en los puentes De Dion, en las suspensiones independientes, etc., siguiendo el desarrollo técnico. Las disposiciones que se emplearon iban desde el tipo normal hasta el semicantiléver y cantilever: del tipo semielíptico al de un cuarto de elipse, con todas las combinaciones posibles (tipo elástico, tres cuartos de elipse, etc.), tal como se ilustra en las figuras.

La diferencia principal entre las suspensiones por ballestas y las de los demás tipos consiste en que las primeras pueden reunir, además de una función meramente elástica, otras de guiado de las ruedas con relación al bastidor o a la carrocería y de amortiguamiento de las oscilaciones de la masa suspendida. Entendida como órgano elástico, la ballesta es un muelle de acero que trabaja por flexión y puede suponerse que deriva de una viga de resistencia uniforme. Cuando la anchura es

constante, en las secciones próximas al punto de aplicación de la fuerza de sollicitación es menor y, por tanto, el material resulta poco aprovechado. En cambio, en la configuración triangular todo el material resulta igualmente sollicitado y se consigue con ello el mínimo peso del muelle.

Para *DOMENICO (1999)* el coeficiente de utilización del material es, en cualquier caso, menor que en los muelles de torsión y que en los helicoidales. En la práctica, se puede substituir el muelle simple por un paquete de hojas (ballesta de varias hojas), en el cual aquél puede considerarse obtenido de la unión de unas tiras cortadas simétricamente con relación al eje longitudinal de la lámina triangular. Además, la realización práctica determina la presencia de ojos de articulación para las uniones situados en los extremos de la hoja más larga. Por razones de ruido, las articulaciones pueden realizarse mediante el empleo de silent blocks en lugar de ejes y cojinetes. Las diferentes hojas suelen ir agrupadas por medio de abrazaderas.

El material con que se construyen los muelles de ballesta pertenece en general a la clase de los aceros aleados con manganeso y silicio, de límite elástico elevado. Como en todos los tipos de muelles, el material se halla sometido a notables tensiones: para mejorar su resistencia a la fatiga se recurre al procedimiento especial del granallado o boleado, consistente en bombardear la superficie de las láminas con bolas de acero; también puede ser conveniente dar a las láminas tensiones previas permanentes, mediante una operación de laminado con rodillos, en sentido opuesto a las tensiones derivadas de la carga útil.

A veces, la hoja más larga, que es la que soporta mejores tensiones, ya que es la que efectúa la unión con la carrocería, se construye de mayor tamaño que las demás. En algunas construcciones (ballestas múltiples), las diferentes hojas pueden

intervenir sucesivamente, consiguiéndose así una rigidez variable con la carga, de manera análoga a lo que sucede con los muelles helicoidales de paso variable.

Las ballestas son asimismo órganos de unión entre las ruedas y la carrocería. El tipo de unión depende de la suspensión.


El sistema más extendido antiguamente era aquél en que un puente rígido trasero se fijaba con abrazaderas a la parte central de las ballestas, mientras que la fijación a la carrocería se hacía directamente en los ojos delanteros y, por medio de unas pequeñas bielas o gemelos, a los ojos traseros. La finalidad de estas bielas consiste en permitir que el muelle se distienda bajo el efecto de la carga. Una aplicación de las suspensiones independientes es aquella en que los brazos inferiores de los cuadriláteros han sido substituidos por una ballesta que, al mismo tiempo, desarrolla la función de barra anti balanceo.

Sin embargo, la función de guiado y unión que desarrollan las ballestas no resulta satisfactoria, ya que es difícil que tenga al mismo tiempo gran flexibilidad en los movimientos deseados (por ejemplo, desplazamientos verticales) y gran rigidez en los movimientos no deseados (por ejemplo, desplazamiento transversal y ángulo de giro de un puente respecto a la caja, etc.). Por estos motivos, el empleo de las ballestas que a la vez tienen funciones de unión se limita a automóviles que requieren prestaciones moderadas desde el punto de vista de la estabilidad. Algunas tentativas para mejorar dicha situación consisten en la adición de cadenas cinemáticas de conducción (por ejemplo, una barra Pan-hard); sin embargo, en tal caso se pierde la ventaja de la sencillez original.

La tendencia más moderna es la de guiar la rueda mediante un mecanismo cinemático y encomendar a la ballesta tan sólo la misión de elasticidad. Dicha disposición del muelle de ballesta (que funciona también como barra anti balanceo) presenta en ciertos casos ventajas de aprovechamiento de espacio, aunque su peso con relación al de un muelle helicoidal que almacene la misma energía resulta mayor (el coeficiente de utilización de los muelles de ballesta es dos tercios del de los muelles helicoidales).

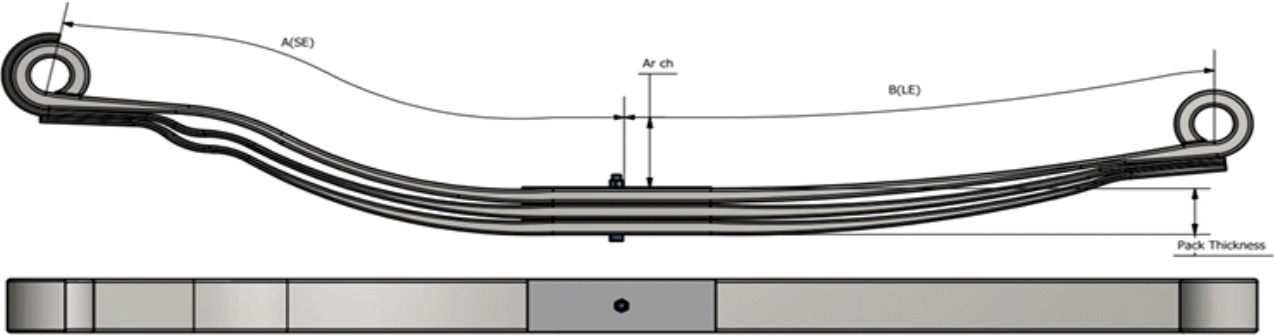
La capacidad de amortiguamiento de una ballesta deriva de las fuerzas de rozamiento que se generan a consecuencia del deslizamiento entre sus hojas. Si bien en los primeros tiempos este rozamiento era útil, posteriormente, con la aparición de amortiguadores efectivos, se trató de eliminarlo; en efecto, al tratarse de rozamiento de tipo seco, es decir, independiente de la magnitud de los movimientos, las ballestas quedarían bloqueadas cuando se pasase sobre irregularidades pequeñas. Esto trae consigo deficientes características de confort y un ruido molesto. Por ello se requiere un mantenimiento frecuente, consistente en una lubricación a base de aceite y grafito. Para eliminar estos inconvenientes se adoptan también soluciones de hoja única o de pocas hojas.

Figura 15. Ficha técnica de los muelles



Organización
HERCULES

DATA SHEET REF. 92-P106-0



VOLVO FMX -840R

Medidas de fabricacion en planta

Item	OEM	Referencia	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Lado fijo (LC) mm	Lado movil (LL) mm	Buje LC	Buje LL	# Hojas	# P. de Altura	Flecha	Capacidad de Carga (kgf)	Peso
42174	N/A	92-P106-0							3	0	164	4000	147,45
42152	N/A	92-P106-1	90	26	860	860	SB	SB					31,3878
42151	N/A	92-P106-2	90	26	860	877							20,5538
42150	N/A	92-P106-3	90	26	880	880							20,7638
				84									

LAINAS	Espesor	2	Cantidad	3
---------------	----------------	---	-----------------	---

Fuente: Recuperado del catálogo tracto camión-muelles-FMX

Según el estudio de investigación el autor, se centró en los muelles de las unidades de volquetes Volvo FMX-440. *La Tabla 3* muestra a detalle los componentes físicos y sistemas que contienen dichos volquetes.

Tabla 3
Sistemas y componentes del volquete Volvo FMX - 440

Volquete Volvo FMX-440	
Sistemas	Componentes
Suspensión	muelles
	soporte de muelle
	amortiguador
	soporte de motor
	amortiguador de cabina
	bujes de muelle
Frenos	zapatas
	rodamientos
	gomas hidráulicos
	compresora de aire
	correa de alternador
Motor	balancines
	turbo
	inyectores
	ventilador
	árbol de levas
Transmisión	caja
	supermarcha
	embrague
	botella hidráulica

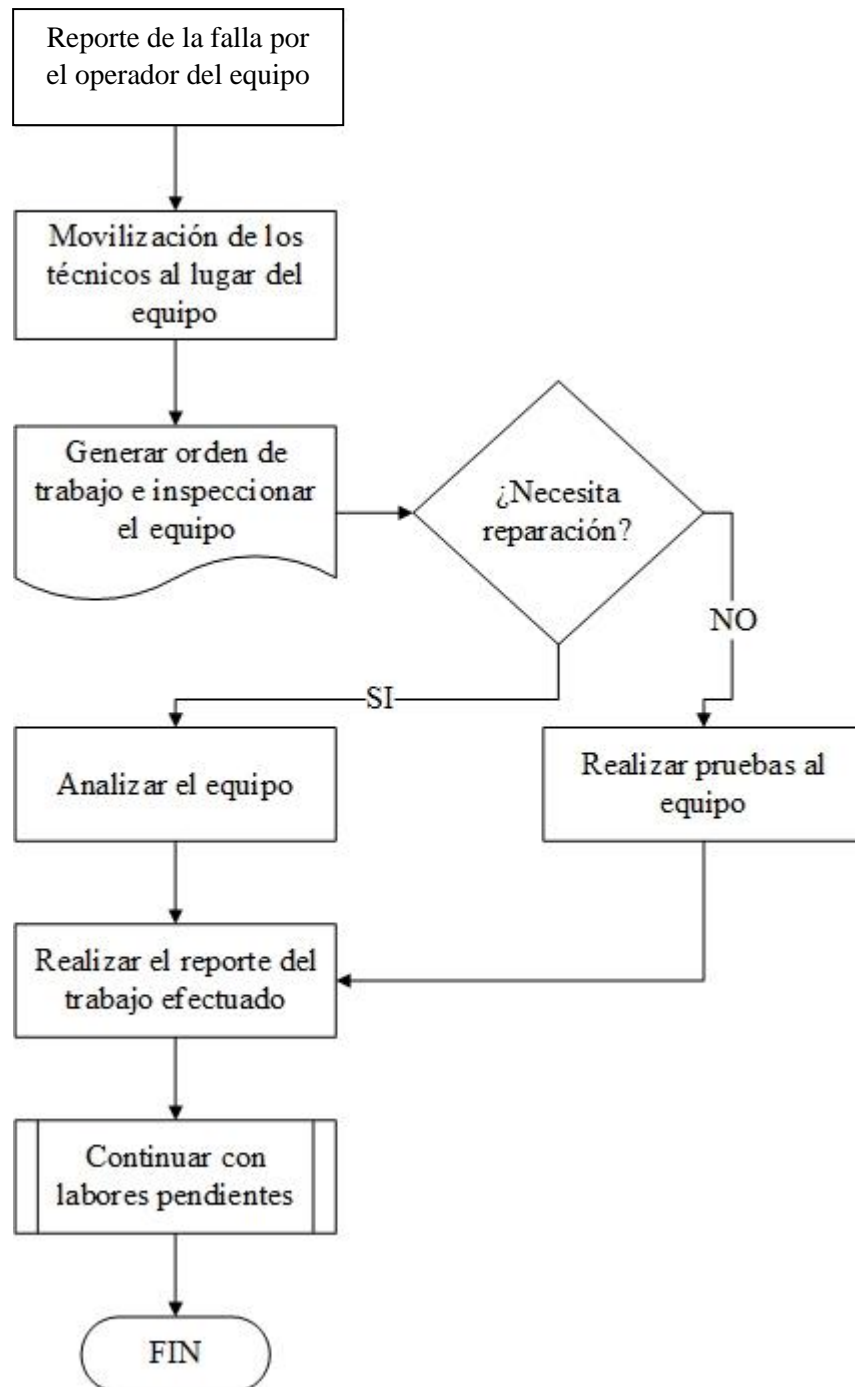
Fuente: Información proporcionada por Grupo TTN S.A.C.

Según el informe preliminar que realizan los mecánicos de los volquetes, se toma la decisión de realizar algún tipo de mantenimiento dependiendo de la situación del equipo; para ello la empresa sigue un programa de mantenimiento mediante el uso de flujogramas.

- Inspección de los sistemas del volquete.
- Traslado del sistema crítico al taller.
- Inspección de componentes del sistema crítico.
- Realizar pruebas y regresar a la mina.
- Efectuar mantenimiento correctivo.

A. Flujograma del mantenimiento correctivo del muelle

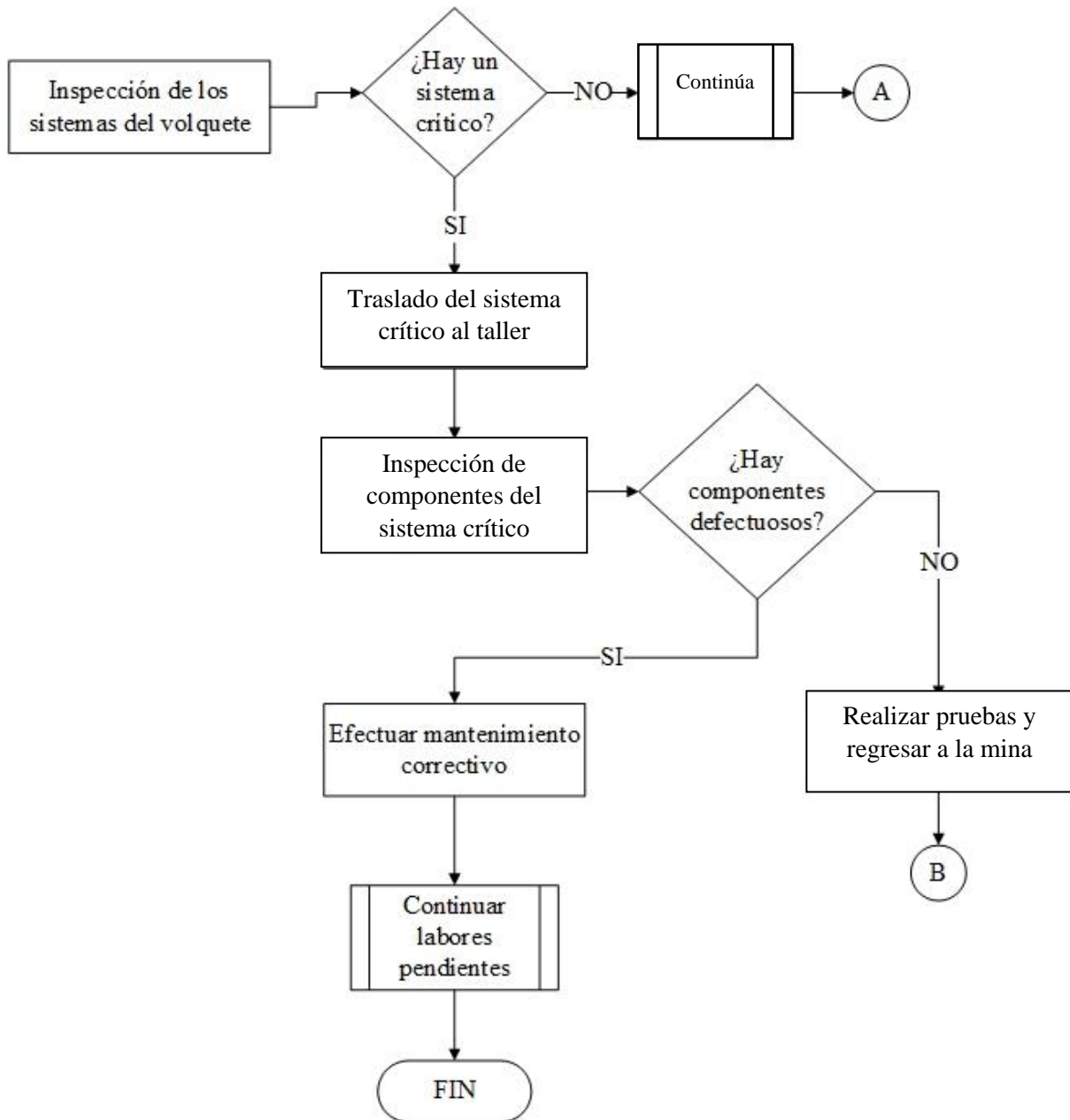
Figura 16. Flujograma para el mantenimiento correctivo del muelle



Fuente: Información proporcionada por la empresa

B. Flujograma del mantenimiento de emergencia del muelle


Figura 17. Flujograma para el mantenimiento de emergencia



Fuente: Información proporcionada por Grupo TTN S.A.C.

Una vez determinado qué tipo de mantenimiento se va a realizar en el sistema y/o componentes del volquete Volvo FMX-440, se procede a llenar las órdenes de trabajo en el formato que la organización ya tiene estandarizado, tal y como se muestra en la *Tabla 4*.



Tabla 4
Ejemplo de orden de trabajo para mantenimiento de muelle

ORDEN DE TRABAJO Nº SM-05					
EQUIPO	CAMION VOLQUETE		PLACA	V7Y-898	
FECHA DE RECEPCION	31-jul-17	HOROMETRO ENTRADA	3286.18	KILOMETROS SALIDA	40,049.30
FECHA DE ENTREGA	01-ago-17	HOROMETRO SALIDA	3286.51	KILOMETROS ENTRADA	40,049.30
UBICACIÓN	TALLER-TTN		HORA DE INICIO	8,30 AM	
		Nº DE BIEN	V-1141	HORA DE TERMINO	11.30 AM
TRABAJOS SOLICITADOS Y/O REALIZADOS					
ITEM	DESCRIPCION		DURACION	OBSERVACION	
1	SERVICIO MANTENIMIENTO PREVENTIVO		2 HORAS		
2	REVISION DE PINES DE COMPUERTA		0,5 HORAS		
3	REVISION DE SISTEMA DE GANCHOS		0,5 HORAS		
4	REVISION DEL SISTEMA ELECTRICO		1 HORAS		
5	REVISION DE NIVELES		0,5 HORAS		
6	LAVADO Y ENGRASE GENERAL		1 HORAS		
7	REVISION DE NIVELES DE BATERIA		0,5 HORAS		
8					
9					
10					
REPUESTOS, INSUMOS Y MATERIALES					
ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	OBSERVACION	
1	ACEITE DE MOTOR VDS3 15w40	Litros	40		
2	FILTRO ACEITE LONG LIFE	Unid.	2		
3	FILTRO ACEITE BAY PASS	Unid.	1		
4	FILTRO COMBUSTIBLE	Unid.	1		
5	FILTRO SEPARADOR AGUA	Unid.	1		
6	GRASA	Lib.	3		
7	AGUA ACIDULADA	Unid.	3		
8					
9					
PERSONAL RESPONSABLE					
Nº	NOMBRES Y APELLIDOS		CARGO	FIRMA	
1	MARTIN SURCO VILCA		SOLDADOR		
2	SANDRO QUICO TITO		MECANICO		
3	DAVID LIPE		MECANICO		

Fuente: Información proporcionada por Grupo TTN S.A.C.

Seguidamente se procede a elaborar el informe del mantenimiento realizado en el muelle tal y como se muestra en la *Tabla 5*.

Tabla 5
Informe de mantenimiento del muelle en el taller

				INFORME DE TALLER		Nro. 022-2018	
ULTIMO FRENTE DE TRABAJO			CONVENIO MARCO				
LUGAR DE DONDE SE MOVILIZO			CONVENIO MARCO				
UBICACIÓN DE EQUIPO			CONVENIO MARCO				
RECEPCION DE EQUIPO							
FECHA DE INGRESO A TALLER		05-abr-18		CODIGO		MBE-045	
EQUIPO	MARCA	MODELO	PLACA	HOROMETRO	FECHA		
VOLQUETE	VOLVO	FMX	AMS-750		05-abr-18		
DESCRIPCION DE AVERIA							
				<p>Muelle delantero roto posicion 1 3ra hoja.</p>			
COTIZACION DE REPUESTOS UTILIZADOS							
DESCRIPCION	CANT	CODIGO	C.U. US \$	COSTO TOTAL US \$.			
BALLESTAS	1	257953	1140.78	1,140.78			
				0.00			
				0.00			
Sub total \$				1,140.78			
IGV 18%				205.34			
Total US \$				1,346.12			

Fuente: Información proporcionada por Grupo TTN S.A.C.

Figura 18. Inspección del muelle averiado



Fuente: Elaboración propia

Figura 19. Muelle desmontado



Fuente: Elaboración propia

Figura 20. Falla por rotura en el muelle



Fuente: Elaboración propia

Figura 21. Mantenimiento correctivo del muelle



Fuente: Elaboración propia

3.1.3. Contexto operativo de los muelles

La empresa Grupo TTN S.A.C. cuenta con 70 unidades de volquetes Volvo FMX-440, los cuales se encuentran operando en los campamentos de la Sociedad Minera Cerro Verde para almacenar y transportar en sus tolvas el mineral extraído por un tiempo de 24 horas al día; durante este periodo de tiempo, los equipos son operados quizás erróneamente y de forma inadecuada, acortando su vida útil y por ende disminuir la disponibilidad mecánica.

En el campo, los técnicos afirmaban que el componente que mayores reparaciones sostenía eran los muelles (pertenecientes al sistema de suspensión).

Para identificar y comprobar que los muelles realmente son los componentes que más fallas presentan, el autor de esta investigación hizo una lista del número de fallas, kilometraje y horómetro del volquete Volvo FMX.

Tabla 6

Data operativa del volquete Volvo FMX-440; número de fallas por componente

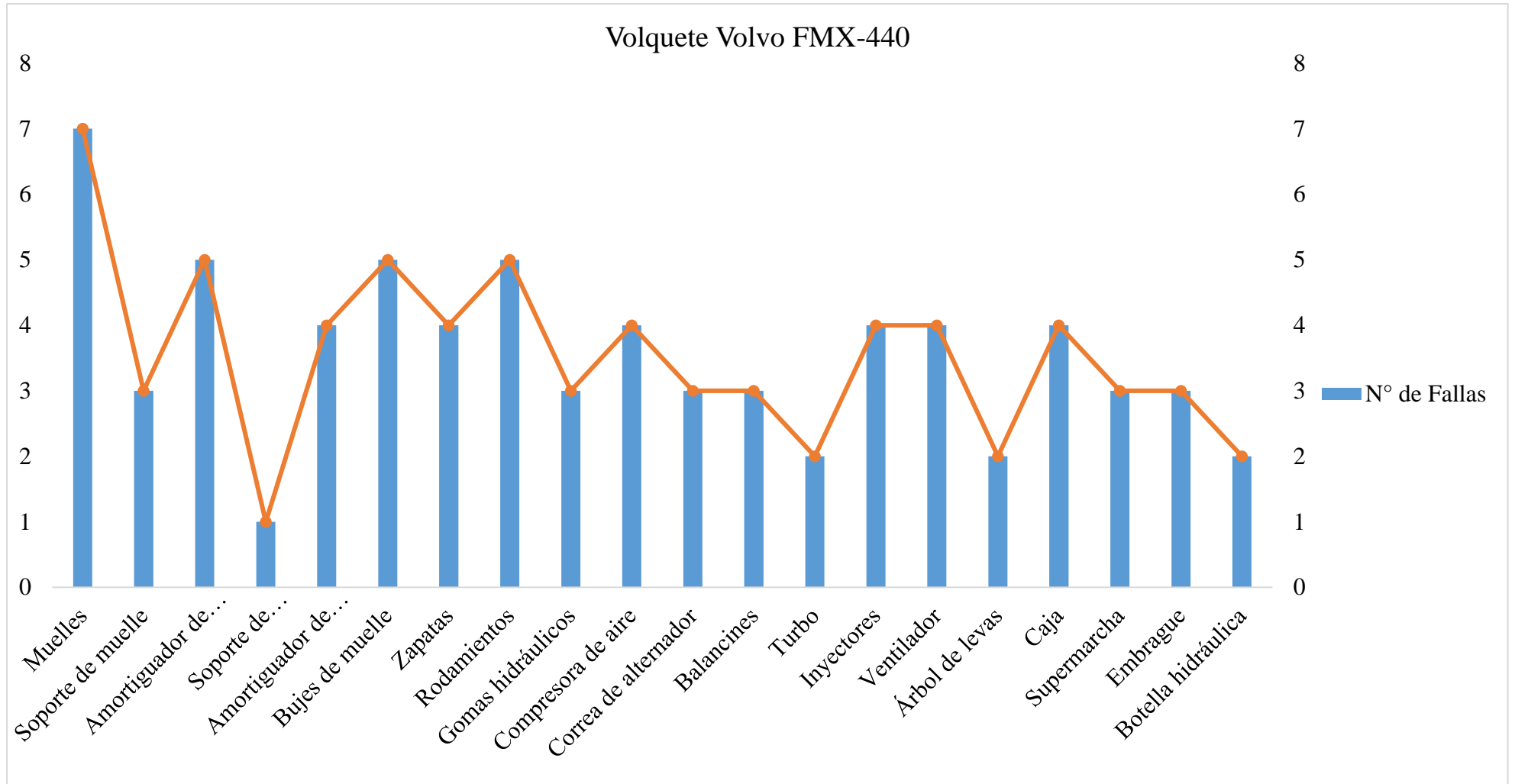
Volquete Volvo FMX-440				
Sistemas	Componentes	Kilometraje	Horómetro	N° de Fallas
Suspensión	Muelles	11564	1241	7
	Soporte de muelle	4 8638	4 273	3
	Amortiguador de cabina	25 000	2 500	5
	Soporte de amortiguador	100 000	9 800	1
	Amortiguador de cabina	10 245	1 203	4
	Bujes de muelle	11 247	1 198	5
Frenos	Zapatatas	48 210	4 900	4
	Rodamientos	49 230	4 955	5
	Gomas hidráulicos	74 286	7 358	3
	Compresora de aire	24 012	2 309	4
Motor	Correa de alternador	60 248	5 981	3
	Balancines	50 000	4 982	3
	Turbo	78 214	7 509	2
	Inyectores	47 560	4 625	4
	Ventilador	39 425	3 865	4
	Árbol de levas	80 005	7 786	2
Transmisión	Caja	62 488	5 791	4
	Supermarcha	5 300	4 900	3
	Embrague	7 2495	6 249	3
	Botella hidráulica	89 431	8 452	2

Fuente: Elaboración propia

Para un mejor entendimiento visual acerca de las fallas de este equipo, el autor elaboró un gráfico de líneas y barras.

La Figura 22 indica que efectivamente los muelles presentan la mayor cantidad de fallas o reparaciones realizadas en el contexto operativo, esto se traduce en indisponibilidad mecánica de los volquetes por lo menos hasta que sean subsanadas esas fallas (lo cual ocasiona insatisfacción en los clientes y disminución de su productividad). A continuación, el autor explica en la Figura 23 por qué es que ocurre con frecuencia el mantenimiento correctivo de los muelles.

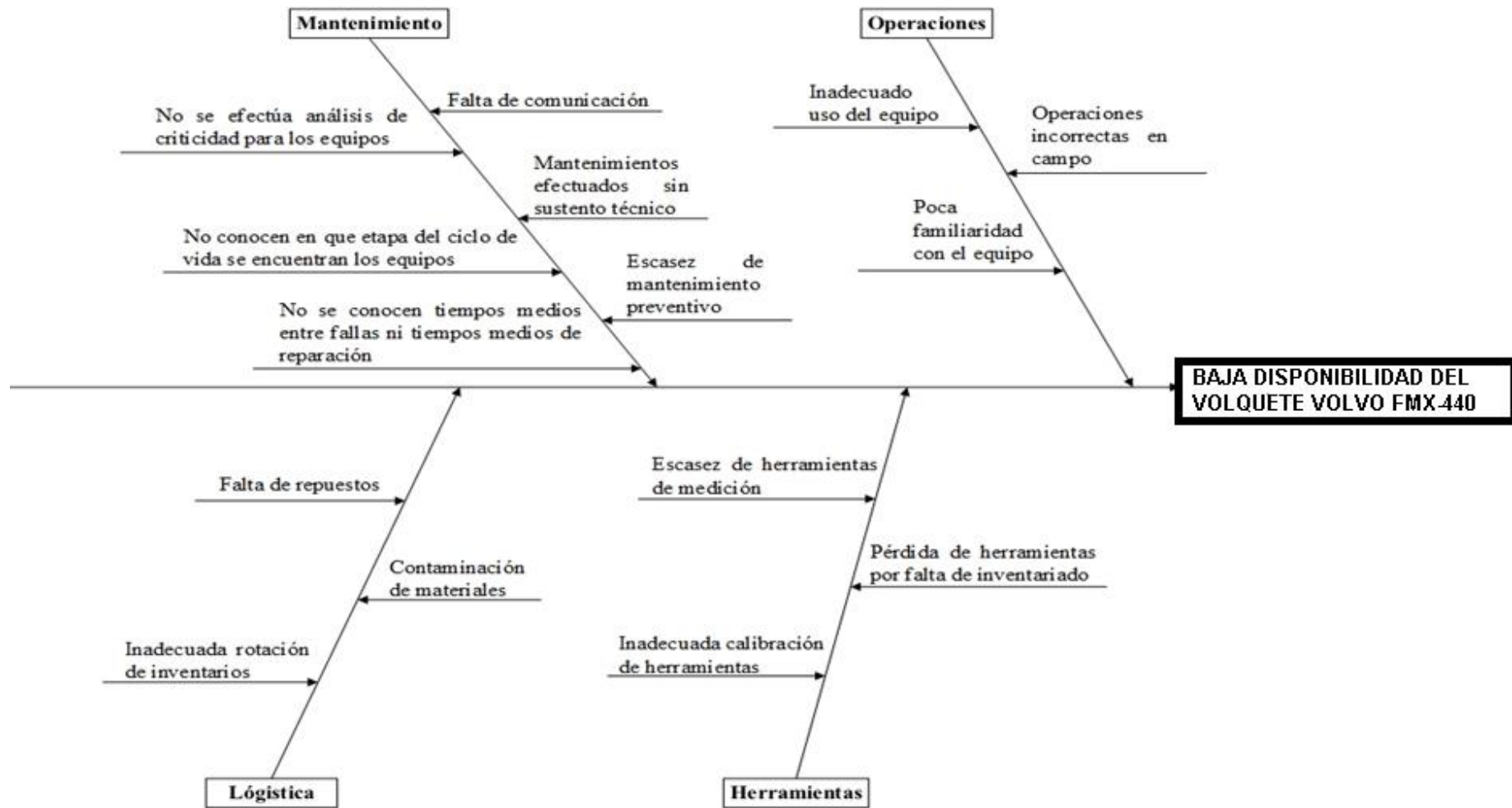
Figura 22. Número de fallas por componente - Volquete Volvo FMX-440



Fuente: Elaboración propia

Análisis causa – raíz

Figura 23. Análisis cusa-raíz de la baja disponibilidad mecánica de volquetes Volvo FMX - 440



Fuente: Elaboración propia

A. Análisis de la causa – raíz

Para el análisis e interpretación del diagrama de Ishikawa, el autor realizó como primer paso un listado de las causas principales que son la raíz que la empresa tenga baja disponibilidad de volquetes Volvo FMX-44. Estas causas fueron plasmadas en la *Figura 23*.

Área de mantenimiento

- No se efectúa análisis de criticidad para los equipos.
- No conocen en qué etapa del ciclo de vida se encuentran los equipos.
- No se conocen tiempos medios entre fallas, ni tiempos medios de reparación.

Área de operaciones

- Inadecuado uso del equipo.
- Poca familiaridad con el equipo.

Logística

- Escases de repuestos.
- Inadecuada rotación de inventarios.

Herramientas

- Escasez de herramientas de medición.
- Inadecuada calibración de herramientas.

El segundo paso que realizó el autor consistió en establecer criterios con los cuales se evaluarán las principales causas.

Para la formulación de estos criterios, se necesitó la intervención de especialistas en la materia, en este caso, asesores externos.

Tabla 7
Criterios de evaluación

N°	Criterios de evaluación
1	¿Es un factor que lleva al problema?
2	Esto ¿Ocasiona directamente el problema?
3	Si esto es eliminado ¿Se corregirá el problema?
4	¿Se puede plantear una solución factible?
5	¿Se puede medir si la solución funcionó?
6	¿La solución es de bajo costo?

Fuente: Elaboración propia

Como tercer y último paso, el autor de este estudio estableció una escala de Likert (beneficio y/o importancia) para asignar un peso para dichos criterios, siendo estos los siguientes:

- Nada importante = 1.
- Muy importante = 3.

Tabla 8

Matriz de control para las oportunidades de mejora

Causas		Posibles soluciones		Criterios				Totales
Área de mantenimiento	Acción correctiva	Factor	Causa directa	Solución directa	Solución factible	Medible	Bajo costo	
No se efectúa análisis de criticidad para los equipos	Aplicar mantenimiento preventivo basado en la confiabilidad (uso de distribución Weibull)	3	3	3	3	3	2	17
No se conocen en qué etapa del ciclo de vida se encuentran los equipos		3	3	3	3	3	2	17
No se conocen tiempos medios entre fallas, ni tiempos de reparación		3	3	3	3	3	2	17
Área de operaciones	Acción correctiva	Factor	Causa directa	Solución directa	Solución factible	Medible	Bajo costo	
Inadecuado uso del equipo	Plan de capacitación basado en funcionamiento adecuado del equipo	3	3	2	1	2	1	12
Poca familiaridad con el equipo	Contratar personal con experiencia operando volquetes Volvo FMX-440	3	2	1	2	1	2	11
Logística	Acción correctiva	Factor	Causa directa	Solución directa	Solución factible	Medible	Bajo costo	
Escases de repuestos	Coordinar con gerente de área para mantener stock de repuestos	2	1	1	2	1	3	10
Inadecuada rotación de inventarios	Curso sobre supply Chain	1	1	1	1	3	3	10

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9

Matriz de control II para las oportunidades de mejora

Causas	Posibles soluciones	Criterios						Totales		
		Herramientas	Acción correctiva	Factor	Causa directa	Solución directa	Solución factible		Medible	Bajo costo
Escasez de herramientas de medición	Invertir en herramientas de medición para un adecuado mantenimiento			1	1	1	1	1	3	8
Inadecuada calibración de herramientas	Mayor control en inspección de herramientas. Instruir al personal para calibrar adecuadamente las herramientas			3	3	2	3	2	2	15

Fuente: Elaboración propia

Este presente análisis logró determinar que en el *área de operaciones* es sumamente factible implementar el mantenimiento preventivo basado en la confiabilidad ya que, como resultado de las ponderaciones asignadas, obtuvo un valor de 17, esto quiere decir que la solución a los problemas identificados son un factor que lleva directamente al problema y que al darle dicha solución se puede medir el éxito; además de ser una mejora de bajo costo. También en este análisis resalta el sector de *herramientas*, considerando que al tener un mayor control de inspección de las herramientas y a su vez instruir adecuadamente al personal que la usa, se podrá solucionar con éxito el problema identificado, ya que es de bajo costo y es una causa directa de la baja disponibilidad de volquetes Volvo FMX-440.

En el caso del *área de operaciones*, para la realidad de la empresa no se toma en cuenta debido a que la operación es responsabilidad del cliente de la organización.

CAPÍTULO IV

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE DATOS Y MEDICIÓN DE INDICADORES DE DISPONIBILIDAD Y CONFIABILIDAD PARA LA FLOTA DE VOLQUETES VOLVO FMX –

440

4.1. Distribución de probabilidad de fallas de la flota de volquetes Volvo FMX – 440

Para elaborar el análisis de confiabilidad y disponibilidad, el autor de este estudio realizó como primer paso la recopilación de la data histórica y/o reportes por fallas. Dichos datos fueron sustraídos de una muestra de 10 unidades de volquetes Volvo FMX-440; los cuales contienen lo siguiente:

- Fecha de adquisición del activo.
- Fecha de salida del muelle para reparación.
- Periodo de tiempo transcurrido entre salidas del muelle.
- Tiempo entre fallas (TO – horas).

Cabe mencionar que para el cálculo del tiempo entre fallas, el autor efectuó la siguiente operación:

$$T_o = \text{Horas de trabajo} * (\text{Días entre salidas de los muelles})$$

**Nota: Como se mencionó en apartados anteriores, las unidades operan las 24 horas del día. Se consideraron 5 eventos por cada volquete Volvo FMX-440*

El lapso de tiempo que se optó para el análisis de confiabilidad está comprendido entre julio, 2013 y diciembre de 2017, tiempo prudente para realizar el análisis para la aplicación del mantenimiento preventivo basado en la confiabilidad.

A continuación, se muestran las tablas con los datos recolectados para poder efectuar el análisis de confiabilidad.

Tabla 10

Data histórica de tiempos entre fallas: Diez unidades de volquetes Volvo FMX-440

1						
V2C-798						
Fecha que fue comprado el volquete 5/02/2013						
Fecha de entrega	1	2	3	4	5	
Salida de muelle	20/11/2013	15/07/2014	05/04/2015	25/09/2016	13/07/2017	10/12/2017
Días	237	264	539	291	150	
TO (horas)	5 688	6 336	12 936	6 984	3 600	
2						
V5J-824						
Fecha que fue comprado el volquete 5/02/2013						
Fecha de entrega	1	2	3	4	5	
Salida de muelle	20/07/2013	15/04/2014	05/01/2015	25/08/2016	13/06/2017	10/12/2017
Días	269	265	598	292	180	
TO (horas)	6 456	6 360	14 352	7 008	4 320	
3						
V5J-840						
Fecha que fue comprado el volquete 5/02/2013						
Fecha de entrega	1	2	3	4	5	
Salida de muelle	20/10/2013	15/05/2014	05/02/2015	25/06/2016	13/05/2017	10/12/2017
Días	207	266	506	322	211	
TO (horas)	4 968	6 384	12 144	7 728	5 064	
4						
V2H-720						
Fecha que fue comprado el volquete 5/02/2013						
Fecha de entrega	1	2	3	4	5	
Salida de muelle	20/12/2013	15/09/2014	05/06/2015	25/09/2016	13/08/2017	10/12/2017
Días	269	263	478	322	119	
TO (horas)	6 456	6 312	11 472	7 728	2 856	
5						
V2B-717						
Fecha que fue comprado el volquete 5/02/2013						
Fecha de entrega	1	2	3	4	5	
Salida de muelle	20/01/2014	15/10/2014	05/07/2015	25/07/2016	13/06/2017	10/12/2017
Días	268	263	386	323	180	
TO (horas)	6 432	6 312	9 264	7 752	4 320	

Fuente: Elaboración propia

6		V2B-717				
Fecha que fue comprado el volquete 5/02/2013						
Fecha de entrega	1	2	3	4	5	
Salida de muelle	15/09/2013	15/05/2014	05/01/2015	25/12/2015	13/10/2016	10/12/2017
Días	242	235	354	293	423	
TO (horas)	5 808	5 640	8 496	7 032	10 152	
7		V2B-711				
Fecha que fue comprado el volquete 5/02/2013						
Fecha de entrega	1	2	3	4	5	
Salida de muelle	25/11/2013	17/06/2014	25/03/2015	25/07/2016	13/06/2017	10/12/2017
Días	204	281	488	323	180	
TO (horas)	4 896	6 744	11 712	7 752	4 320	
8		V2C-722				
Fecha que fue comprado el volquete 5/02/2013						
Fecha de entrega	1	2	3	4	5	
Salida de muelle	28/12/2013	16/08/2014	15/05/2015	05/06/2016	13/05/2017	10/12/2017
Días	231	272	387	342	211	
TO (horas)	5 544	6 528	9 288	8 208	5 064	
9		V2F-707				
Fecha que fue comprado el volquete 5/02/2013						
Fecha de entrega	1	2	3	4	5	
Salida de muelle	12/10/2013	08/06/2014	15/03/2015	18/06/2016	02/06/2017	10/12/2017
Días	239	280	461	349	191	
TO (horas)	5 736	6 720	11 064	8 376	4 584	
10		V2C-796				
Fecha que fue comprado el volquete 5/02/2013						
Fecha de entrega	1	2	3	4	5	
Salida de muelle	10/11/2013	15/05/2014	22/03/2015	25/06/2016	18/07/2017	10/12/2017
Días	186	311	461	388	145	
TO (horas)	4 464	7 464	11 064	9 312	3 480	

Fuente: Elaboración propia

4.1.1. Test de tendencia de Laplace por camiones

Tabla 11

Test de Laplace para volquete V2C-798

V2C-798						
Fecha que fue comprado el volquete 5/02/2013						
Fecha de entrega	1	2	3	4	5	6
Salida de muelle	20/11/2013	15/07/2014	05/04/2015	25/09/2016	13/07/2017	10/12/2017
Días	237	264	539	291	150	-
Horas	5 688	6 336	12 936	6 984	3 600	-
Inter failure time	-	237	264	539	291	150
Runnig Time	-	237	501	1 040	1 331	1481
Σ	3 109					
t*nd	5 924	Se acepta la hipótesis nula IID				
U	0.17					

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12

Test de Laplace para volquete V5J-824

V5J-824						
Fecha que fue comprado el volquete 5/02/2013						
Fecha de entrega	1	2	3	4	5	5
Salida de muelle	20/07/2013	15/04/2014	05/01/2015	25/08/2016	13/06/2017	10/12/2017
Días	269	265	598	292	180	-
Horas	6 456	6 360	14 352	7 008	4 320	-
Inter failure time	-	269	265	598	292	180
Runnig Time	-	269	534	1 132	1 424	1 604
Σ	3 359					
t*nd	6 416	Se acepta la hipótesis nula IID				
U	0.16					

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13
Test de Laplace para volquete VJ5-840

V5J-840						
Fecha que fue comprado el volquete 5/02/2013						
Fecha de entrega	1	2	3	4	5	6
Salida de muelle	20/10/2013	15/05/2014	05/02/2015	25/06/2016	13/05/2017	10/12/2017
Días	207	266	506	322	211	-
Horas	4 968	6 384	12 144	7 728	5 064	-
Inter failure time	-	207	266	506	322	211
Runnig Time	-	207	473	979	1 301	1 512
Σ	2 960					
t*nd	6 048	Se acepta la hipótesis nula IID				
U	-0.07					

Fuente: Elaboración propia

Tabla 14
Test de Laplace para volquete V2H-720

V2H-720						
Fecha que fue comprado el volquete 5/02/2013						
Fecha de entrega	1	2	3	4	5	6
Salida de muelle	20/12/2013	15/09/2014	05/06/2015	25/09/2016	13/08/2017	10/12/2017
Días	269	263	478	322	119	-
Horas	6 456	6 312	11 472	7 728	2 856	-
Inter failure time	-	269	263	478	322	119
Runnig Time	-	269	532	1 010	1 332	1 451
Σ	3 143					
t*nd	5 804	Se acepta la hipótesis nula IID				
U	0.29					

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15
Test de Laplace para volquete V2B-717

V2B-717						
Fecha que fue comprado el volquete 5/02/2013						
Fecha de entrega	1	2	3	4	5	
Salida de muelle	20/01/2014	15/10/2014	05/07/2015	25/07/2016	13/06/2017	10/12/2017
Días	268	263	386	323	180	-
Horas	6 432	6 312	9 264	7 752	4 320	-
Inter failure time	-	268	263	386	323	180
Runnig Time	-	268	531	917	1 240	1 420
Σ	2 956					
t*nd	5 680					
U	0.14					
Se acepta la hipótesis nula IID						

Fuente: Elaboración propia

Tabla 16
Test de Laplace para volquete V2B-718

V2B-718						
Fecha que fue comprado el volquete 5/02/2013						
Fecha de entrega	1	2	3	4	5	6
Salida de muelle	15/09/2013	15/05/2014	05/01/2015	25/12/2015	13/10/2016	10/12/2017
Días	242	235	354	293	423	-
Horas	5 808	5 640	8 496	7 032	10 152	-
Inter failure time	-	242	235	354	293	423
Runnig Time	-	242	477	831	1 124	1 547
Σ	2 674					
t*nd	6 188					
U	-0.47					
Se acepta la hipótesis nula IID						

Fuente: Elaboración propia

Tabla 17
Test de Laplace para volquete V2B-711

V2B-711						
Fecha que fue comprado el volquete 5/02/2013						
Fecha de entrega	1	2	3	4	5	6
Salida de muelle	25/11/2013	17/06/2014	25/03/2015	25/07/2016	13/06/2017	10/12/2017
Días	204	281	488	323	180	-
Horas	4 896	6 744	11 712	7 752	4 320	-
Inter failure time	-	204	281	488	323	180
Runnig Time	-	204	485	973	1 296	1 476
Σ	2 958					
t*nd	5 904	Se acepta la hipótesis nula IID				
U	0.01					

Fuente: Elaboración propia

Tabla 18
Test de Laplace para volquete V2C-722

V2C-722						
Fecha que fue comprado el volquete 5/02/2013						
Fecha de entrega	1	2	3	4	5	6
Salida de muelle	28/12/2013	16/08/2014	15/05/2015	05/06/2016	13/05/2017	10/12/2017
Días	231	272	387	342	211	-
Horas	5 544	6 528	9 288	8 208	5 064	-
Inter failure time	-	231	272	387	342	211
Runnig Time	-	231	503	890	1232	1443
Σ	2 856					
t*nd	5 772	Se acepta la hipótesis nula IID				
U	-0.04					

Fuente: Elaboración propia

Tabla 19
Test de Laplace para volquete V2F-707

V2F-707						
Fecha que fue comprado el volquete 5/02/2013						
Fecha de entrega	1	2	3	4	5	6
Salida de muelle	12/10/2013	08/06/2014	15/03/2015	18/06/2016	02/06/2017	10/12/2017
Días	239	280	461	349	191	-
Horas	5 736	6 720	11 064	8 376	4 584	-
Inter failure time	-	239	280	461	349	191
Runnig Time	-	239	519	980	1 329	1 520
Σ	3 067					
t*nd	6 080	Se acepta la hipótesis nula IID				
U	0.03					

Fuente: Elaboración propia

Tabla 20
Test de Laplace para volquete V2C-796

V2C-796						
Fecha que fue comprado el volquete 5/02/2013						
Fecha de entrega	1	2	3	4	5	6
Salida de muelle	10/11/2013	15/05/2014	22/03/2015	25/06/2016	18/07/2017	10/12/2017
Días	186	311	461	388	145	-
Horas	4 464	7 464	11 064	9 312	3 480	-
Inter failure time	-	186	311	461	388	145
Runnig Time	-	186	497	958	1 346	1 491
Σ	2 987					
t*nd	5 964	Se acepta la hipótesis nula IID				
U	0.01					

Fuente: Elaboración propia

4.1.2. Cálculo de la probabilidad de falla del muelle de los volquetes Volvo FMX – 440

Para el cálculo de confiabilidad, el autor utilizó la distribución Weibull, por ser la técnica y/o método probabilístico más adecuado para este proyecto de investigación. La *Tabla 21* muestra los datos de frecuencia de fallas en horas.

Tabla 21
Tiempo entre fallas en horas para el volquete Volvo FMX-440

i	TO (horas)	i	TO (horas)
1	5 688	26	5808
2	6 336	27	5640
3	12 936	28	8496
4	6 984	29	7032
5	3 600	30	10152
6	6 456	31	4896
7	6 360	32	6744
8	14 352	33	11712
9	7 008	34	7752
10	4 320	35	4320
11	4 968	36	5544
12	6 384	37	6528
13	12 144	38	9288
14	7 728	39	8208
15	5 064	40	5064
16	6 456	41	5736
17	6 312	42	6720
18	11 472	43	11064
19	7 728	44	8376
20	2 856	45	4584
21	6 432	46	4464
22	6 312	47	7464
23	9 264	48	11064
24	7 752	49	9312
25	4 320	50	3480

Fuente: Elaboración propia

A. Ordenar los tiempos entre fallas en forma ascendente

Tabla 22

Frecuencia de fallas ordenadas en forma ascendente de los volquetes Volvo FMX-440

n	TO (horas)	n	TO (horas)
1	2 856	26	6528
2	3 480	27	6720
3	3 600	28	6744
4	4 320	29	6984
5	4 320	30	7008
6	4 320	31	7032
7	4 464	32	7464
8	4 584	33	7728
9	4 896	34	7728
10	4 968	35	7752
11	5 064	36	7752
12	5 064	37	8208
13	5 544	38	8376
14	5 640	39	8496
15	5 688	40	9264
16	5 736	41	9288
17	5 808	42	9312
18	6 312	43	10152
19	6 312	44	11064
20	6 336	45	11064
21	6 360	46	11472
22	6 384	47	11712
23	6 432	48	12144
24	6 456	49	12936
25	6 456	50	14352

Fuente: Elaboración propia

B. Aproximación por rangos medios

Tabla 23

Aproximación por rangos medios según distribución Weibull

i	TO (horas)	F(T) = (i-0.3)/(n+0.4)
1	2 856	0.013888889
2	3 480	0.033730159
3	3 600	0.053571429
4	4 320	0.073412698
5	4 320	0.093253968
6	4 320	0.113095238
7	4 464	0.132936508
8	4 584	0.152777778
9	4 896	0.172619048
10	4 968	0.192460317
11	5 064	0.212301587
12	5 064	0.232142857
13	5 544	0.251984127
14	5 640	0.271825397
15	5 688	0.291666667
16	5 736	0.311507937
17	5 808	0.331349206
18	6 312	0.351190476
19	6 312	0.371031746
20	6 336	0.390873016
21	6 360	0.410714286
22	6 384	0.430555556
23	6 432	0.450396825
24	6 456	0.470238095
25	6 456	0.490079365

Fuente: Elaboración propia

Tabla 24

Continuación de aproximación por rangos medios según distribución Weibull

i	TO (horas)	F(T) = (i-0.3)/(n+0.4)
26	6 528	0.509920635
27	6 720	0.529761905
28	6 744	0.549603175
29	6 984	0.569444444
30	7 008	0.589285714
31	7 032	0.609126984
32	7 464	0.628968254
33	7 728	0.648809524
34	7 728	0.668650794
35	7 752	0.688492063
36	7 752	0.708333333
37	8 208	0.728174603
38	8 376	0.748015873
39	8 496	0.767857143
40	9 264	0.787698413
41	9 288	0.807539683
42	9 312	0.827380952
43	10 152	0.847222222
44	11 064	0.867063492
45	11 064	0.886904762
46	11 472	0.906746032
47	11 712	0.926587302
48	12 144	0.946428571
49	12 936	0.966269841
50	14 352	0.986111111

Fuente: Elaboración propia

C. Cálculo de valores X e Y

Para el cálculo de estos valores, se utiliza la fórmula de logaritmos neperianos

las cuales se muestran en la primera fila de la *Tabla 26*.

Tabla 25

Valores de X e Y en base a los cálculos de distribución Weibull

i	TO (horas)	F(T) = (i- 0.3)/(n+0.4)	Ln(T)	Ln(Ln(1/(1- F(t)))	T-γ	F(t-γ)	X = Ln(t- γ)	Y = Ln(Ln(1/(1- F(t-γ))))
1	2 856	0.013888889	7.957177	-4.269681149	664.396	0.01389	6.4988777	-4.269681149
2	3 480	0.033730159	8.154788	-3.372255906	1288.4	0.03373	7.161153	-3.372255906
3	3 600	0.053571429	8.188689	-2.899335826	1408.4	0.05357	7.2502064	-2.899335826
4	4 320	0.073412698	8.371011	-2.573777072	2128.4	0.07341	7.6631237	-2.573777072
5	4 320	0.093253968	8.371011	-2.323881488	2128.4	0.09325	7.6631237	-2.323881488
6	4 320	0.113095238	8.371011	-2.120116268	2128.4	0.1131	7.6631237	-2.120116268
7	4 464	0.132936508	8.403801	-1.947409762	2272.4	0.13294	7.7285899	-1.947409762
8	4 584	0.152777778	8.430327	-1.797019751	2392.4	0.15278	7.7800505	-1.797019751
9	4 896	0.172619048	8.496174	-1.663418782	2704.4	0.17262	7.9026337	-1.663418782
10	4 968	0.192460317	8.510773	-1.542886968	2776.4	0.19246	7.9289088	-1.542886968
11	5 064	0.212301587	8.529912	-1.432799192	2872.4	0.2123	7.9629017	-1.432799192
12	5 064	0.232142857	8.529912	-1.331232193	2872.4	0.23214	7.9629017	-1.331232193
13	5 544	0.251984127	8.620472	-1.23673335	3352.4	0.25198	8.1174305	-1.23673335
14	5 640	0.271825397	8.637639	-1.14817733	3448.4	0.27183	8.1456644	-1.14817733
15	5 688	0.291666667	8.646114	-1.064673327	3496.4	0.29167	8.1594879	-1.064673327
16	5 736	0.311507937	8.654517	-0.985502856	3544.4	0.31151	8.1731229	-0.985502856
17	5 808	0.331349206	8.666992	-0.910076735	3616.4	0.33135	8.1932331	-0.910076735
18	6 312	0.351190476	8.750208	-0.837904556	4120.4	0.35119	8.3237045	-0.837904556
19	6 312	0.371031746	8.750208	-0.768572494	4120.4	0.37103	8.3237045	-0.768572494
20	6 336	0.390873016	8.754003	-0.70172684	4144.4	0.39087	8.3295122	-0.70172684
21	6 360	0.410714286	8.757784	-0.637061542	4168.4	0.41071	8.3352865	-0.637061542
22	6 384	0.430555556	8.76155	-0.574308609	4192.4	0.43056	8.3410276	-0.574308609
23	6 432	0.450396825	8.769041	-0.513230577	4240.4	0.4504	8.3524118	-0.513230577
24	6 456	0.470238095	8.772765	-0.453614492	4264.4	0.47024	8.3580557	-0.453614492
25	6 456	0.490079365	8.772765	-0.395267011	4264.4	0.49008	8.3580557	-0.395267011
26	6 528	0.509920635	8.783856	-0.338010315	4336.4	0.50992	8.3747988	-0.338010315
27	6 720	0.529761905	8.812843	-0.281678627	4528.4	0.52976	8.418123	-0.281678627
28	6 744	0.549603175	8.816408	-0.226115149	4552.4	0.5496	8.4234089	-0.226115149
29	6 984	0.569444444	8.851377	-0.171169278	4792.4	0.56944	8.4747857	-0.171169278
30	7 008	0.589285714	8.854808	-0.11669397	4816.4	0.58929	8.4797811	-0.11669397

Fuente: Elaboración propia

i	TO (horas)	F(T) = (i- 0.3)/(n+0.4)	Ln(T)	Ln(Ln(1/(1- F(t)))	T-γ	F(t-γ)	X = Ln(t- γ)	Y = Ln(Ln(1/(1- F(t-γ))))
31	7 032	0.609126984	8.858226	-0.062543138	4840.4	0.60913	8.4847517	-0.062543138
32	7 464	0.628968254	8.917847	-0.008568958	5272.4	0.62897	8.5702401	-0.008568958
33	7 728	0.648809524	8.952605	0.04538106	5536.4	0.64881	8.619099	0.04538106
34	7 728	0.668650794	8.952605	0.099467395	5536.4	0.66865	8.619099	0.099467395
35	7 752	0.688492063	8.955706	0.153862463	5560.4	0.68849	8.6234245	0.153862463
36	7 752	0.7083333333	8.955706	0.208755483	5560.4	0.70833	8.6234245	0.208755483
37	8 208	0.728174603	9.012865	0.264358691	6016.4	0.72817	8.7022436	0.264358691
38	8 376	0.748015873	9.033126	0.320915558	6184.4	0.74802	8.7297846	0.320915558
39	8 496	0.767857143	9.047351	0.378711968	6304.4	0.76786	8.7490024	0.378711968
40	9 264	0.787698413	9.133891	0.438091972	7072.4	0.7877	8.8639545	0.438091972
41	9 288	0.807539683	9.136479	0.499480686	7096.4	0.80754	8.8673423	0.499480686
42	9 312	0.827380952	9.139059	0.563418918	7120.4	0.82738	8.8707186	0.563418918
43	10 152	0.8472222222	9.225426	0.630617758	7960.4	0.84722	8.982234	0.630617758
44	11 064	0.867063492	9.311452	0.702049264	8872.4	0.86706	9.0907001	0.702049264
45	11 064	0.886904762	9.311452	0.779106963	8872.4	0.8869	9.0907001	0.779106963
46	11 472	0.906746032	9.347665	0.863914184	9280.4	0.90675	9.1356595	0.863914184
47	11 712	0.926587302	9.368369	0.959985405	9520.4	0.92659	9.1611917	0.959985405
48	12 144	0.946428571	9.40459	1.073888971	9952.4	0.94643	9.2055686	1.073888971
49	12 936	0.966269841	9.467769	1.220641976	10744.4	0.96627	9.2821396	1.220641976
50	14 352	0.9861111111	9.571645	1.453173762	12160.4	0.98611	9.4059397	1.453173762

Fuente: Elaboración propia

Asimismo, como resultado de la distribución Weibull se obtuvo los valores que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 26
Parámetros de confiabilidad según distribución Weibull

Parámetros	Resultado
Fallas	50
Factor de forma β	2.2
Escala (η)	5 798 horas
Vida mínima (γ)	2 036.7 horas
Coef. de correlación R	0.9904
Dif (1-R)	0.0096
TMEF	7 173.6 Horas/Falla

Fuente: Elaboración propia

Para los cálculos de la *Tabla 26* fueron efectuados en una plantilla de Excel de la siguiente manera:

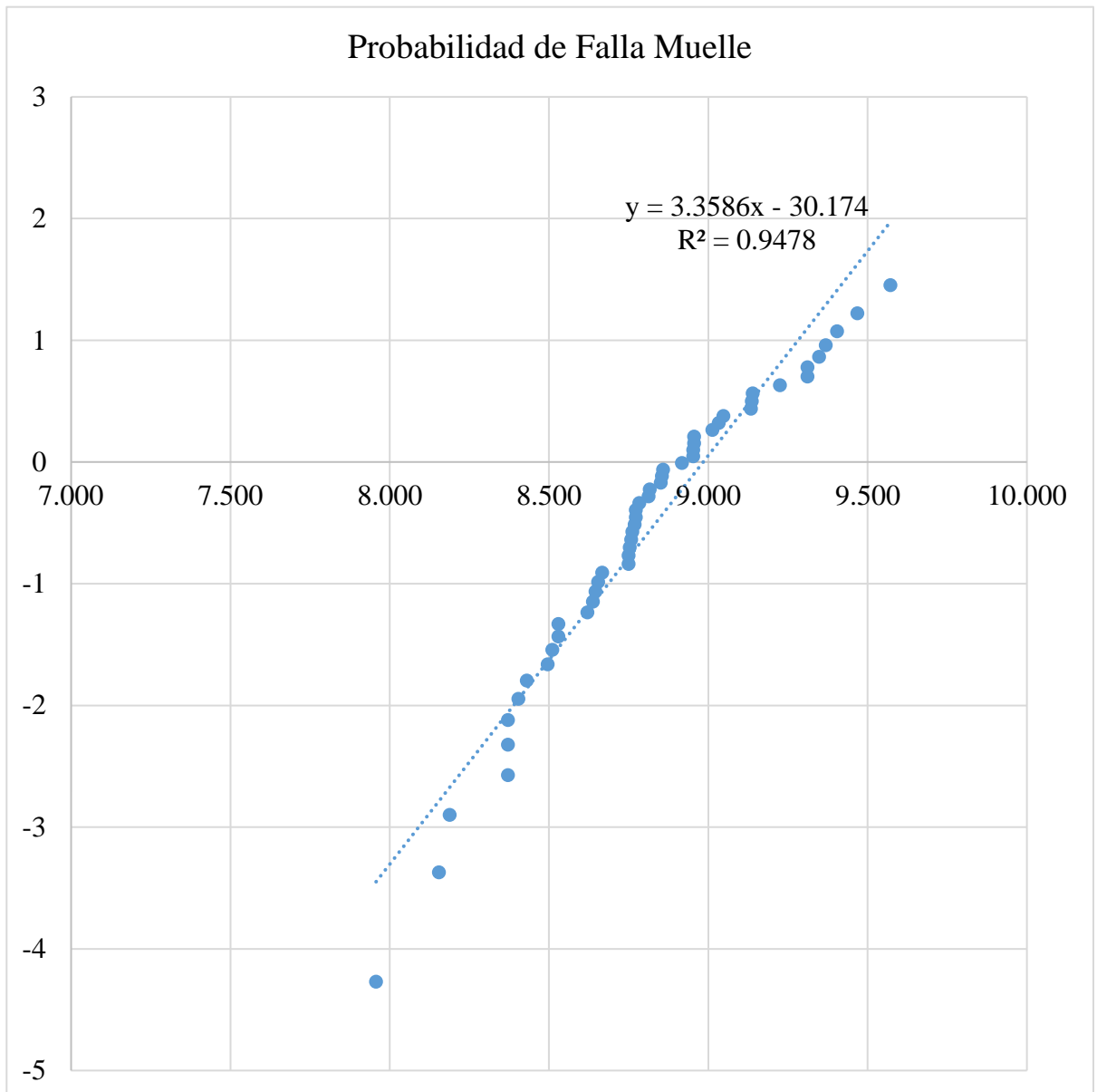
- Factor de forma: = Pendiente (conocido_y, conocido_x).
- Escala: = Exp (-intersección.eje (conocido_y, conocido_x)/factor de forma).
- Vida mínima: Para este cálculo se utilizó la herramienta de análisis Solver, para el cual se utilizaron las siguientes restricciones:
 - o Primer dato de falla ≤ 2856 .
 - o Opuesto al primer dato ≥ -2856 .
- Coef. de correlación: Para este cálculo se utilizó la función coeficiente de correlación de Excel, para el cual se utilizaron los siguientes parámetros:

- Coef ≤ 1 .
- Coef ≥ -1 .
- TMEF: Es el promedio de los tiempos de operación.

Finalmente, utilizando los datos obtenidos para la confiabilidad, se elaboraron las gráficas de probabilidad de Weibull y confiabilidad en función al tiempo.

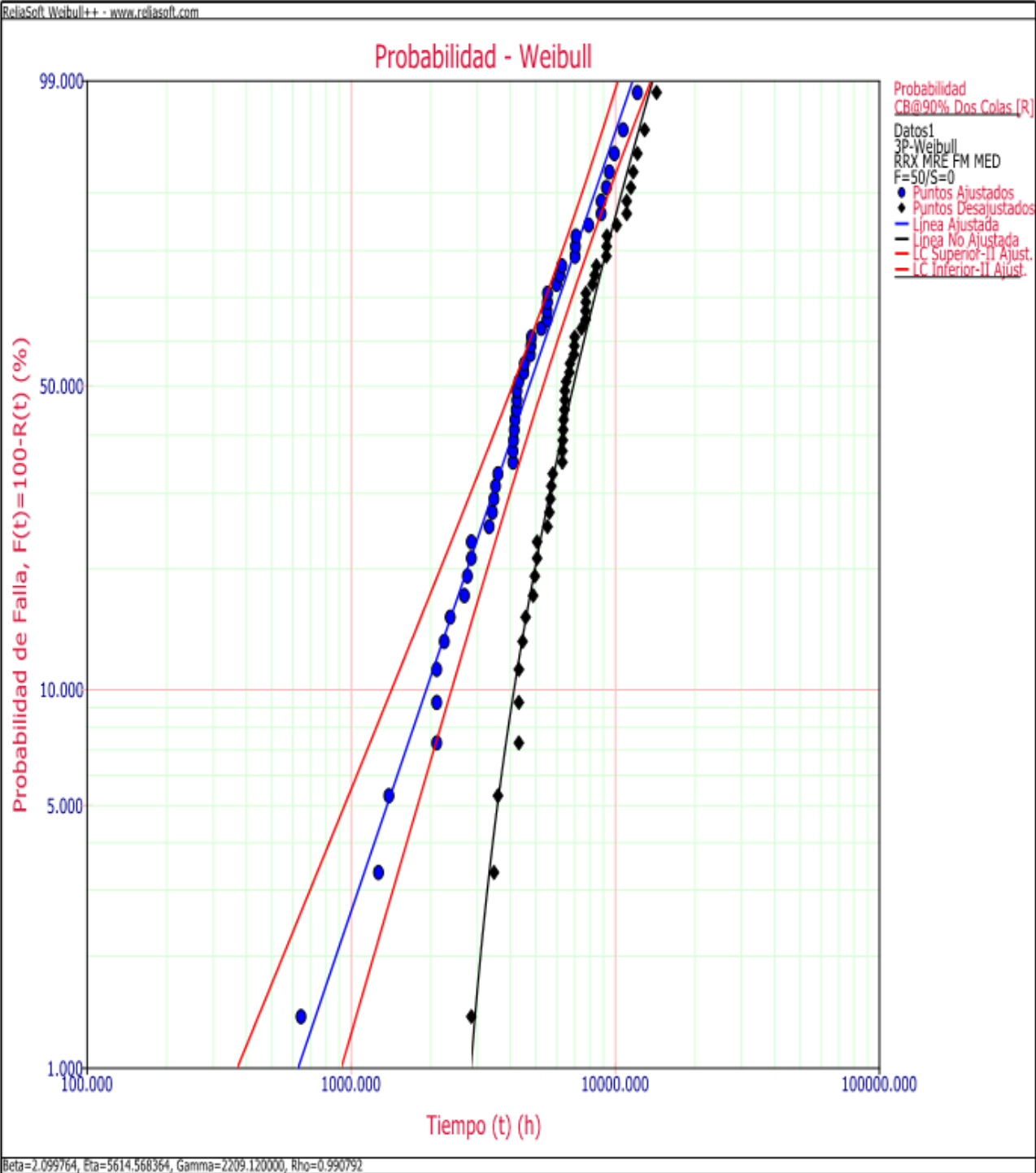
Se puede visualizar la siguiente figura.

Figura 24. Probabilidad de falla en el muelle



Fuente: Elaboración propia

Figura 25. Probabilidad de Weibull calculada en software Weibull ++ 11 de Reliasoft



Fuente: Elaboración propia

D. Test de Kolmogorov Smirnov

Esta herramienta es para comprobar si los datos recolectados para el estudio de investigación siguen una distribución de probabilidad de Weibull, para ello el autor de esta tesis utilizó los datos de las *Tablas 10, 11 y 28*.

Tabla 27

Test de Kolmogorov Smirnov para la data recolectada de los volquetes Volvo FMX-440

i	TO (horas)	F(t)	F(T)^	/F(t)-F(t)^/	/F(t)-F(t-i)^/	D
1	2 856	0.012933337	0.02	0.007066663		0.007066663
2	3 480	0.044694561	0.04	0.004694561	0.024694561	0.024694561
3	3 600	0.053125455	0.06	0.006874545	0.013125455	0.013125455
4	4 320	0.118833591	0.08	0.038833591	0.058833591	0.058833591
5	4 320	0.118833591	0.1	0.018833591	0.038833591	0.038833591
6	4 320	0.118833591	0.12	0.001166409	0.018833591	0.018833591
7	4 464	0.134885767	0.14	0.005114233	0.014885767	0.014885767
8	4 584	0.14893514	0.16	0.01106486	0.00893514	0.01106486
9	4 896	0.188109719	0.18	0.008109719	0.028109719	0.028109719
10	4 968	0.197650823	0.2	0.002349177	0.017650823	0.017650823
11	5 064	0.210639564	0.22	0.009360436	0.010639564	0.010639564
12	5 064	0.210639564	0.24	0.029360436	0.009360436	0.029360436
13	5 544	0.279543107	0.26	0.019543107	0.039543107	0.039543107
14	5 640	0.293981094	0.28	0.013981094	0.033981094	0.033981094
15	5 688	0.301266125	0.3	0.001266125	0.021266125	0.021266125
16	5 736	0.308591809	0.32	0.011408191	0.008591809	0.011408191
17	5 808	0.319651002	0.34	0.020348998	0.000348998	0.020348998
18	6 312	0.398744186	0.36	0.038744186	0.058744186	0.058744186
19	6 312	0.398744186	0.38	0.018744186	0.038744186	0.038744186
20	6 336	0.40255474	0.4	0.00255474	0.02255474	0.02255474
21	6 360	0.406366908	0.42	0.013633092	0.006366908	0.013633092
22	6 384	0.41018038	0.44	0.02981962	0.00981962	0.02981962
23	6 432	0.417810007	0.46	0.042189993	0.022189993	0.042189993
24	6 456	0.42162555	0.48	0.05837445	0.03837445	0.05837445
25	6 456	0.42162555	0.5	0.07837445	0.05837445	0.07837445

Fuente: Elaboración propia

i	TO (horas)	F(t)	F(T)^	/F(t)-F(t)^/	/F(t)-F(t-i)^/	D
26	6 528	0.433071448	0.52	0.086928552	0.066928552	0.086928552
27	6 720	0.463535818	0.54	0.076464182	0.056464182	0.076464182
28	6 744	0.467332632	0.56	0.092667368	0.072667368	0.092667368
29	6 984	0.505064255	0.58	0.074935745	0.054935745	0.074935745
30	7 008	0.508807709	0.6	0.091192291	0.071192291	0.091192291
31	7 032	0.512544687	0.62	0.107455313	0.087455313	0.107455313
32	7 464	0.578416472	0.64	0.061583528	0.041583528	0.061583528
33	7 728	0.617002107	0.66	0.042997893	0.022997893	0.042997893
34	7 728	0.617002107	0.68	0.062997893	0.042997893	0.062997893
35	7 752	0.620434467	0.7	0.079565533	0.059565533	0.079565533
36	7 752	0.620434467	0.72	0.099565533	0.079565533	0.099565533
37	8 208	0.682917469	0.74	0.057082531	0.037082531	0.057082531
38	8 376	0.70450949	0.76	0.05549051	0.03549051	0.05549051
39	8 496	0.719423918	0.78	0.060576082	0.040576082	0.060576082
40	9 264	0.804200073	0.8	0.004200073	0.024200073	0.024200073
41	9 288	0.806543037	0.82	0.013456963	0.006543037	0.013456963
42	9 312	0.808867264	0.84	0.031132736	0.011132736	0.031132736
43	10 152	0.878610252	0.86	0.018610252	0.038610252	0.038610252
44	11 064	0.930804412	0.88	0.050804412	0.070804412	0.070804412
45	11 064	0.930804412	0.9	0.030804412	0.050804412	0.050804412
46	11 472	0.947452183	0.92	0.027452183	0.047452183	0.047452183
47	11 712	0.955615733	0.94	0.015615733	0.035615733	0.035615733
48	12 144	0.967673136	0.96	0.007673136	0.027673136	0.027673136
49	12 936	0.982701485	0.98	0.002701485	0.022701485	0.022701485
50	14 352	0.995107159	1	0.004892841	0.015107159	0.015107159

Fuente: Elaboración propia

A continuación, para dar validez al test de Kolmogorov Smirnov, el autor de esta investigación realizó los siguientes cálculos en una hoja de Excel basados en las *Tabla 27*:

- D: Valor máximo de la columna.
- $C\alpha$: Para weibull de 50 datos y 95% de Certeza= 0.856.
- $K(n)$: Raíz cuadrada del tamaño de la muestra.
- $D\alpha$: $C\alpha / K(n)$.

Tabla 28

Resultados del test de Kolmogorov y Smirnov para los volquetes Volvo FMX-440

D	0.107455313
$C\alpha$	0.856
$K(n)$	7.071067812
$D\alpha$	0.121056681

Fuente: Elaboración propia

Entonces, $D < D\alpha$: Se acepta la hipótesis nula, por lo que los datos se distribuyen siguiendo una distribución de probabilidad de Weibull; dando validez al estudio de investigación para poder optimizar las frecuencias de mantenimiento preventivo para los muelles de los volquetes Volvo FMX-440.

E. Cálculo de las situaciones de falla para acciones preventivas

El autor de esta investigación, para realizar el cálculo de la media aritmética del tiempo entre fallos del muelle (MTBF - *Mean Time Between Failures*), utilizó un factor de forma β , una escala (η) y un tiempo medio entre falla (γ); datos que se sustrajo de la *Tabla 28*.

Tabla 29

Cálculo del tiempo medio entre fallos del muelle (MTBF - Mean Time Between Failures)

Parámetros	Resultado
MTBF	7 171 Hrs/Falla

Fuente: Elaboración propia

Este cálculo permitió al autor saber que cada 7 171 horas es el tiempo medio entre cada ocurrencia de una parada específica por un fallo para después realizar un mantenimiento en los muelles

- MTBF: = Tiempo medio entre falla (γ) + Escala (η) * GAMA(1+1/factor de forma β)

Para explicar las situaciones de la falla en los muelles de los volquetes Volvo FMX-440, el autor de esta investigación utilizó la distribución de Weibull. Mediante esta distribución estadística el autor pudo realizar los cálculos para hallar la función densidad, probabilidad acumulada de falla, supervivencia y la función de riesgo del muelle; de igual forma utilizó los datos de la *Tabla 28*.

- Función densidad

Esta función da la probabilidad que ocurra una falla en el muelle en un tiempo específico.

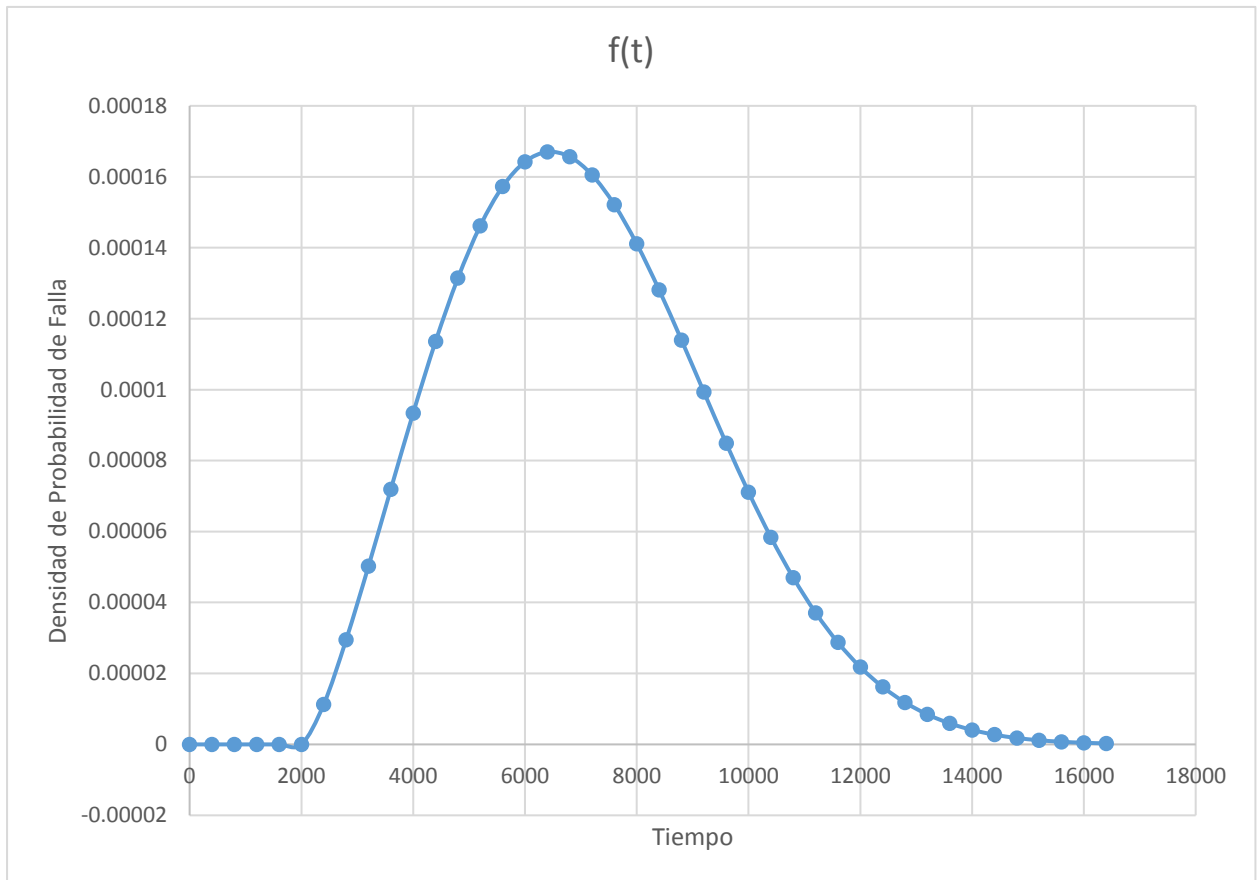
Tabla 30

Cálculo de la función densidad mediante la distribución de Weibull

t (horas)	f(t)	t (horas)	f(t)
0.1	0	8 400	0.000125366
400	0	8 800	0.00011301
800	0	9 200	0.000100096
1 200	0	9 600	8.71396E-05
1 600	0	10 000	7.45772E-05
2 000	0	10 400	6.2758E-05
2 400	1.3057E-05	10 800	5.19355E-05
2 800	3.19811E-05	11 200	4.22707E-05
3 200	5.25332E-05	11 600	3.38397E-05
3 600	7.33582E-05	12 000	2.66473E-05
4 000	9.34186E-05	12 400	2.06411E-05
4 400	0.000111833	12 800	1.57282E-05
4 800	0.00012786	13 200	1.17895E-05
5 200	0.000140909	13 600	8.69321E-06
5 600	0.000150562	14 000	6.30569E-06
6 000	0.000156588	14 400	4.4993E-06
6 400	0.000158942	14 800	3.15796E-06
6 800	0.000157762	15 200	2.18026E-06
7 200	0.000153344	15 600	1.48058E-06
7 600	0.000146115	16 000	9.88934E-07
8 000	0.000136597	16 400	6.49671E-07

Fuente: Elaboración propia

Figura 26. Función densidad de los muelles de los volquetes Volvo FMX-440



Fuente: Elaboración propia

En este gráfico se puede apreciar que la mayor probabilidad de falla se halla entre las 5 600 y las 7 200 horas lo cual coincide con el tiempo medio de fallas de los muelles, y nos indica además que entre hasta las 2 000 horas la probabilidad de fallas es nula; vale decir es un periodo libre de fallas.

- **Función probabilidad acumulada de falla**

Esta función da la probabilidad acumulada de falla; representa la probabilidad que una falla ocurra antes de cierto tiempo.

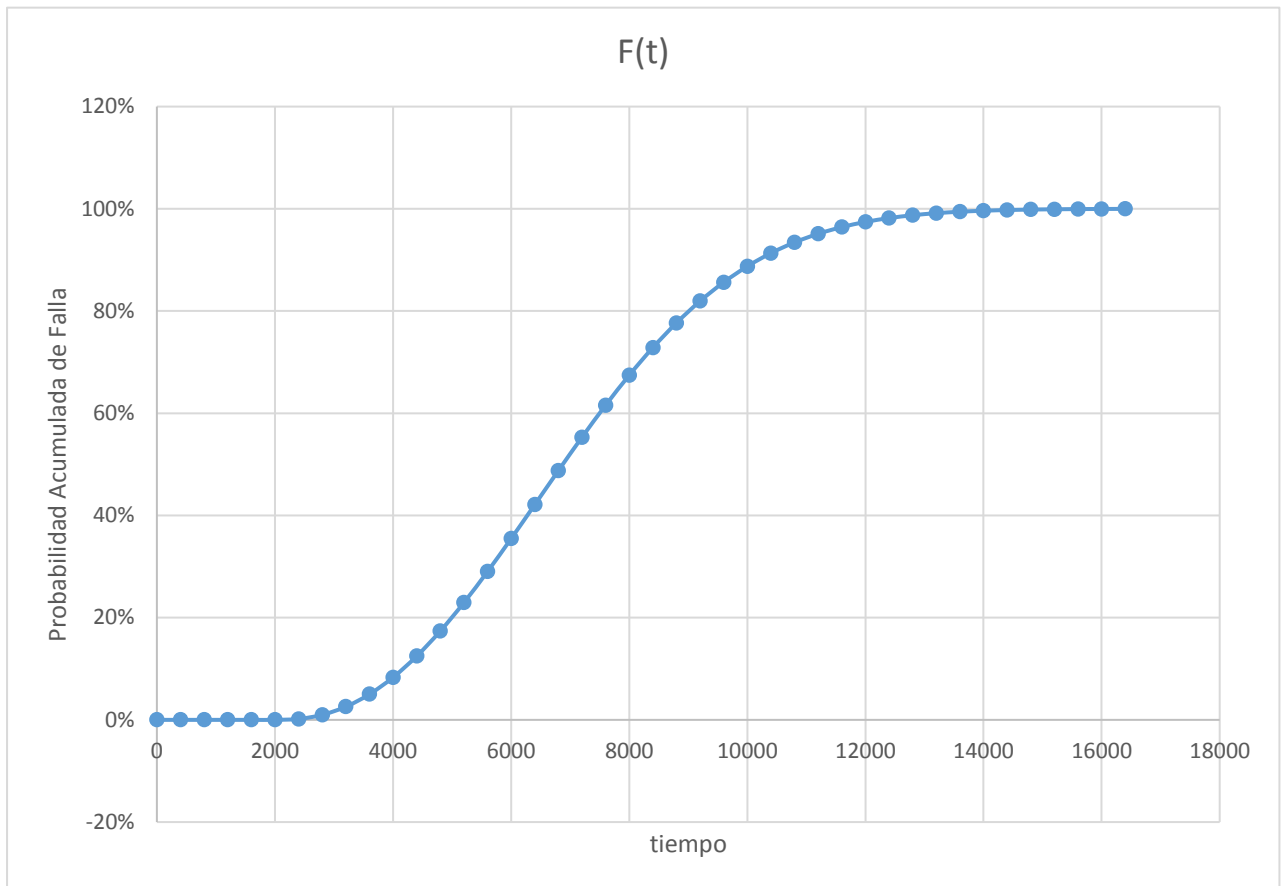
Tabla 31

Cálculo de la función probabilidad acumulada de fallas mediante la distribución de Weibull

t (horas)	F(t)	t (horas)	F(t)
0.1	0	8 400	0.707526809
400	0	8 800	0.755229672
800	0	9 200	0.79786054
1 200	0	9 600	0.835301383
1 600	0	10 000	0.867625192
2 000	0	10 400	0.89506264
2 400	0.002140135	10 800	0.917964891
2 800	0.011063679	11 200	0.936765797
3 200	0.027937864	11 600	0.951946283
3 600	0.053125455	12 000	0.964002976
4 000	0.086521821	12 400	0.973422462
4 400	0.127640346	12 800	0.980661755
4 800	0.175669486	13 200	0.986134973
5 200	0.229530625	13 600	0.990205674
5 600	0.287943115	14 000	0.993184015
6 000	0.349496011	14 400	0.995327659
6 400	0.412723267	14 800	0.996845396
6 800	0.47617792	15 200	0.997902444
7 200	0.538500544	15 600	0.998626604
7 600	0.598477698	16 000	0.999114583
8 000	0.655087008	16 400	0.999438013

Fuente: Elaboración propia

Figura 27. Función probabilidad acumulada de fallas de los muelles de los volquetes Volvo FMX-440



Fuente: Elaboración propia

En este gráfico, se puede apreciar que los componentes no podrán sobrevivir más allá de las 14 000 horas en el mejor de los casos, y se verifica que hasta las 2 000 horas los muelles no fallarán.

- **Función supervivencia o de confiabilidad**

La función de supervivencia o confiabilidad es el complemento de la función de distribución de falla. Da la probabilidad de supervivencia para cualquier tiempo específico.

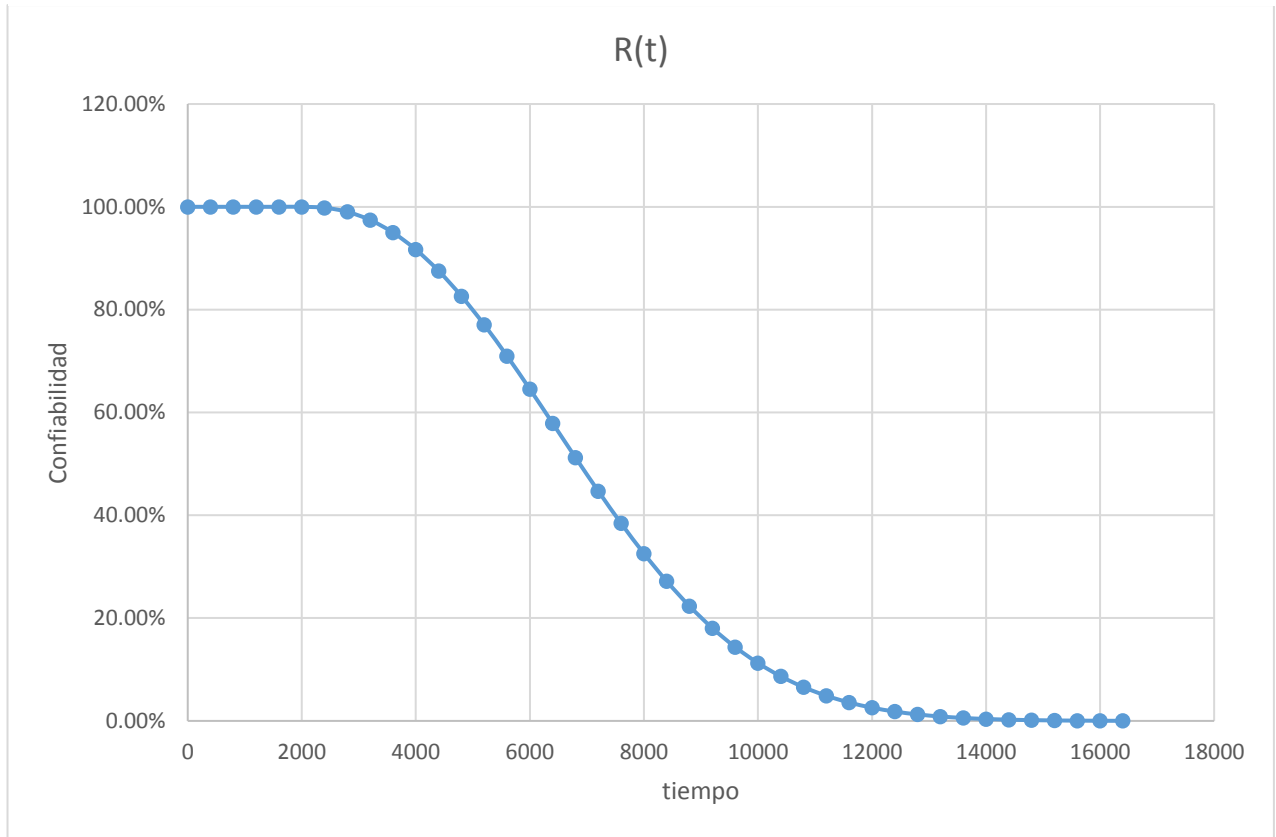
Tabla 32

Cálculo de la función supervivencia o de confiabilidad mediante la distribución de Weibull

t (horas)	R(t)	t (horas)	R(t)
0.1	1	8 400	0.292473191
400	1	8 800	0.244770328
800	1	9 200	0.20213946
1 200	1	9 600	0.164698617
1 600	1	10 000	0.132374808
2 000	1	10 400	0.10493736
2 400	0.997859865	10 800	0.082035109
2 800	0.988936321	11 200	0.063234203
3 200	0.972062136	11 600	0.048053717
3 600	0.946874545	12 000	0.035997024
4 000	0.913478179	12 400	0.026577538
4 400	0.872359654	12 800	0.019338245
4 800	0.824330514	13 200	0.013865027
5 200	0.770469375	13 600	0.009794326
5 600	0.712056885	14 000	0.006815985
6 000	0.650503989	14 400	0.004672341
6 400	0.587276733	14 800	0.003154604
6 800	0.52382208	15 200	0.002097556
7 200	0.461499456	15 600	0.001373396
7 600	0.401522302	16 000	0.000885417
8 000	0.344912992	16 400	0.000561987

Fuente: Elaboración propia

Figura 28. Función supervivencia o de confiabilidad de los muelles de los volquetes Volvo FMX-440



Fuente: Elaboración propia

En este gráfico, se puede apreciar que el 82% de los muelles trabajarán hasta las 4 800 horas; tiempo en que se debe de realizar el cambio de los muelles (frecuencia óptima de reemplazo de muelles de manera cíclica y a menor costo y mejor disponibilidad).

- **Función de riesgo**

Es la función más importante en la teoría de la renovación o situaciones de falla para mantenimiento preventivo. La forma de la función de riesgo sobre una gran magnitud determina qué estrategia se usará para mantener un componente específico.

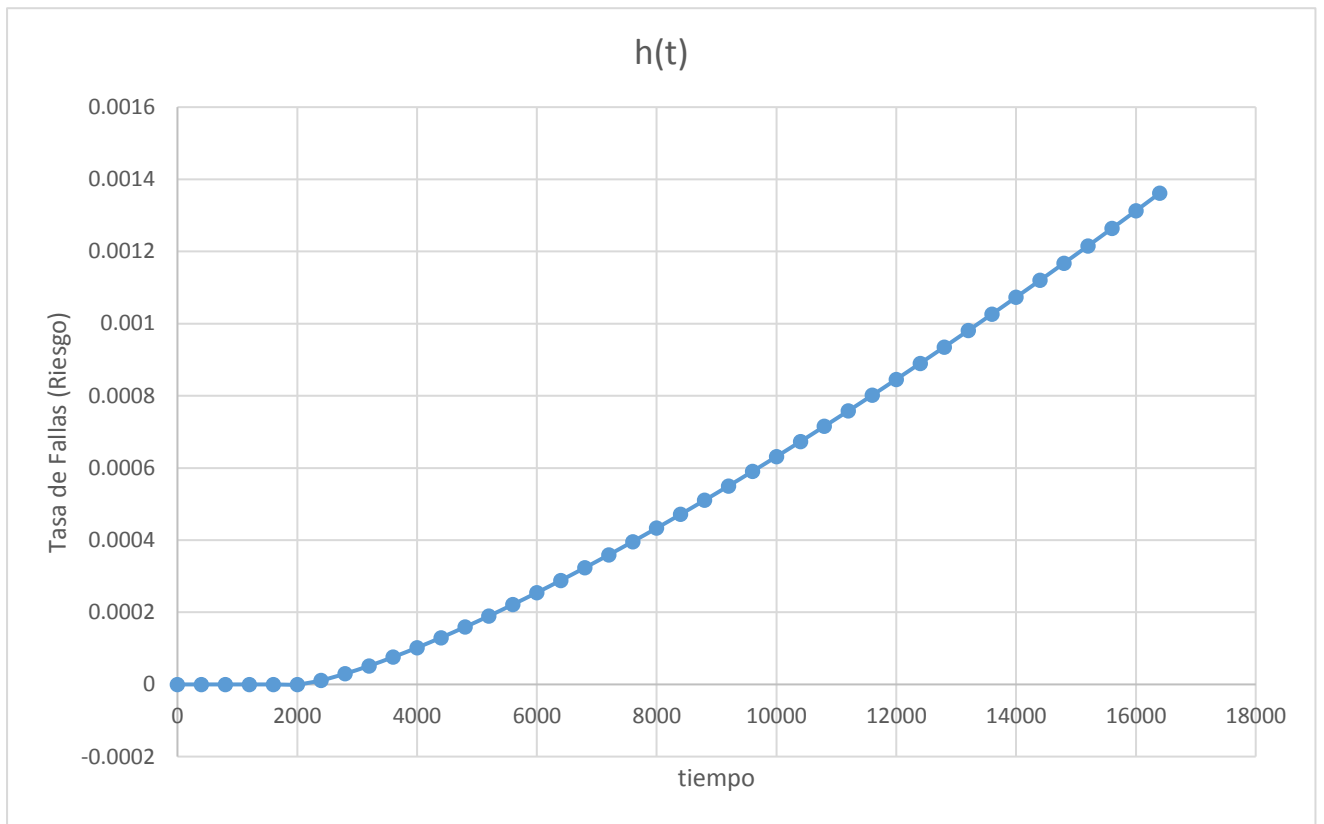
Tabla 33

Cálculo de la función de riesgo mediante la distribución de Weibull

t (horas)	h(t)	t (horas)	h(t)
0.1	0	8 400	0.00042864
400	0	8 800	0.000461697
800	0	9 200	0.000495185
1 200	0	9 600	0.000529085
1 600	0	10 000	0.000563379
2 000	0	10 400	0.000598052
2 400	1.3085E-05	10 800	0.000633089
2 800	3.23389E-05	11 200	0.000668478
3 200	5.4043E-05	11 600	0.000704207
3 600	7.7474E-05	12 000	0.000740263
4 000	0.000102267	12 400	0.000776638
4 400	0.000128197	12 800	0.000813321
4 800	0.000155108	13 200	0.000850303
5 200	0.000182887	13 600	0.000887577
5 600	0.000211447	14 000	0.000925133
6 000	0.000240718	14 400	0.000962965
6 400	0.000270643	14 800	0.001001065
6 800	0.000301175	15 200	0.001039428
7 200	0.000332273	15 600	0.001078046
7 600	0.000363902	16 000	0.001116914
8 000	0.000396033	16 400	0.001156026

Fuente: Elaboración propia

Figura 29. Función de riesgo de los muelles de los volquetes Volvo FMX-440



Fuente: Elaboración propia

En este gráfico, se confirma que la manera de enfrentar a la falla es realizar un mantenimiento preventivo de sustitución cíclica debido a que la probabilidad de falla condicional aumenta a medida que se usa más los muelles, lo cual amerita optimizar las frecuencias de mantenimiento.

CAPÍTULO V

**MODELO PARA OPTIMIZAR LAS FRECUENCIAS DE
MANTENIMIENTO Y EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL MODELO
PROPUESTO**

**5.1. Optimización de disponibilidad mecánica de la flota de volquetes Volvo FMX –
440**

El autor de esta investigación utilizó los datos obtenidos en el cálculo de confiabilidad mediante la distribución de Weibull para realizar la optimización del MTBF o tiempo medio entre fallos del muelle.

Tabla 34
Data para los cálculos de la optimización del manto preventivo de los muelles

β	2.2
η	5 797.7 horas
χ	2 036.7 horas
Tf	61 horas
Tp	5 horas
Cp	\$ 8 029.64
Cc	\$ 13 886.89

Fuente: Elaboración propia

La *Tabla 34* muestra los cálculos pertinentes para lograr la optimización de la frecuencia del mantenimiento preventivo de los muelles, obteniendo como resultado lo siguiente:

- La frecuencia de optimización de los mantenimientos preventivos se realizará cada 4800 horas a un costo mínimo de \$ 8 029.64.

Para poder realizar los cálculos efectuados en la *Tabla 34*, el autor de esta tesis hizo lo siguiente (todos los cálculos fueron efectuados en una plantilla de Excel):

- **Optimización R(t)**

$$= EXP(-POTENCIA((MTBF - \gamma / \eta, \beta))$$

- **Cálculo del MTBI**

$$= \beta / \eta * DISTR. GAMMA. N(POTENCIA(MTBF / \eta, \beta), 1 / \beta, 1, 1) * GAMMA\left(\frac{1}{\beta}\right)$$

- **Cálculo del costo - C(tp)**

$$= (Cp * R(t) + Cc * (1 - R(t))) / MTBI$$

- **Cálculo de la indisponibilidad**

$$= (Tp * R(t) + Tf * (1 - R(T))) / MTBI$$

- **Cálculo de la disponibilidad**

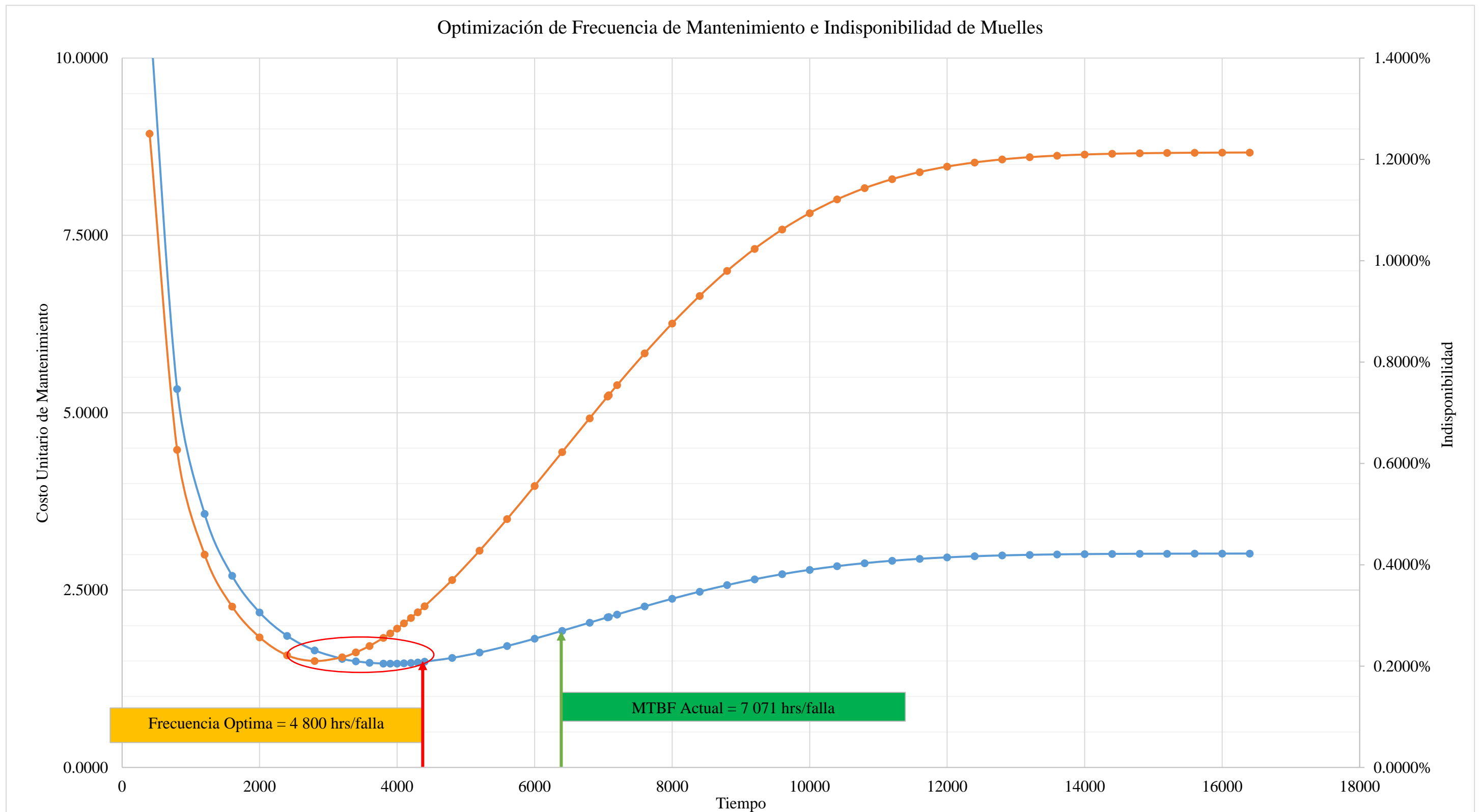
$$= 1 - Indisponibilidad$$

Tabla 35
Cálculo para la optimización del mantenimiento preventivo de los muelles de los volquetes Volvo FMX-440

t (horas)	R(t)	MTBI	C(tp)	Indisponibilidad	Disponibilidad	t (horas)	R(t)	MTBI	C(tp)	Indisponibilidad	Disponibilidad
0.1	1	0.1				7 078	0.480311824	4 789.518383	2.071034336	0.007120244	0.992879756
400	1	399.6705542	10.64501739	0.012510304	0.987489696	7 200	0.461499456	4 814.479298	2.1028894	0.007302146	0.992697854
800	1	796.9419552	5.338531837	0.006273983	0.993726017	7 600	0.401522302	4 886.307262	2.205773373	0.00788218	0.99211782
1 200	1	1 188.782135	3.578872761	0.004205985	0.995794015	8 000	0.344912992	4 944.375297	2.304668281	0.008430766	0.991569234
1 600	1	1 571.907954	2.706583416	0.003180848	0.996819152	8 400	0.292473191	4 990.680022	2.397820422	0.008940966	0.991059034
2 000	1	1 943.00571	2.189648737	0.002573333	0.997426667	8 800	0.244770328	5 027.09606	2.483885298	0.009407591	0.990592409
2 400	0.997859865	2 298.89594	1.860818507	0.00222709	0.99777291	9 200	0.20213946	5 055.336815	2.561930039	0.009827276	0.990172724
2 800	0.988936321	2 636.672498	1.659325314	0.00213131	0.99786869	9 600	0.164698617	5 076.929936	2.631420136	0.010198462	0.989801538
3 200	0.972062136	2 953.819017	1.543436168	0.002222384	0.997777616	10 000	0.132374808	5 093.206076	2.692189295	0.010521273	0.989478727
3 400	0.96051066	3 103.999345	1.509325595	0.002323262	0.997676738	10 400	0.10493736	5 105.298896	2.74439393	0.010797313	0.989202687
3 600	0.946874545	3 248.300583	1.48803452	0.002455138	0.997544862	10 800	0.082035109	5 114.153904	2.788455913	0.011029397	0.988970603
3 800	0.931180303	3 386.554099	1.477801683	0.002614428	0.997385572	11 200	0.063234203	5 120.543632	2.824998527	0.011221247	0.988778753
3 900	0.922576206	3 453.370224	1.476367214	0.002703369	0.997296631	11 600	0.048053717	5 125.086769	2.854780948	0.011377172	0.988622828
4 000	0.913478179	3 518.627735	1.477170702	0.002798029	0.997201971	12 000	0.035997024	5 128.269203	2.878636252	0.011501769	0.988498231
4 100	0.903895929	3 582.315872	1.480065801	0.002898077	0.997101923	12 400	0.026577538	5 130.465263	2.897416921	0.011599661	0.988400339
4 200	0.893840432	3 644.426173	1.484917207	0.003003199	0.996996801	12 800	0.019338245	5 131.957926	2.911950477	0.011675282	0.988324718
4 300	0.883323888	3 704.952462	1.491599335	0.003113093	0.996886907	13 200	0.013865027	5 132.95716	2.92300648	0.011732722	0.988267278
4 400	0.872359654	3 763.890828	1.499995172	0.003227474	0.996772526	13 600	0.009794326	5 133.615899	2.931274799	0.011775622	0.988224378
4 800	0.824330514	3 983.7644	1.548623231	0.00372449	0.99627551	14 000	0.006815985	5 134.043519	2.937354088	0.011807127	0.988192873
5 200	0.770469375	4 178.483082	1.616963033	0.004272774	0.995727226	14 400	0.004672341	5 134.31683	2.941748744	0.011829879	0.988170121
5 600	0.712056885	4 348.792372	1.70005043	0.004857628	0.995142372	14 800	0.003154604	5 134.488806	2.944872302	0.011846037	0.988153963
6 000	0.650503989	4 495.8791	1.793667309	0.0054654	0.9945346	15 200	0.002097556	5 134.59533	2.947055227	0.011857319	0.988142681
6 400	0.587276733	4 621.287482	1.89412744	0.006083262	0.993916738	15 600	0.001373396	5 134.660277	2.94855526	0.011865067	0.988134933
6 800	0.52382208	4 726.827121	1.998165352	0.006699201	0.993300799	16 000	0.000885417	5 134.69925	2.949568798	0.011870299	0.988129701
7 062	0.482793595	4 786.132521	2.066847279	0.007096243	0.992903757	16 400	0.000561987	5 134.722265	2.950242173	0.011873773	0.988126227

Fuente: Elaboración propia

Figura 30. Optimización de la frecuencia de mantenimiento preventivo e indisponibilidad de los muelles de los volquetes Volvo FMX-440



Fuente: Elaboración propia

Realizado todos los cálculos pertinentes para la optimización, se concluye que:

- La relación de los costos es del 75% del costo actual; vale decir, se ahorra un 25% de costos en el mantenimiento de un muelle; por lo que es conveniente cambiar el muelle preventivamente cada 4 800 horas que dejar que fallen en un promedio cada 7 071 horas. Cabe mencionar que se tienen fallas desde las 2 856 horas hasta las 14 000 horas.
- También se concluye: Mediante la aplicación del mantenimiento preventivo utilizando distribuciones de probabilidad de falla, se optimice la disponibilidad mecánica de un 99.27% (para MTBF) a un 99.63% (frecuencia óptima), dando validés a la hipótesis general.

5.2. Evaluación económica de la optimización

Para la evaluación económica, el autor de esta investigación efectuó dos escenarios; mantenimiento correctivo y mantenimiento preventivo, en los cuales hará una comparación de proyectos mediante el VAN. Como se puede observar en las *Tablas 39-40*, es conveniente efectuar el mantenimiento preventivo basado en la confiabilidad, puesto que presenta un mejor VAN igual a **\$ 2,649.28** y con un TIR igual a **17 %** lo cual indica que es la tasa de interés máxima a la que es posible endeudarse para invertir en el mantenimiento preventivo basado en la confiabilidad sin que se generen pérdidas.

Tabla 36

Cálculo del VAN del mantenimiento correctivo

Año	5
Inversión por hoja de muelles	\$ 9 090.90
Inversión total	\$ 45 454.50
Vida útil	5 años
Valor residual	\$ 90.90

Costos de operación (H/H)	
Mecánico	\$ 136.36
Costo consumible	\$ 1 766.6
Alquiler de camioneta	\$ 75.75
Costo de pérdida	\$ 1 212.12
I+D	\$ 606.06
Costo total de operación	\$ 3 796.89

Costos de mantenimiento	
Correctivo	\$ 4 545.45

Tasa de interés	14%
------------------------	------------

	Valor presente					
	0	1	2	3	4	5
Inversión	\$ 39 872.37					\$ 45 454.50
Costo de operación	\$ 13 035.89	\$ 3 796.89	\$ 3 796.89	\$ 3 796.89	\$ 3 796.89	\$ 3 796.89
Costo mantenimiento correctivo	\$ 15 604.90	\$ 4 545.45	\$ 4 545.45	\$ 4 545.45	\$ 4 545.45	\$ 4 545.45
Valor de salvamento	\$ 79.74					\$ 90.90
	\$ -45 454.50	\$ 8 342.34	\$ 8 342.34	\$ 8 342.34	\$ 8 342.34	\$ 53 887.74
VAN	\$ 6 840.28	TIR	18%			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 37

Cálculo del VAN del mantenimiento preventivo basando en la confiabilidad

Año	5
Inversión por paquete de muelles	\$ 6 060.00
Inversión total	\$ 30 300.00
Vida útil	5 años
Valor residual	\$ 90.90

Costos de operación	
Mecánico	\$ 75.75
Costo consumible	\$ 90.90
Alquiler de camioneta	\$ 75.75
Costo de pérdida	\$ 136.36
I+D	\$ 606.06
Costo total de operación	\$ 1 969.64

Costos de mantenimiento	
Preventivo	\$ 3 030.30

Tasa de interés	14%
------------------------	------------

	Valor presente					
	0	1	2	3	4	5
Inversión	\$ 26 578.95					\$ 30 300.00
Costo de operación	\$ 6 761.93	\$ 1 969.64	\$ 1 969.64	\$ 1 969.64	\$ 1 969.64	\$ 1 969.64
Costo mantenimiento correctivo	\$ 10 403.27	\$ 3 030.30	\$ 3 030.30	\$ 3 030.30	\$ 3 030.30	\$ 3 030.30
Valor de salvamento	\$ 79.74					\$ 90.90
	\$ 30 300.00	\$ 4 999.94	\$ 4 999.94	\$ 4 999.94	\$ 4 999.94	\$ 35 390.84
VAN	\$ 2 649.28	TIR	17 %			

Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES

PRIMERA: Aplicando el modelo de distribución de probabilidad de fallas y los costos asociados se logró optimizar la disponibilidad inherente de 99.27% (para MTBF) a 99.63% (frecuencia óptima).

SEGUNDA: El planteamiento metodológico permitió identificar que en el proceso de mantenimiento de los muelles de los volquetes Volvo FMX-440, existe déficit en las frecuencias de mantenimiento, lo cual ocasiona el incremento en los costos asociados, fallas no controladas en los equipos e indisponibilidad del activo fijo.

TERCERA: Resumir la teoría vigente relacionada con el mantenimiento y distribuciones de probabilidad para optimizar el mantenimiento preventivo permitió conocer técnicas estadísticas para poder optimizar la disponibilidad mecánica de los volquetes Volvo FMX – 440.

CUARTA: La descripción del proceso de mantenimiento actual permitió identificar que la empresa presenta pérdidas monetarias por paradas no planificadas, debido a que solo recurrían a un mantenimiento correctivo y de emergencia. Además, se identificó que se tienen fallas desde las 2 856 horas hasta las 14 000 horas.

QUINTA: El uso de distribución de Weibull permitió identificar que se tienen que realizar mantenimientos preventivos a los muelles cada 4 800 horas que dejar que fallen en un promedio de 7 071 horas.

SEXTA: La aplicación del modelo de distribución de probabilidad de fallas mediante Weibull, permitió ahorrar un **27%** de costos en el mantenimiento de un muelle; además de demostrar que el mantenimiento preventivo basado en la confiabilidad presenta un mayor

VAN = \$. 2 649.28 y el **TIR = 17 %**.

RECOMENDACIONES

PRIMERA: Continuar estrictamente con la aplicación del modelo de distribución de probabilidad de fallas mediante Weibull en todas las actividades realizadas por la empresa, para poder mantener y superar la mínima disponibilidad mecánica en las unidades de volquete Volvo FMX-440.

SEGUNDA: Programar capacitaciones y charlas a los nuevos ingresantes a la empresa y explicarles el objetivo del mantenimiento basado en distribución de probabilidad de fallas mediante Weibull para así lograr optimizar la disponibilidad mecánica de los volquetes Volvo FMX-440 y orientar a la organización a la mejora continua.

TERCERA: Evaluar constantemente las fallas críticas; así evitar las paradas inesperadas, manteniendo siempre actualizado el historial de los equipos, reduciendo los costos de mantenimiento.

CUARTA: Evaluar constantemente los modos de falla de los demás componentes del equipo para mejorar aún más la disponibilidad mecánica de los volquetes; hacerlo mediante un análisis RCM, para así en un futuro lograr brindar un mejor y eficaz servicio a los clientes.

QUINTA: Evaluar el área o taller donde realizan los mantenimientos para identificar si las condiciones de trabajo son las óptimas para operar con rapidez y eficacia.

SEXTA: Introducir buenas prácticas de manufactura en la organización para lograr en un futuro orientar a la organización hacia la mejora continua mediante la aplicación de herramientas o modelos de gestión.

BIBLIOGRAFÍA

Espinoza, Ciro. 2010. Metodología de investigación tecnológica. Perú: Imagen gráfica S.A.C, 2010.

Gonzales, Juan. 2005. Gestión y logística del mantenimiento. San Vicente: club gama, 2005.

—. 2005. Gestión y logística del mantenimiento. San Vicente: club gama, 2005.

Master, Daniel. 2002. Timesaving implementation process. New York: Klaron S.A, 2002.

Meza, Dairo. 2006. La confiabilidad, la disponibilidad y la mantenibilidad, disciplinas moderadas aplicadas al mantenimiento. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira, 2006.

Moubray, Jhons. 1997. Reliability centered maintenance. Segunda edición. New Jersey: Klaron S.A, 1997.

Navarro, Edgar. 2003. Gestión del mantenimiento. España: nueva Hinostraza, 2003.

Rodríguez, José. 2008. Mantenimiento mecánico de máquinas. Segunda edición. México: Book print digital, 2008.

Soto, Valeriano. 2002. Investigación y tipos de investigación. Caracas: nueva imagen, 2002.

Sotuyo, Brando. 2002. Optimización integral del mantenimiento. Bogotá: palmeras S.A, 2002.

Suarez, Juan. 2007. Mantenimiento mecánico de máquinas. Caracas: Universidad de Caracas, 2007. Pág. 15. 10.

Torres, Luis. 2005. Mantenimiento, su implementación y gestión. Bogotá: Sueiro S.A, 2005.

ANEXOS

Anexo 13 Unidades de volquete Volvo FMX-440 para estudio de investigación



Fuente: Elaboración propia

EJE TRASERO

Los ejes traseros de Volvo han sido diseñados para utilizarse en condiciones duras. Hay variantes que pueden transportar masas máximas en combinación que superan con creces las 100 toneladas. Así pues, sea cual sea su actividad de transporte, puede estar seguro de que estarán a la altura



Fuente: Recuperado del catálogo camión-volquete-volvo fmx

Anexo 3. Características principales del eje

Características principales de los ejes traseros

- Sólidos y fiables
- Pocas pérdidas por fricción
- Carcasas de eje trasero fundidas
- Cojinetes de las ruedas sin mantenimiento
- Bloqueo de diferencial instalado de serie
- Amplia gama de relaciones de transmisión



RT3210HV



Los ejes dobles con reducción de cubo se han desarrollado para las operaciones de transporte más duras y exigentes con masas máximas en combinación elevadas. Dimensionados para cargas sobre eje bogie y masas máximas en combinación de 32 y 100 toneladas, respectivamente.

RTS2370A



Un eje doble de reducción simple diseñado para operaciones de transporte exigentes en condiciones difíciles. Dimensionado para cargas sobre eje bogie y masas máximas en combinación de 23 y 70 toneladas, respectivamente.

Consulte toda la gama de ejes traseros en la página 32.

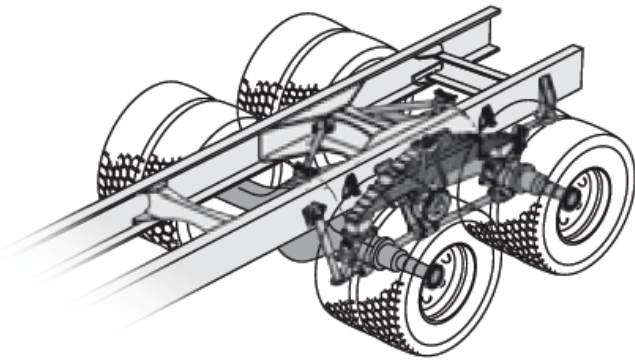
Eje de lantero motriz

El Volvo FMX con tracción total 4x4 y 6x6 se ajusta a las exigentes necesidades de transporte en terrenos irregulares de obras, operaciones de extinción de incendios y servicios de rescate de emergencia. El eje delantero tiene una elevada distancia al suelo y un amplio ángulo de dirección, lo que facilita las maniobras incluso en terrenos muy accidentados.

Fuente: Recuperado del catálogo camión-volquete-volvo fmx

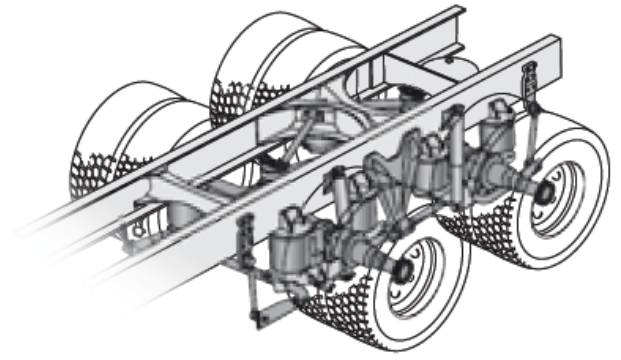
Anexo 4. Bogie doble – Eje Tandem volvo FMX

RADD-TR2



Bogie doble sólidamente dimensionado, con capacidad para hacer frente a las operaciones de transporte más duras en terrenos accidentados. Configuración 6x4/8x4, suspensión de ballestas convencionales, MTMA del bogie de 26/32 toneladas, con reducción de cubo.

RADD-A8

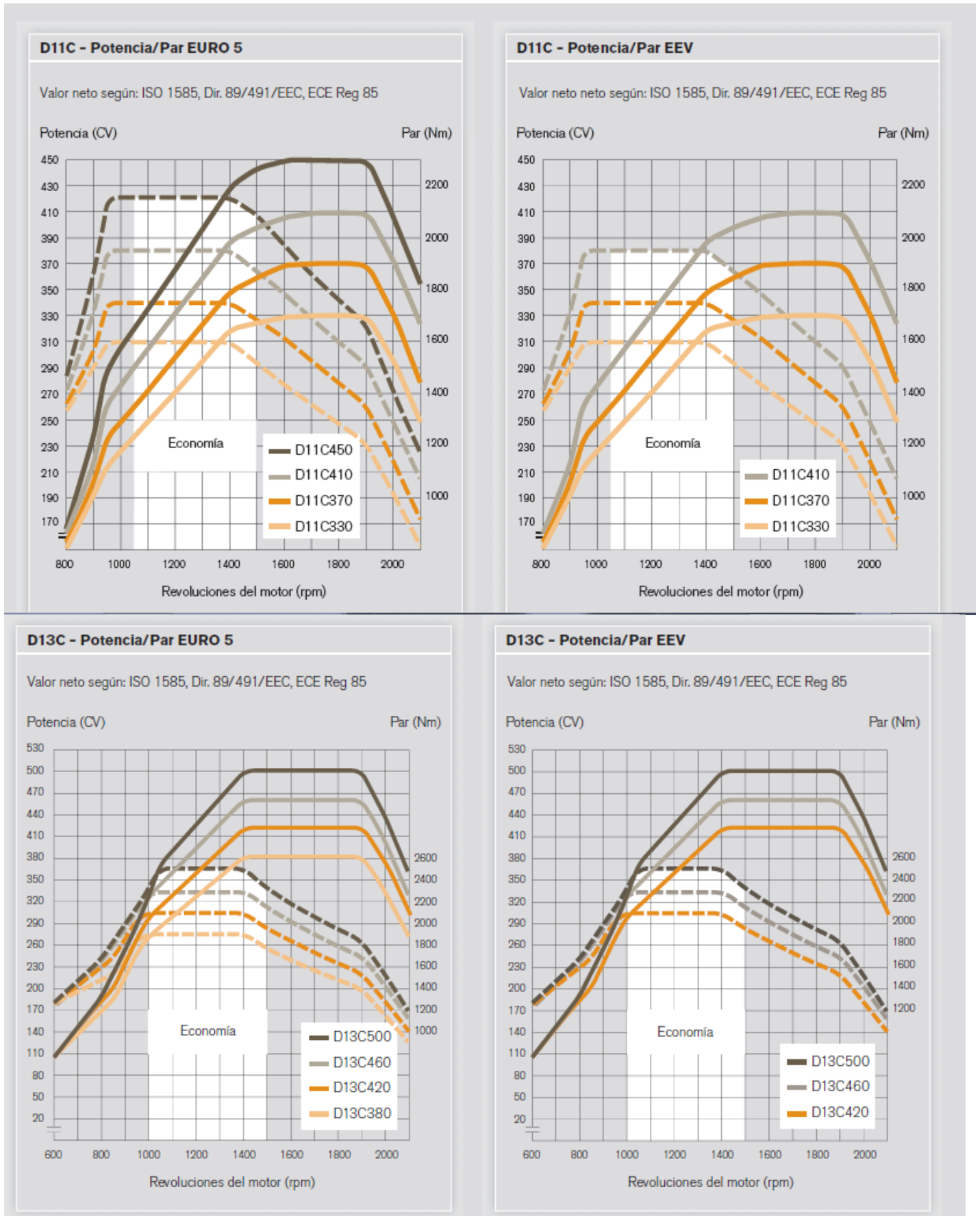


Eje tandem con suspensión neumática, adecuado para trayectos rápidos de largo recorrido en carreteras en buen estado. Configuración 6x4/8x4, suspensión neumática con 8 fuelles, MTMA del bogie de 21/23/26 toneladas. Con reducción simple y reducción de cubo.



Fuente: Recuperado del catálogo camión-volquete-volvo fmx

Anexo 5. Especificaciones Línea Motriz



Fuente: Recuperado del catálogo camión-volquete-volvo fmx