



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL
CARRERA DE INGENIERÍA DE AUTOMOTRIZ

**DESARROLLO DE METODOLOGÍA PARA LA ESTIMACIÓN DEL CICLO DE
VIDA DE UNA FLOTA DE CAMIONES LIVIANOS MEDIANTE EL ANÁLISIS DE
PROBABILIDAD DE FALLAS**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero(a) Automotriz

AUTOR: WESLEY ANTONIO CEDEÑO ASINC

BELFORT EMILIO ALVARADO SANCHEZ

TUTOR: ING. RENATO FIERRO JIMENEZ. MGTR.

Guayaquil – Ecuador

2025

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Belfort Emilio Alvarado Sánchez con documento de identificación N° 0931289870 y Wesley Antonio Cedeño Asinc con documento de identificación N° 0932008402; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.


Guayaquil, 22 de agosto del año 2025

Atentamente,



Belfort Emilio Alvarado Sánchez

0931289870



Wesley Antonio Cedeño Asinc

0932008402

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Emilio Belfort Alvarado Sánchez con documento de identificación No. 0931289870 y Wesley Antonio Cedeño Asinc con documento de identificación No. 0932008402, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto Técnico: “Desarrollo de metodología para la estimación del ciclo de vida de una flota de camiones livianos mediante el análisis de probabilidad de fallas”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Automotriz, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 22 de agosto del año 2025

Atentamente,



Belfort Emilio Alvarado Sánchez

0931289870



Wesley Antonio Cedeño Asinc

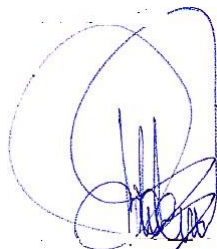
0932008402

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Pablo Renato Fierro Jiménez con documento de identificación N° 1103588578, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DESARROLLO DE METODOLOGÍA PARA LA ESTIMACIÓN DEL CICLO DE VIDA DE UNA FLOTA DE CAMIONES LIVIANOS MEDIANTE EL ANÁLISIS DE PROBABILIDAD DE FALLAS, realizado por Emilio Belfort Alvarado Sánchez con documento de identificación N° 0931289870 y por Wesley Antonio Cedeño Asinc con documento de identificación N° 0932008402, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 22 de agosto del año 2025

Atentamente,



Pablo Renato Fierro Jiménez

1103588578

DEDICATORIA

Dedico este trabajo con todo mi amor y gratitud a mis padres, quienes han sido el pilar fundamental en cada etapa de mi vida. Gracias por su apoyo incondicional durante todo este tiempo.

Me resulta difícil expresar todo lo que siento al recordar los sacrificios que han hecho por mí, agradezco inmensamente el apoyo constante, la oportunidad de formarme y los valores que me han transmitido, los cuales definen quien soy. Cada logro alcanzado es reflejo de su esfuerzo y entrega incondicional. Pese a las adversidades siempre hemos permanecido unidos y eso me enseña que puedo contar con ellos en todas las circunstancias. Les prometo devolver con amor y dedicación todo lo que han hecho por mí, porque mis logros también serán los suyos.

Emilio Alvarado

DEDICATORIA

Me gustaría ofrecerles las gracias a mis padres, porque todo lo que soy lo he conseguido gracias a ustedes. Gracias por enseñarme que, si uno trabaja con honestidad y se sacrifica, no hay nada imposible.

A mi esposa, por su apoyo en cada momento para que pudiera culminar mi estudio. Y a mi hija, que me enseñó lo que es el amor y lo hermoso de formar una familia. Este triunfo es tan mío como de ustedes.

Wesley Cedeño

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a dios por darme la fuerza y la perseverancia para alcanzar esta meta. A mi familia, por estar a mi lado con paciencia y ánimos en cada momento. Su apoyo fueron pilar fundamental para no rendirme y poder terminar mis estudios.

Me gustaría darle un reconocimiento especial al Ing. Renato Fierro, por su constante dedicación, su orientación y sus valiosos consejos que fueron clave en toda la carrera para ser ingeniero automotriz. Su guía fue esencial para consolidar el trabajo, por eso y mas le doy mi agradecimiento desde lo más profundo.

Agradecer a la empresa Expertia Corporativa S.A., por permitir el acceso a la información de recopilación de datos, lo que hizo posible la aplicación para este estudio. A mis compañeros y amigos, por haber estado a mi lado en todo momento con buenos consejos y ánimos. Y a todas las personas que de una u otra forma aportaron para que este proyecto fuera posible, mi más grande agradecimiento.

RESUMEN

El presente estudio se centra en abordar un problema recurrente en el renting de flotas, el aumento de costos por causa de los mantenimientos correctivos. Esto sucede porque fallan los componentes críticos varias veces. Como resultado, los vehículos no están disponibles, la logística se vuelve ineficiente y se generan pérdidas económicas. A pesar del crecimiento de este sector en Latinoamérica, muchas empresas deciden que los mantenimientos deben hacerse en base a la experiencia, sin aprovechar la información de los registros históricos de fallas de cada vehículo.

Con base esta problemática, nuestro estudio plantea una metodología para estimar ciclo de vida y análisis de confiabilidad en una flota de camiones livianos. Las variables clave que consideramos son el kilometraje, los tiempos de inactividad y las condiciones de operación en la ruta. El estudio se aplicó a una flota de diez unidades de la empresa Expertia Corporativa S.A. en Guayaquil, para lo cual se usaron los registros de falla y operación. Estos datos se procesaron estadísticamente para encontrar tendencias y aplicar los modelos de probabilidad.

La metodología que proponemos es usar distribuciones estadísticas como Weibull, Exponencial, Gaussiana y Rayleigh, para encontrar la mejor que se adapte a como fallan los vehículos. Una vez ajustada, se podrá estimar la tasa de falla y la curva de ciclo de vida para así poder identificar las etapas críticas de los vehículos. El resultado es una herramienta que nos permita tomar decisiones al momento de realizar el mantenimiento, la renovación de unidades y asignación de recursos, lo que trae beneficios técnicos, económicos y académicos.

Palabras claves: ciclo de vida, análisis de confiabilidad, probabilidad de fallas, gestión de flotas, distribuciones estadísticas.

ABSTRACT

This research paper addresses a critical issue in vehicle fleet management in the leasing sector: the increase in costs due to unplanned corrective maintenance resulting from recurring failures in key vehicle components. This situation directly affects the operational availability of the units, limits logistical response capacity, and generates adverse economic impacts. Despite the growth of the sector in Latin America, many companies still make maintenance decisions based on empirical criteria, without considering the historical behavior of failures or the operational context of each unit.

Based on this need, the objective of this thesis is to develop a methodology to estimate the life cycle of a fleet of light trucks by analyzing the probability of failures, taking mileage, downtime, and operating routes as the main variables. The research focuses on a fleet of 10 vehicles belonging to the company Expertia Corporativa S.A., located in Guayaquil. Historical data on failures and operation will be collected and statistically processed to identify trends and adjust probabilistic models.

The methodology is based on the use of statistical distributions such as Weibull, Exponential, Gaussian, and Rayleigh, selecting the one that best represents the failure behavior of the fleet. Based on these distributions, the failure rate will be calculated, and a life cycle curve will be projected, which will allow critical stages in the operation of the vehicles to be anticipated. The result will be an analytical tool that facilitates strategic decision-making regarding maintenance, unit renewal, and resource allocation, providing technical, economic, and logistical value to both the company and the academic sector

Keywords: vehicle lifecycle, reliability analysis, failure probability, fleet management, statistical distributions.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
ÍNDICE DE CONTENIDO	x
ÍNDICE DE ECUACIONES	xv
1. CAPÍTULO I. INTRODUCCION	1
1.1. Problema	1
1.2. Justificación	3
1.3. Objetivos Generales y Específicos	5
1.3.1. Objetivo General	5
1.3.2. Objetivos Específicos	5
2. CAPÍTULO II. MARCO TEORICO	6
2.1. Descripción de empresa	6
2.2. Misión y visión	6
2.3. Portafolio de servicios y vehículos	6
2.4. Estructura organizacional	7
2.5. Gestión digital de flota	8
2.6. Plataforma de gestión interna: GServer ExpertiaWeb	8
2.7. Gestión digital de flota vehicular a través del sistema GServer ExpertiaWeb	10
2.8. Registro de fallas y mantenimiento correctivo en la plataforma GServer ExpertiaWeb	11
2.9. Procesos operativos de Expertia Corporativa S.A.	13
2.10. Ciclo De Vida	14
2.11. Indicadores De Mantenimiento	16
2.11.1. Disponibilidad	16
2.11.2. Tiempo medio entre fallas (TMEF)	16
2.11.3. Mantenibilidad	16
2.11.4. Confiabilidad	17
2.11.5. Medidas de confiabilidad	18
2.12. La Tasa De Falla	19
2.13. Tasa De Confiabilidad ($R(T)$)	19
2.14. Tasa De Disponibilidad ($A(T)$)	20
2.15. Tiempo Medio Entre Fallos ($MTBF$)	20
2.16. Tiempo Medio Para Reparar ($MTTR$)	20
2.17. Definición De Fallo Acumulado	20

2.18.	Cálculo De Fallos Acumulados:.....	21
2.19.	Importancia En La Gestión De Activos	21
2.20.	Distribución.....	21
2.21.	Tipos De Distribución.....	21
2.22.	Distribución Exponencial.....	21
2.23.	Distribución De Weibull	23
2.24.	Distribución De Rayleigh.....	23
2.25.	Pruebas de ajuste de bondad	24
2.26.	Contraste Kolmogorov – Smirnov,	25
2.27.	Anderson – Darling.....	25
2.28.	Chi Cuadrado	25
3.	CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO.....	26
3.1.	Enfoque y diseño de la investigación	26
3.2.	Población y muestra	26
3.3.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	26
3.4.	Procedimiento metodológico.....	27
3.4.1.	Recolección de datos históricos.....	27
3.4.2.	Análisis exploratorio y depuración de datos.....	27
3.5.	Análisis de Componentes con Mayor Frecuencia de Falla	27
3.6.	Identificación del modelo de distribución	28
3.7.	Cálculo de confiabilidad y tasa de fallo.....	30
3.8.	Proyección de la curva del ciclo de vida	30
3.9.	Técnicas de análisis.....	31
3.10	Cronograma	32
3.11	Presupuesto	32
4.	CAPÍTULO IV. RESULTADOS.....	33
4.1	Prueba de Ajuste Kolmogórov-Smirnov.....	33
4.2.	Parámetros del Modelo Weibull.....	35
4.3.	Funciones de Confiabilidad del Modelo Weibull.....	37
4.4.	Análisis de confiabilidad mediante distribución Weibull	39
65.....		41
	Número total de observaciones consideradas en el modelo (fallas registradas)	41
AD.....		41
0,616.....		41
	Valor del estadístico de Anderson-Darling. Al ser inferior a 1, indica un buen ajuste.....	41
Valor p.....		41
> 0,250		41

4.5. Curva de la Bañera con Fase de Desgaste Real.....	42
4.6. Discusión.....	55
5.1. Conclusiones	56
5.2. Recomendaciones.....	57
REFERENCIAS	58
ANEXOS	61

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1. Organización Estructural	7
Fig. 2. Expertiaweb	8
Fig. 3. Expertiaweb	10
Fig. 4. Mapa de procesos	13
Fig. 5. Curva de la Bañera	15
Fig. 6. La tasa de falla	19
Fig. 7. Distribución exponencial	22
Fig. 8. Distribución de Weibull.....	23
Fig. 9. Distribución De Rayleigh	24
Fig. 10. Prueba de Ajuste Kolmogorov – Smirnov a Weibull	29
Fig. 11. Curva de la tasa de falla - Modelo de la bañera.....	31
Fig. 12. Grafica de Probabilidad para MTBF	36
Fig. 13. Parámetros del Modelo Weibull	36
Fig. 14. Funciones de Confiabilidad del Modelo Weibull	38
Fig. 15. Análisis de confiabilidad mediante distribución Weibull	40
Fig. 16. Curva de la bañera en función del MTBF (h) para el vehículo PDO-9270.....	42
Fig. 17. Curva de la bañera en función del MTBF (h) para el vehículo PDO-9272.....	43
Fig. 18. Curva de la bañera en función del MTBF (h) para el vehículo PDO-9276.....	44
Fig. 19. Curva de la bañera en función del MTBF (h) para el vehículo TBK8547	45
Fig. 20. Curva de la bañera en función del MTBF (h) para el vehículo TBK-8550.....	46
Fig. 21. Curva de la bañera en función del MTBF (h) para el vehículo TBK8552.....	46
Fig. 22. Curva de la bañera en función del MTBF (h) para el vehículo TBK8552	47
Fig. 23. Curva de la bañera en función del MTBF (h) para el vehículo TBK8555	48
Fig. 24. Curva de la bañera en función del MTBF (h) para el vehículo TBK8556.....	49
Fig. 25. Curva de la bañera en función del MTBF (h) para el vehículo TBL9050	49
Fig. 26. Curva de confiabilidad sistema en paralelo de muestra de 10 vehículos... ..	51

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA I: Portafolio de servicios y vehículos.....	7
TABLA II: Muestra seleccionada de la flota de camiones livianos.....	14
TABLA III: Análisis de Componentes con Mayor Frecuencia de Falla	27
TABLA IV: Prueba bondad de Kolmogorov-Smirnov... ..	29
TABLA V: Cronograma.....	32
TABLA VI: Presupuesto	32
TABLA VII: Prueba bondad de Kolmogorov-Smirnov.....	33
TABLA VIII: Estadísticas MTBF	37
TABLA IX: Resultado modelo weibull aplicado al ciclo de vida... ..	41
TABLA X: Valores de confiabilidad muestra de 10 vehículo... ..	50
TABLA XI: Indicadores de mantenimiento de 10 vehículos.....	52
TABLA XII: Indicadores del sistema	55

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación (1): Disponibilidad.....	16
Ecuación (2): Tiempo medio entre fallas	16
Ecuación (3): Tiempo medio entre reparaciones.....	16
Ecuación (4): Mantenibilidad.....	17
Ecuación (5): Número total de reparaciones efectuadas con relación al total de horas de reparación de equipo	17
Ecuación (6): Confiabilidad	17
Ecuación (7): Tasa de fallas	17
Ecuación (8): Medidas de confiabilidad.....	18
Ecuación (9): Función De Distribución De Fallas Acumulada.....	18
Ecuación (10): Función De Densidad De Probabilidad De Fallas	18
Ecuación (11): Función De Tasa De Fallas.....	18
Ecuación (12): Tasa De Confiabilidad	20
Ecuación (13): Tasa De Disponibilidad	20
Ecuación (14): Tiempo Medio Entre Fallos.....	20
Ecuación (15): Tiempo Medio Para Reparar	20
Ecuación (16): Ajuste de bondad Kolmogorov-Sminov	25
Ecuación (17): Ajuste de bondad Anderson-Darling.....	25
Ecuación (18): Ajuste de bondad Chi cuadrado.....	25
Ecuación (19): Función de confiabilidad $R(t)$	30
Ecuación (20): Distribución Weibull	30

1. CAPÍTULO I. INTRODUCCION

1.1. Problema

A nivel global, las empresas dedicadas al renting de vehículos enfrentan una problemática creciente relacionada con el incremento de los costos operativos, derivados principalmente del mantenimiento correctivo no planificado, como consecuencia de fallas recurrentes en distintos sistemas de los vehículos [1]. Esta situación reduce la disponibilidad operativa de las unidades, limita la capacidad de respuesta logística y genera impactos económicos significativos [2]. La falta de mecanismos predictivos adecuados para anticipar estas fallas compromete directamente la distribución oportuna de productos, repercute negativamente en las ventas mensuales y genera una mayor presión sobre los recursos logísticos [3]. En este contexto, la gestión eficiente del ciclo de vida de vehículos se vuelve fundamental para empresas que administran flotas, especialmente aquellas dedicadas al renting [4]. Estimar con precisión el ciclo de vida de estos vehículos permite optimizar decisiones de mantenimiento, renovación y disposición, lo cual es clave para reducir costos y aumentar la disponibilidad operativa de las unidades [5].

Diversos estudios han evidenciado que la eficiencia en la gestión del mantenimiento es clave para garantizar altos niveles de disponibilidad en sistemas operativos complejos. En el caso de sistemas industriales, como en la planta compresora Jusepín donde se registraron niveles de confiabilidad inferiores al 45% y una disponibilidad global del 73,30 %, lo que refleja una gestión limitada y altamente vulnerable a fallas operativas [6]. En el ámbito ferroviario, estudios demuestran que solo cuando la disponibilidad alcanza o supera el 96 %, es posible enfocar la gestión en procesos de mejora continua y reducción de fallas críticas [7].

Se ha comprobado que dentro de la gestión de flotas de vehículos que implementa programas de mantenimiento bien planeados alcanzan una disponibilidad operativa que esta entre los 90% a 95%. Por otro lado, las flotas que no cuentan con una gestión técnica llegan al 75% de disponibilidad [8]. Esta diferencia tan grande nos da la necesidad de tener metodologías de análisis de confiabilidad que se basen en herramientas estadísticas que faciliten la toma de decisiones en mantenimientos. Al no tener este modelo afecta directamente en la eficiencia de las operaciones, se eleva la frecuencia de fallas inesperadas y un alza significativa de costos, afectando la productividad y en cómo se aprovechan los recursos.

El renting de vehículos en América Latina ha aumentado, en gran parte porque ayudan a las empresas a optimizar su capital y tener movilidad sin altos costos de compra de vehículos propias [9]. Por lo cual, es primordial que los vehículos se encuentren disponibles y con un sistema de mantenimiento es un punto clave para competir. Sin embargo, las decisiones de reparar o reemplazar unidades se toman con la experiencia, sin considerar las condiciones específicas de los vehículos. Analizamos en este estudio una flota de camiones livianos (INEN 2656) de la empresa Expertia Corporativa S.A. Los registros históricos de falla y reparaciones que maneja la empresa nos sirven como punto de partida para evaluar su rendimiento. [10]

Lo ideal sería que las empresas contaran con una metodología para poder estimar el ciclo de vida de sus vehículos por medio de la confiabilidad, tasa de falla y las probabilidades de ocurrencia [11]. Y que la vida útil de las unidades no solo depende del uso, sino también de la confiabilidad de sus partes y las fallas que se presentan.[12]. Este método facilita anticipar con mayor exactitud el punto cuando una unidad requiera sustitución o cambio. Para esto, nos usamos los modelos de distribución que son herramientas en ingeniería de mantenimiento para medir confiabilidad. Sin embargo, el estado actual muestra que el caso de análisis no dispone de una metodología sistemática para calcular la confiabilidad de los vehículos de su flota. Las decisiones de reemplazo o mantenimiento se basan principalmente en criterios generales como el kilometraje o el tiempo de uso, sin considerar el comportamiento histórico de fallas; esto ha generado discrepancias en la planificación de mantenimiento, costos elevados por intervenciones no programadas, y un bajo aprovechamiento del ciclo de vida real de los vehículos, afectando la eficiencia operativa de la flota.

La falta de un enfoque probabilístico en la empresa para la gestión del ciclo de vida conlleva consecuencias como la sobreutilización de vehículos, aumentos en los costos por mantenimientos correctivos, y pérdidas económicas por inactividad. La falta de un tratamiento estadístico de la información histórica sobre fallas e intervenciones, junto con la ausencia de una gestión apoyada en principios de confiabilidad, se identifica como un factor crítico. Esta carencia limita la posibilidad de tomar decisiones sustentadas en evidencias objetivas y debilita la eficiencia operativa. Esto a su vez, dificulta la continuidad y disponibilidad del negocio a mediano y largo plazo. Si el problema persiste, la empresa continuara teniendo pérdidas económicas por no tomar correctas decisiones de mantenimiento y renovación de vehículos. Además, se incrementará el riesgo de fallos inesperados, lo que afecta directamente la percepción del cliente respecto a la calidad del servicio de renting. Se ha demostrado, que si

una empresa que no usa una metodología basada en la confiabilidad y en el análisis sistemático de falla, esta pondría en riesgo su competitividad con el entorno que cada vez exige una mayor eficiencia.

1.2. Justificación

Esta investigación tiene la finalidad de estudiar el ciclo de vida de una flota de vehículos de Expertia Corporativa S.A. La idea principal es que sirva como una herramienta para mejorar la gestión operativa y económica, ya que la eficiencia y la disponibilidad de los vehículos son primordiales. La empresa cuenta con una flota de 10 camiones livianos, cuyo comportamiento de fallas y frecuencias debe ser comprendido para estimar su vida útil con mayor precisión. Esta información permitirá tomar decisiones basadas en el análisis técnico de los tiempos de operación sobre; mantenimiento, renovación y control de costos. Actualmente, se enfrenta pérdidas operativas de hasta un 22 % debido a eventos no controlados, como mantenimientos imprevistos e incidentes logísticos, afectando también al 18 % de su cartera de clientes y generando una pérdida anual cercana al 12 % [14]. Ante esta situación, se propone una metodología que tiene como punto de partida el uso de datos históricos y en el análisis de falla. La idea es que nos sirva como una herramienta predictiva para disminuir las paradas inesperadas de las unidades y mejorar su disponibilidad. Esto contribuye, en aumentos económicos y una buena logística, ya que mejoramos la eficiencia de los recursos que se tienen.

Este estudio tiene la idea de desarrollar una metodología que use herramientas estadísticas para poder tener como resultado el ciclo de vida de las unidades. Para ello, analizaremos distribuciones y determinaremos cual se ajusta de mejor forma al comportamiento de los datos. El modelo que obtengamos nos permitirá analizar la tasa de fallas con el transcurso del tiempo y así poder anticipar las etapas críticas de la operación de la flota.

El desarrollo de esta investigación brinda un aporte a la empresa Expertia Corporativa S.A., al brindarle una metodología fiable que mejore la gestión de las flotas. Esta herramienta permitirá a la empresa mejorar la planificación en los mantenimientos y disminuir los fallos no previstos. El uso de métodos probabilísticos permite que técnicamente el trabajo sea más sólido y se junte con las practicas que se usan en la empresa. Esto no significa reducir gastos, sino también brindar un servicio de calidad, basado en tener disponibilidad de unidades. Adicionalmente, este estudio será un material referencia para estudiantes de Ingeniería Automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana, que sea punto de partida para seguir investigando métodos de mantenimiento y confiabilidad vehicular.

El proyecto se llevará a cabo en Guayaquil durante el periodo 66, nos guiaremos de los criterios técnicos y académicos de la Universidad Politécnica Salesiana. La investigación se ajustará a los lineamientos metodológicos, éticos y formales de la institución, lo que asegura la validez y el rigor académico del trabajo.

La investigación se aplicará de manera específica a una muestra conformada por diez camiones livianos pertenecientes a la empresa Expertia Corporativa S.A., seleccionados por estar ubicados en la ciudad de Guayaquil, lo que facilita el acceso a la información logística y operativa. Estas unidades cuentan con sistemas de rastreo equipados con horómetro, lo que permite registrar con exactitud el tiempo real de funcionamiento de cada vehículo. La delimitación del estudio a este grupo concreto de la flota asegura un análisis más controlado y homogéneo. Además, posibilita la obtención de datos confiables y representativos, lo que contribuye al logro de los objetivos planteados. Finalmente, esta definición del alcance fortalece la aplicabilidad práctica del proyecto y su relevancia para la gestión de mantenimiento de la empresa.

1.3. Objetivos Generales y Específicos

1.3.1. Objetivo General

- Desarrollar una metodología para la estimación del ciclo de vida de una flota de camiones livianos de una empresa renting de vehículos mediante la determinación estadística de probabilidad de fallas y confiabilidad.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Analizar información histórica de fallas y reparaciones de cada vehículo de la flota para obtener tiempos de operación e intervención.
- Establecer una metodología para el cálculo de las funciones de confiabilidad y tasa de fallo mediante el análisis estadístico de los tiempos.
- Obtener las curvas de tasa de fallo, la probabilidad de fallo y confiabilidad mediante ajuste matemático para la determinación de curva de ciclo de vida.
- Validar la metodología propuesta mediante comparación de resultados con el histórico de fallos y tiempos.

2. CAPÍTULO II. MARCO TEORICO

2.1. Descripción de empresa

Expertia Corporativa S.A. es una empresa ecuatoriana dedicada al arrendamiento operativo de vehículos, brindando soluciones de movilidad a instituciones públicas y privadas. Fundada en 2010 como Produrenting S.A., adoptó su nombre actual como parte de su crecimiento institucional. La empresa desarrolla sus operaciones en distintas ciudades del país, entre ellas Quito, Guayaquil, Manta y Quevedo. Su gestión se sustenta en contratos flexibles, planes de mantenimiento preventivo y un servicio de postventa continuo. Además, ofrece vehículos de reemplazo mientras se efectúan los correctivos. Esto permite a sus clientes enfocarse en su negocio principal sin preocuparse por la gestión de flotas. [1].

Para mejorar su gestión, Expertia Corporativa S.A. utiliza su plataforma ExpertiaWeb, una herramienta para administrar el servicio de renting vehicular. Esta plataforma permite controlar las unidades, gestionar documentos y llevar un control de mantenimientos preventivos y correctivos. Gracias a sus registros de datos, tendremos acceso a información como kilometraje, historial de fallas y frecuencia en los mantenimientos, lo que es primordial para el análisis técnico y para determinar el ciclo de vida de cada unidad. [22]

2.2. Misión y visión

La misión es brindar a empresas soluciones eficientes de movilidad mediante el arrendamiento operativo de vehículos, gestionando de forma integral su ciclo de vida y garantizando continuidad operativa, soporte técnico y atención personalizada.

La visión es posicionarse como la empresa líder en el mercado nacional de renting vehicular, reconocida por su innovación tecnológica, cobertura logística y altos estándares de servicio al cliente.

2.3. Portafolio de servicios y vehículos

La TABLA I presentada clasifica los distintos tipos de vehículos incluidos en el portafolio de servicios, según su uso funcional. Se identifican tres categorías principales: camiones livianos, vehículos utilitarios como pick-ups doble cabina, y vehículos ejecutivos como SUVs y sedanes. Cada tipo está orientado a cubrir necesidades específicas, como el reparto urbano, las labores en terrenos exigentes y la movilización del personal directivo [1]. Esta clasificación permite analizar las ventajas operativas de cada vehículo en función de su aplicación empresarial.

TABLA I
PORTAFOLIO DE SERVICIOS Y VEHICULOS

Tipo de Vehículo	Uso Típico	Ejemplo / Características	Duración del Contrato	Servicios Incluidos
Camiones livianos	Reparto urbano e interprovincial	DFSK C31 Mini Truck AC 1.5	36 a 48 meses	Mantenimiento preventivo y correctivo, seguros, vehículo sustituto
Vehículos utilitarios / Pick-ups doble cabina	Operaciones de campo	Robustos, aptos para terrenos exigentes	36 a 48 meses	Mantenimiento, seguros, vehículo sustituto
SUV y sedanes ejecutivos	Movilización corporativa y ejecutiva	Confort y presentación para personal directivo	36 a 48 meses	Mantenimiento, seguros, vehículo sustituto

2.4. Estructura organizacional

La estructura organizacional de Expertia Corporativa S.A. permite identificar con claridad los distintos niveles de autoridad y distribución funcional, lo cual es clave para una operación eficiente del modelo de renting. Este tipo de estructura favorece la asignación adecuada de responsabilidades en áreas técnicas, administrativas y logísticas [4].

En la Fig. 1, siguiente se presenta la estructura organizacional de la empresa, representada de manera jerárquica. Esta representación permite identificar con claridad los distintos niveles de autoridad y la distribución funcional de las áreas. Asimismo, facilita el análisis de las responsabilidades asignadas a cada unidad organizativa. La estructura reflejada evidencia la alineación interna necesaria para el cumplimiento de los objetivos estratégicos.

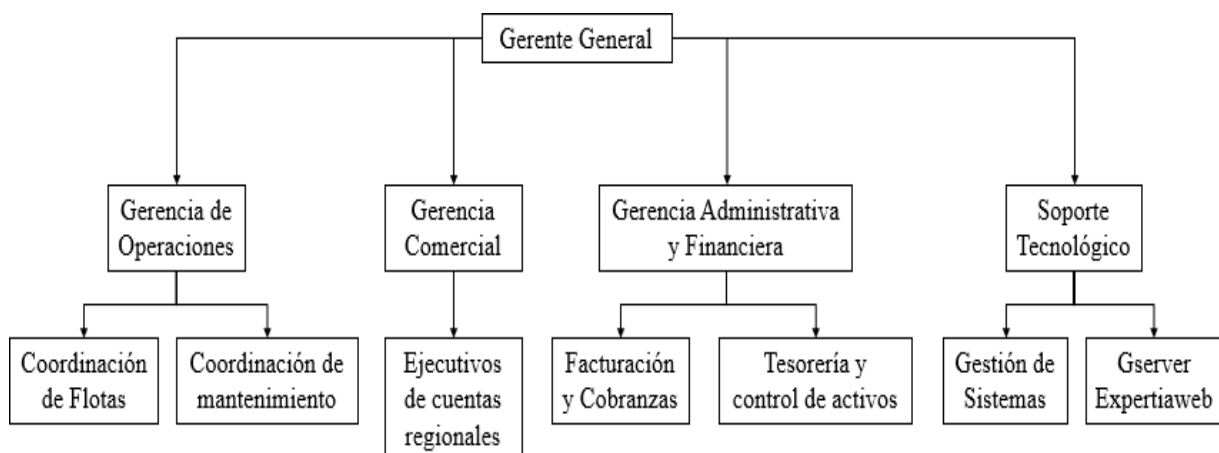


Fig. 1. Organización Estructural.

2.5. Gestión digital de flota

Uno de los ejes claves de Expertia Corporativa S.A. es usar la plataforma digital Gserver ExpertiaWeb. Esta herramienta respalda todos los procesos internos, como asignación de unidades y administrar contratos. Su diseño permite monitorear información técnica, operativa y financiera. [15]

La plataforma recibe alertas en tiempo real, exportar datos y generar reportes estadísticos. Estas funciones la convierten en una herramienta fundamental para los análisis de confiabilidad de nuestra investigación.

- Vehículos: Registro de fallos de cada vehículo
- Contratos: Información de fechas, plazos, condiciones, y responsables.
- Mantenimientos: Historial de mantenimientos correctivos y preventivos, tipo de falla, kilometraje al momento de la reparación y observaciones.
- Facturación: control de pagos, órdenes de compra y costos asociados.

En la Fig. 2, se muestra una imagen de la página principal de administrador de dashboard Expertia Web.

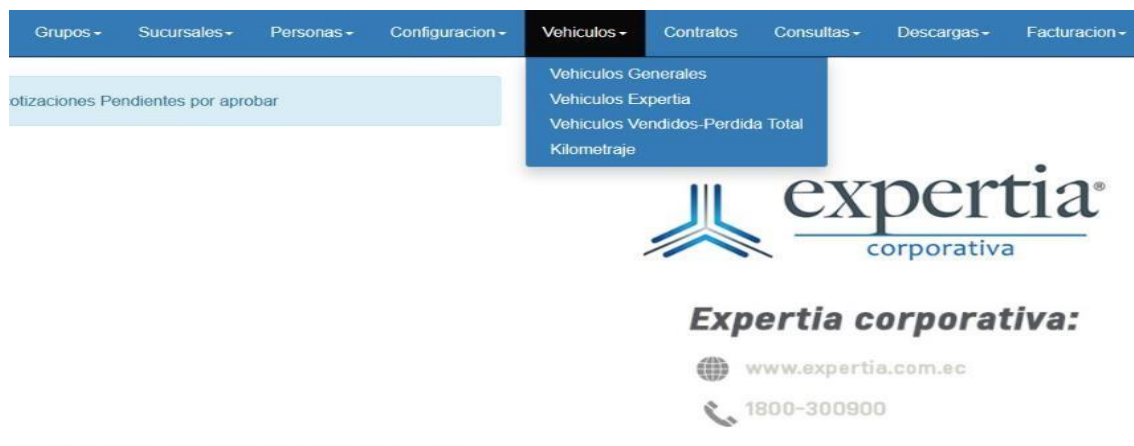


Fig. 2. Expertiaweb [16]

Toda esta información se almacena en una base de datos relacional que puede ser exportada en formatos como Excel o CSV, lo cual permite su uso para análisis estadísticos y modelado de probabilidad de fallas, como se plantea en el presente estudio. [15]

2.6. Plataforma de gestión interna: GServer ExpertiaWeb

La plataforma permite la gestión detallada de vehículos, contratos, personas, facturación y mantenimientos (Consorcio Informega, s.f.). Cada módulo se articula en una base de datos

relacional que organiza la información según parámetros técnicos, administrativos y contractuales. Esta arquitectura facilita el desarrollo de indicadores técnicos como tasa de fallas, tiempo medio entre mantenimientos o condiciones de uso por ciudad.

En la parte superior del panel se identifican los siguientes módulos:

- Grupos: Posiblemente para clasificar clientes o flotas por categorías comerciales.
- Sucursales: Permite gestionar operaciones de cada ciudad donde Expertia tiene presencia.
- Personas: Administra la base de datos de usuarios, tanto internos (staff) como externos (clientes).
 - Configuración: Incluye parámetros del sistema, roles de usuario, permisos y ajustes generales.
 - Vehículos: Módulo principal donde se registra y monitorea cada unidad de la flota (placas, kilometraje, mantenimiento, estado).
 - Contratos: Gestión de contratos de arrendamiento operativo, duración, costos, y asignaciones.
 - Consultas: Generación de reportes e informes de operación, mantenimientos, uso por cliente, etc.
 - Descargas: Exportación de datos en formatos como PDF o Excel.
 - Facturación: Control de procesos contables, emisión de facturas y conciliaciones.

En la Fig. 3, se muestra una imagen de la opción “Vehículos” donde podemos encontrar el detalle de cada uno de los vehículos de la flota.

W Cedeno Grupos Sucursales Personas Configuracion Vehiculos Contratos Consultas Descargas Facturacion											
VEHICULOS											
Copy Excel CSV											
ACCION	ID	CIERRE COTIZADOR	FECHA_INI	FECHA_FIN	STATUS	EJECUTIVO	CLIENTE	SUCURSAL	USUARIO	PLACA	MARCA
	1431	2022-03-29	2022-07-06	2025-07-06	RENTING	WESLEY CEDEÑO	ALIMENTOS YUPI S.A.	ALIMENTOS YUPI S.A MATRIZ GUAYAQUIL	YANDRI QUIMI	PDO-9272	DFSK MOTOR CO, LTD
	1433	2022-03-29	2022-07-06	2025-07-06	RENTING	WESLEY CEDEÑO	ALIMENTOS YUPI S.A.	ALIMENTOS YUPI S.A MATRIZ GUAYAQUIL	RONALD PIN	PDO-9276	DFSK MOTOR CO, LTD
	1434	2022-03-29	2022-07-06	2025-07-06	RENTING	WESLEY CEDEÑO	ALIMENTOS YUPI S.A.	ALIMENTOS YUPI S.A MATRIZ GUAYAQUIL	Jhony Arturo Andrade Bonilla	PDO-9270	DFSK MOTOR CO, LTD

Fig.3. Expertiaweb [16]

El sistema permite visualizar notificaciones en tiempo real, como cotizaciones pendientes o acciones requeridas. Esto refleja que la herramienta no solo almacena información, sino que también funciona como un sistema de gestión activa que guía al usuario a través del ciclo de vida operativo de los vehículos.

Desde una perspectiva investigativa, se infiere que la base de datos de este sistema se encuentra estructurada en entidades relacionales, organizadas en tablas como:

- vehículos (placa, chasis, marca, modelo, año, kilometraje actual),
- mantenimientos (fecha, tipo, proveedor, estado),
- usuarios (nombre, rol, cédula/RUC, empresa),
- contratos (fecha inicio-fin, tipo de vehículo, tarifas),
- facturas (monto, fecha, estado de pago),

Esta plataforma constituye una fuente clave para el análisis de confiabilidad y probabilidad de fallas dentro del marco de esta tesis, ya que permite rastrear el historial técnico y operacional de cada unidad vehicular en tiempo real. [15]

2.7. Gestión digital de flota vehicular a través del sistema GServer ExpertiaWeb

Expertia Corporativa S.A. emplea la plataforma digital de gestión GServer ExpertiaWeb, creada por el proveedor tecnológico Consorcio Informega. Esta herramienta permite llevar el control operativo, administrativo y contractual de toda la flota vehicular arrendada a sus clientes, así como supervisar el cumplimiento de mantenimientos, kilometraje, uso geográfico y datos técnicos por cada unidad.

El módulo Vehículos incorpora funciones avanzadas que facilitan el registro y la consulta de información técnica y contractual de cada unidad asignada. Estos datos se gestionan en una base estructurada con campos clave que organizan la información de manera sistemática.

- Datos de operación y contrato: Registro de la fecha de inicio y finalización del contrato, estado del arrendamiento, duración total en meses y sucursal donde opera la unidad.

- Datos administrativos: Nombre del ejecutivo a cargo, empresa cliente, usuario final asignado y ciudad de operación.

- Datos técnicos del vehículo: Placa, marca, modelo, color, número de chasis, año de fabricación, y kilometraje acumulado reportado en la plataforma.

El sistema permite también la exportación de esta información en formatos Excel o CSV, lo cual facilita el análisis externo y la integración con herramientas estadísticas. Esta capacidad es especialmente relevante para el desarrollo del presente trabajo, que se enfoca en la estimación del ciclo de vida útil mediante análisis de probabilidad de fallas, ya que permite construir una base de datos histórica de uso, desgaste y condiciones operativas de los vehículos.

De manera adicional, el sistema permite aplicar filtros por cliente (por ejemplo: “Alimentos Yupi S.A.”), lo cual facilita la segmentación por empresas, ciudades o líneas de negocio, optimizando la trazabilidad en flotas multicliente.

A partir de esta base de datos, es posible desarrollar indicadores claves de confiabilidad, tales como:

- Tasa de fallas por kilometraje recorrido.
- Duración media antes de una intervención.
- Historial de mantenimiento por unidad y por ruta.
- Condiciones promedio de uso según ciudad (clima, topografía, carga promedio).

Estos datos permiten alimentar modelos estadísticos basados en distribuciones como Weibull, Gaussiana o Exponencial, los cuales se utilizan en el capítulo metodológico para proyectar el ciclo de vida de cada unidad de flota.

2.8. Registro de fallas y mantenimiento correctivo en la plataforma GServer ExpertiaWeb

El módulo "Historial de Mantenimientos" permite llevar un control minucioso de las fallas correctivas no predecibles que afectan a cada unidad. Los campos de información almacenada

como número de orden, evento, tipo de gasto, kilometraje y fecha constituyen una base esencial para alimentar modelos estadísticos de confiabilidad [22]. A partir de estos registros, es posible estimar patrones de fallas por componente, evaluar la frecuencia de eventos y determinar el comportamiento de los vehículos a lo largo de su vida útil.

Este módulo, denominado "Historial de Mantenimientos", se estructura mediante una base de datos tabular que incluye campos clave como:

- Número de orden de compra (OC).
- Número de contrato y código del vehículo.
- Evento asociado y referencia del evento: se describen fallas específicas como “golpe inferior en soporte de cremallera”, “cambio de cremallera” o “golpe en estribo”.
- Fecha de emisión y fecha de revisión, que permiten calcular el tiempo de reacción o de intervención.
- Tipo de gasto: se especifica si se trata de un mantenimiento correctivo no predecible, lo cual es clave para estudios de confiabilidad.
- Kilometraje actual al momento del evento (campo KM_ACTUAL), fundamental para correlacionar fallas con uso acumulado.
- Taller asignado y detalle del requerimiento técnico, incluyendo el tipo de intervención realizada (ej. cambio de piezas, soldadura, enderezado).

Además, el sistema permite exportar la información en formato Excel, lo cual facilita su tratamiento para fines estadísticos, especialmente en el marco de esta tesis que busca establecer el ciclo de vida de camiones livianos mediante el análisis de fallas.

Esta funcionalidad representa una fuente primaria de datos reales, que permite:

- Estimar la frecuencia y severidad de fallas.
- Identificar patrones por componente afectado.
- Determinar el kilometraje promedio entre mantenimientos no predecibles.
- Evaluar el desempeño de talleres y tiempo de respuesta.

A partir de estos registros se puede construir una base de datos de confiabilidad, alimentando modelos de distribución probabilística como Weibull o Log-Normal, que posteriormente serán desarrollados en el capítulo metodológico del presente estudio.

2.9. Procesos operativos de Expertia Corporativa S.A.

Expertia Corporativa S.A. gestiona su operación mediante procesos alineados con las mejores prácticas de mantenimiento y administración de flotas. Dichos procesos están integrados al sistema digital GServer ExpertiaWeb y abarcan desde la cotización del servicio hasta el cierre del contrato, permitiendo una trazabilidad completa del ciclo de vida del vehículo [15].

A continuación, se detalla el mapa de procesos operativos más representativo en la Fig.4

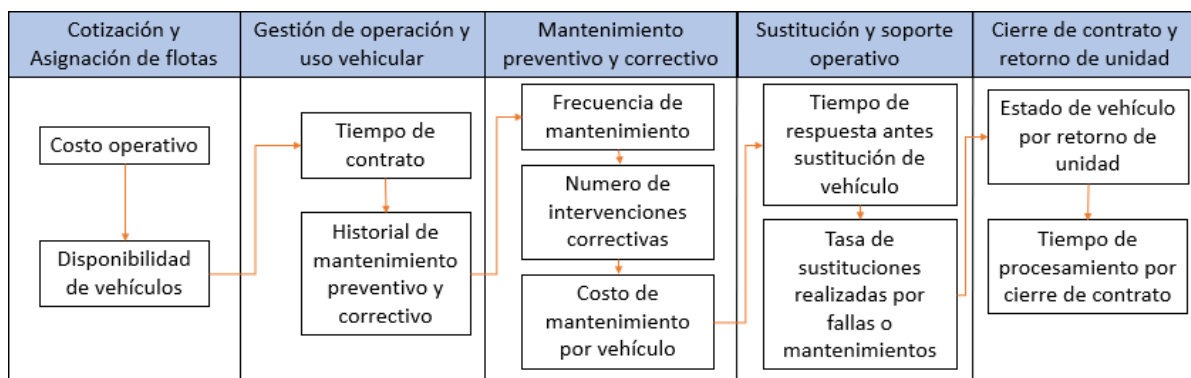


Fig.4. Mapa de procesos.

En el contexto de la gestión digital y operativa de flotas previamente descrita, se vuelve indispensable examinar el desempeño técnico de los vehículos a lo largo de su vida útil. Este análisis debe contemplar no solo el uso diario de las unidades, sino también los mantenimientos realizados y su impacto en la confiabilidad. Bajo esta perspectiva, el estudio del ciclo de vida del vehículo se configura como un proceso integral que inicia con la adquisición y culmina con el retiro del activo. Comprender dicho ciclo permite valorar la eficiencia de la administración de flotas y anticipar la confiabilidad operacional en relación con factores como desgaste acumulado, recurrencia de fallas y costos de mantenimiento. A partir de esta idea, presentamos los conceptos y estructura del ciclo de vida de un activo. Estos fundamentos sirven para nuestra metodología, dándole consistencia al momento de evaluar y proyectar la gestión de las unidades.

Para este estudio, nos basamos en un grupo específico de una flota vehicular, los cuales sus características técnicas se pueden presenciar en la TABLA II.

TABLA II
MUESTRA SELECCIONADA DE LA FLOTA DE CAMIONES LIVIANOS.

MARCA	MODELO	PLACA	CHASIS
DFSK	C31 MINI TRUCK AC 1.5	TBK-8550	LVZKR31B3PCB08127
DFSK	C31 MINI TRUCK AC 1.5	TBK-8552	LVZKR31B2PCB0814
DFSK	C31 MINI TRUCK AC 1.5	TBK-8553	LVZKR31B5PCB08145
DFSK	C31 MINI TRUCK AC 1.5	TBK-8555	LVZKR31B2PCB08152
DFSK	C31 MINI TRUCK AC 1.5	TBK-8556	LVZKR31B6PCB08154
DFSK	C31 MINI TRUCK AC 1.5	TBK-8547	LVZKR31B0PCB08148
DFSK	C31 MINI TRUCK AC 1.5	TBL-9050	LVZKR31B6RCB00123
DFSK	C31 MINI TRUCK AC 1.5	PDO-9270	LVZKR31B1PCB00169
DFSK	C31 MINI TRUCK AC 1.5	PDO-9272	LVZKR31B2PCB00164
DFSK	C31 MINI TRUCK AC 1.5	PDO-9276	LVZKR31BXPCB00171

2.10. Ciclo De Vida

El ciclo de vida de un activo es el tiempo operativo que mantiene un equipo, desde que se adquiere hasta su venta [7]. Este concepto es clave en la gestión de activos, porque permite optimizar el rendimiento de los equipos y disminuir costos. De esta manera, no solo nos basamos en corrección de fallos sino en un proceso de planificación, ejecución, control y mejora continua. [7]

Este enfoque es relevante donde se pende de maquinarias y equipos para sus actividades diarias, ya que permite aumentar la confiabilidad y la disponibilidad de los recursos y su vida útil. Además, funciona como herramienta primordial en los mantenimientos preventivos y correctivos, lo que da como resultado una mayor eficiencia del sistema productivo y metas de la empresa, entre los que se encuentra:

Adquisición: incorporación de un activo (compra)

Planificación del mantenimiento: plan de mantenimiento que tenga inspecciones programadas, mantenimientos preventivos y ajustes.

Operación y monitoreo: supervisión continua de su desempeño, lo cual se registran datos y se controla su funcionamiento con el fin de detectar fallas potenciales o requerimientos de mantenimiento.

Extensión de la vida útil: renovaciones, modernizaciones o reacondicionamientos.

Retirada o desmantelamiento: Cuando el activo deja de ser rentable para mantener o alcanza el fin de su vida útil, se ejecuta su retiro y desmantelamiento.

Evaluación de Resultados: posterior al mantenimiento se mide el desempeño y la eficacia de las actividades realizadas.

Mejora Continua: se basa en el análisis de los resultados obtenidos para ajustar los procedimientos, optimizar recursos y mejorar la planificación del mantenimiento. [7]

Es importante considerar que la confiabilidad depende tanto de las condiciones como del tiempo de funcionamiento del equipo, por lo cual resulta necesario distinguir las diferentes fases en las que este opera. Desde este punto de vista se representa las etapas de la vida de un equipo desde su puesta en marcha hasta la obsolescencia como se muestra en la Fig. 5.

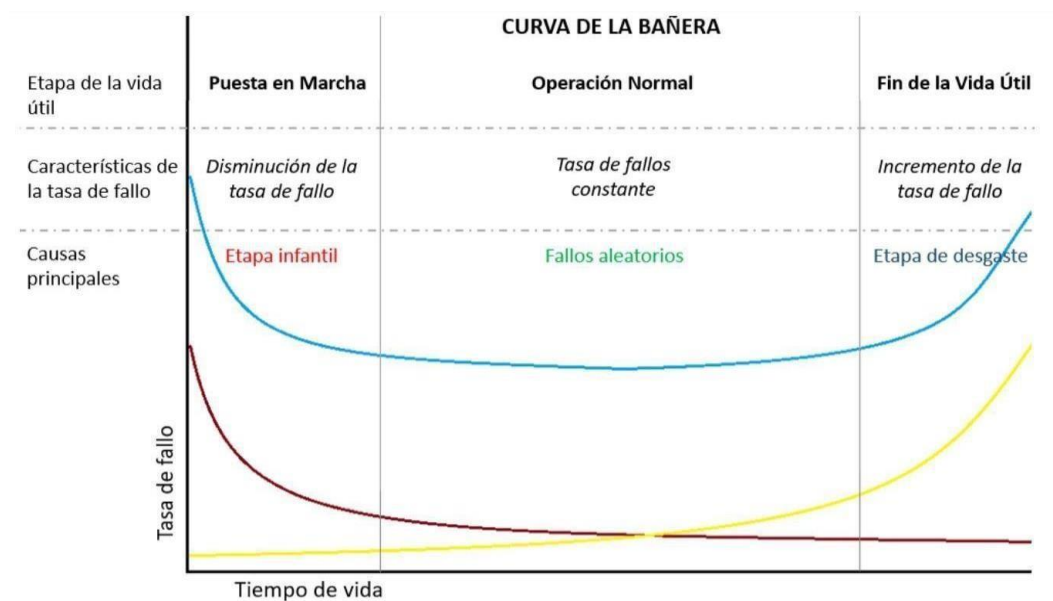


Fig. 5. Curva de la Bañera. [20]

2.11. Indicadores De Mantenimiento

Los índices, entendidos como indicadores cuantitativos y cualitativos, permiten evaluar tanto las variables operativas como los atributos de los resultados de un proceso de mantenimiento. Su implementación ordenada permite evaluar el rendimiento presente y diseñar planes de mejora que aseguren la coherencia entre las acciones técnicas y los objetivos estratégicos de la gestión. [7]

2.11.1. Disponibilidad

Se entiende como la aptitud de un activo o componente para mantenerse en condiciones adecuadas que le permitan cumplir la función asignada bajo parámetros específicos, ya sea en un momento determinado o a lo largo de un periodo de tiempo. Este indicador se encuentra directamente relacionado con las horas invertidas en actividades de reparación. [8]

$$D = \frac{TMEF}{TMEF+TMER} * 100 \quad (1)$$

D (t): Disponibilidad (%)

TMEF: Tiempo medio entre fallas (horas)

TMER: Tiempo medio entre reparaciones (horas)

2.11.2. Tiempo medio entre fallas (TMEF)

Es el tiempo promedio que se transcurre entre una falla y la siguiente falla. Si aumenta el tiempo de promedio de falla será más confiable el equipo. [8]

$$TMEF = \frac{T.PROGRAMADO-TIEMPO PARA REPARAR}{N DE INTERVENCIONES} \quad (2)$$

Es el tipo promedio tomado para reparar las diferentes fallas.

$$TMPR = \frac{TIEMPO TOTAL PARA REPARAR}{N DE INTERVENCIONES} \quad (3)$$

2.11.3. Mantenibilidad.

Puede ser definida como la característica de una instalación de permitir un mayor o menor grado de facilidad en la ejecución de los servicios de mantenimiento. De forma más simple es la probabilidad de que un equipo que presenta una falla sea reparado en un determinado tiempo y ser colocada condiciones de operación dentro de un determinado tiempo establecido. MTTR o TMPR tiempo medio para reparar. [27]

$$M = (1 - e^{-\mu \cdot t}) * 100 \quad (4)$$

M (t): Mantenibilidad % T: Tiempo total de estudio.

μ : Tasa de reparaciones (número total de reparaciones efectuadas con relación al total de horas de reparación de equipo) reparaciones / horas.

$$\mu = \frac{1}{TMPR} \quad (5)$$

2.11.4. Confiabilidad

Cuando gestionamos equipos, la confiabilidad es primordial en el diseño y gestión de equipos, ya que podemos evaluar los modos de falla y la probabilidad de que suceda. Esto nos ayuda a planificar mantenimientos efectivos, reducir paradas inesperadas y reducir los costos que van anexados al ciclo de vida de los activos. [26] La confiabilidad nos dice que la probabilidad de que un sistema cumpla su función durante un tiempo establecido bajo condiciones normales.

$$C = \left(\frac{X \cdot T}{e^{1000}} \right) * 100 \quad (6)$$

C (t): Confiabilidad %

T: Tiempo total de estudio (horas)

λ : Tasa de fallas (número de fallas con relación con relación al tiempo promedio entre fallas del equipo) fallas / horas.

$$\lambda = \left(\frac{1}{tmep} \right) \quad (7)$$

Se distinguen tres etapas en el ciclo de vida de un equipo. La primera, llamada “fase infantil”, aparece al inicio de la operación y se asocia con una tasa de fallos decreciente, ocasionada por defectos de diseño, condiciones inadecuadas de operación o ambientes distintos a los previstos. La segunda etapa es la de funcionamiento estable, en la cual las fallas se presentan de manera aleatoria debido al uso normal del equipo, manteniendo una tasa de fallos constante. Por último, en la fase de desgaste, la tasa de fallas se incrementa de forma progresiva hasta llegar al término de la vida útil del activo. [5]

2.11.5. Medidas de confiabilidad

Función De Confiabilidad: Se define como la probabilidad de que un elemento no falle en ningún instante de tiempo t .

$$R(t) = \Pr\{t \geq t\} \quad (8)$$

Donde:

$$R(0) = 1$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} R(t) = 0$$

$$t \rightarrow \infty$$

Función De Distribución De Fallas Acumulada: Es la probabilidad de que la duración de un elemento tenga un valor menor a un tiempo dado t .

$$F(t) = 1 - R(t) = \Pr\{t < t\} \quad (9)$$

Donde:

$$F(0) = 0$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} F(t) = 1$$

$$t \rightarrow \infty$$

Función De Densidad De Probabilidad De Fallas: Esta función describe la forma de la distribución de fallas.

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = - \frac{dR(t)}{dt} \quad (10)$$

Función De Tasa De Fallas: es la probabilidad de que un elemento que está funcionando en el instante t deje de funcionar en el intervalo $(t, t+dt)$.

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (11)$$

En la definición de confiabilidad se identifican cuatro características que la determinan como estructura:

Probabilidad

Funcionamiento adecuado o desempeño satisfactorio

Periodo de tiempo

Condiciones específicas de operación o calificación con respecto al entorno

La función de confiabilidad describe la aptitud de un sistema o componente para operar de forma ininterrumpida y libre de fallas dentro de un periodo determinado o bajo condiciones previamente establecidas. En el contexto de la ingeniería, la confiabilidad se utiliza para evaluar la probabilidad de que un sistema o componente cumpla con sus funciones de manera consistente y sin interrupciones. Algunos aspectos clave de la función de confiabilidad incluyen:

2.12. La Tasa De Falla

Determina el número o la cantidad de fallas por la unidad de tiempo que se tiene, representa también, el comportamiento habitual de la vida de un equipo. El parámetro de forma β en la distribución, puede ayudar a entender en qué etapa del ciclo de vida se encuentran los vehículos, ya que influye en la tasa de fallas. Este parámetro describe la forma de la distribución y caracteriza el modo de falla. [19] Como se puede observar en la Fig.6.



Fig. 6. La tasa de falla. [19]

2.13. Tasa De Confiabilidad ($R(T)$):

La tasa de confiabilidad mide la probabilidad de que un sistema o componente funcione sin fallas en un intervalo de tiempo específico (t). Se calcula utilizando la función de confiabilidad, que es la probabilidad acumulativa de que el sistema esté operativo en el tiempo t . La fórmula general es:[19]

$$R(t) = (\text{Sistema funcione sin fallas en } [0, t]) \quad (12)$$

Para sistemas de eventos independientes, puedes calcular la tasa de confiabilidad multiplicando las tasas de confiabilidad de los componentes individuales.

2.14. Tasa De Disponibilidad ($A(T)$):

La tasa de disponibilidad mide la probabilidad de que un sistema o componente esté disponible y funcionando en un momento específico (t). Se calcula como el cociente entre la tasa de confiabilidad y la tasa de mantenimiento, que mide la probabilidad de que el sistema se encuentre en un estado de mantenimiento en el tiempo t :

$$A(t) = R(t) / [R(t) + p(\text{Sistema en mantenimiento en } [0, t])] \quad (13)$$

2.15. Tiempo Medio Entre Fallos ($MTBF$):

El MTBF es una medida que indica el tiempo promedio que transcurre entre dos fallos consecutivos de un sistema o componente. Se calcula dividiendo el tiempo total de funcionamiento por el número de fallos. La fórmula general es:

$$MTBF = (\text{Tiempo total de funcionamiento}) / (\text{Número de fallos}) \quad (14)$$

2.16. Tiempo Medio Para Reparar ($MTTR$):

El MTTR es el tiempo promedio necesario para reparar un sistema o componente después de una falla. Se calcula dividiendo el tiempo total de reparación por el número de reparaciones. La fórmula general es:

$$MTTR = (\text{Tiempo total de reparación}) / (\text{Número de reparaciones}) \quad (15)$$

Los fallos acumulados, denominados también “fallas acumulativas” o “averías acumuladas”, hacen referencia a la suma progresiva de incidentes presentados en un sistema o componente con el paso del tiempo. Esta medida resulta esencial dentro de la gestión de la confiabilidad y el mantenimiento, al ofrecer información sobre el comportamiento operativo de los activos. Su análisis posibilita proyectar acciones preventivas o correctivas con mayor precisión, optimizando los recursos disponibles que son:

2.17. Definición De Fallo Acumulado:

Las fallas acumuladas son la cantidad de averías que se registran de un sistema a lo largo de su vida útil.

2.18. Cálculo De Fallos Acumulados:

Para determinar las fallas acumuladas, se procede registrar las averías y hacer una sumatoria. En sistemas grandes se gestiona por medio de un software para un control automático.

2.19. Importancia En La Gestión De Activos:

Los fallos acumulados son fundamentales para gestionar activos y la planificación de los mantenimientos. Debido a esta información relevante nos podemos dar cuenta de la eficiencia del sistema, lo que nos indica en qué momento es acertado realizar los mantenimientos preventivos o el cambio de un componente.

2.20. Distribución

En el ámbito de mantenimiento, la distribución se maneja de forma inteligente: el personal, las herramientas, los equipos y lo planificado para ser eficientes. Los aspectos clave de la distribución incluyen:

Programación de tareas: establecer inspecciones, reparaciones y demás labores.

Asignación de personal: designar al personal en el lugar y el momento adecuado.

Disponibilidad de herramientas y equipos: equipos en buenas condiciones

Coordinación de activos: incluir equipos de apoyo (grúas o vehículos sustitutos)

Gestión del tiempo: disminuir periodos de inactividad.

Documentación: control de lo realizado para determinar eficiencia.

Priorización: darle prioridad a recursos que necesiten los equipos.

Planificación: invertir en recursos que permitan ser más eficientes en el futuro. [4]

2.21. Tipos De Distribución

La densidad de probabilidad de fallos nos dice el momento exacto de que un sistema falle. Es una herramienta esencial en la gestión de confiabilidad porque nos permite entender cuando un sistema falla en un instante en particular, para esto se usa distintas distribuciones para modelar en qué momento ocurre la falla.

2.22. Distribución Exponencial

La distribución exponencial se emplea con frecuencia para representar fallos de carácter aleatorio que no dependen del tiempo. En este caso, la densidad de probabilidad de fallos se

mantiene invariable, lo que implica que la tasa de fallos permanece constante a lo largo del tiempo. Es útil para describir fallos aleatorios y no sistemáticos.

Entre las variables que pueden ser modeladas mediante la distribución exponencial se incluyen, por ejemplo, la duración de una batería, el tiempo de supervivencia de un paciente tras una cirugía, entre otras. En la Fig.7, se ilustran tres densidades de la distribución exponencial correspondientes a distintos valores de los parámetros.

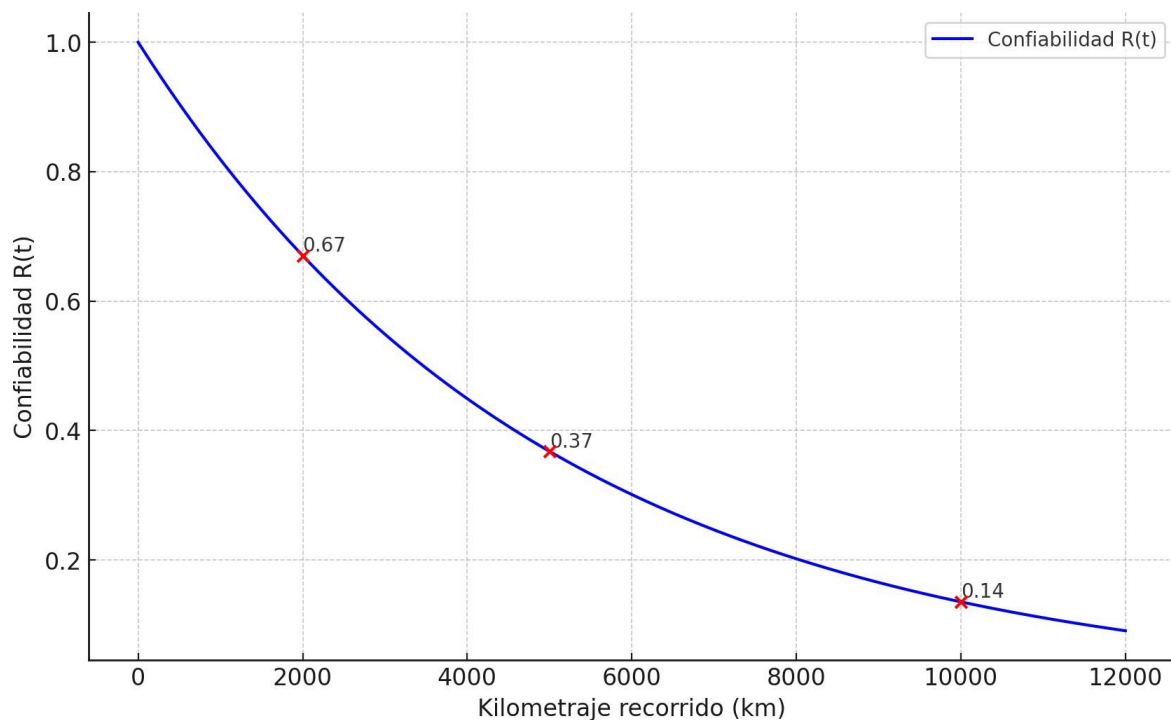


Fig.7. Distribución exponencial. [21]

La línea azul representa la distribución exponencial con tasa baja (λ pequeño), mostrando fallas distribuidas en el tiempo con un decaimiento lento. La línea verde corresponde a una exponencial con tasa alta (λ grande), donde las fallas se concentran en los primeros instantes de operación. La línea amarilla refleja una distribución Weibull/Gamma con forma > 1 , asociada a una fase de vida útil estable antes de decaer. La línea morada muestra un patrón lognormal o Weibull suavizado, donde las fallas se concentran en un intervalo intermedio de tiempo. Finalmente, la línea roja corresponde a la distribución normal, con un comportamiento simétrico alrededor de la media, representando fallas por desgaste acumulado.

2.23. Distribución De Weibull

La distribución de Weibull es muy destacable por ser la más flexible porque permite modelar distintos patrones de fallas. La probabilidad de que un fallo se de puede disminuir, mantenerse o aumentar atreves del tiempo. Por eso, es una herramienta esencial para analizar componentes que tienen un comportamiento variado.

En la Fig. 8 se presenta la función de probabilidad acumulada correspondiente a la distribución de Weibull, evidenciando la manera en que esta se modifica de acuerdo con sus parámetros característicos.

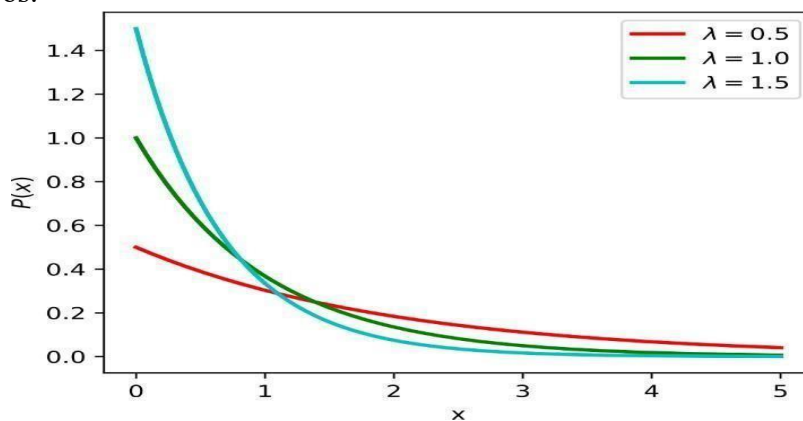


Fig .8. Distribución de Weibull. [21]

La línea roja ($\lambda = 0.5$) evidencia un decaimiento más lento, lo que indica una mayor dispersión de eventos y una probabilidad de ocurrencia que se prolonga en el tiempo. En contraste, la línea verde ($\lambda = 1.0$) refleja un descenso intermedio, mostrando un equilibrio entre fallas tempranas y tardías. Por su parte, la línea celeste ($\lambda = 1.5$) desciende con mayor rapidez, concentrando los eventos en los primeros instantes. En términos de confiabilidad, un valor bajo de λ señala una tasa de fallas más estable, mientras que un valor alto sugiere una mayor tendencia a fallar en menor tiempo, demostrando cómo la distribución exponencial se ajusta al parámetro λ que define la intensidad de fallas.

2.24. Distribución De Rayleigh

La distribución de Rayleigh se aplica en el modelado de fallos dependientes del tiempo y se distingue por presentar una densidad de probabilidad de fallos que puede aumentar o disminuir. [23]

La Fig. 9 muestra la distribución de Rayleigh considerando diferentes valores del parámetro de escala (c), donde las velocidades del viento se ajustan a un rango comprendido entre 0 y 20 m/s. Se puede observar que esta distribución resulta más adecuada cuando el

parámetro de escala es mayor a 5 m/s. A partir de este valor, las diferencias entre las distintas distribuciones de Rayleigh son mínimas [23].

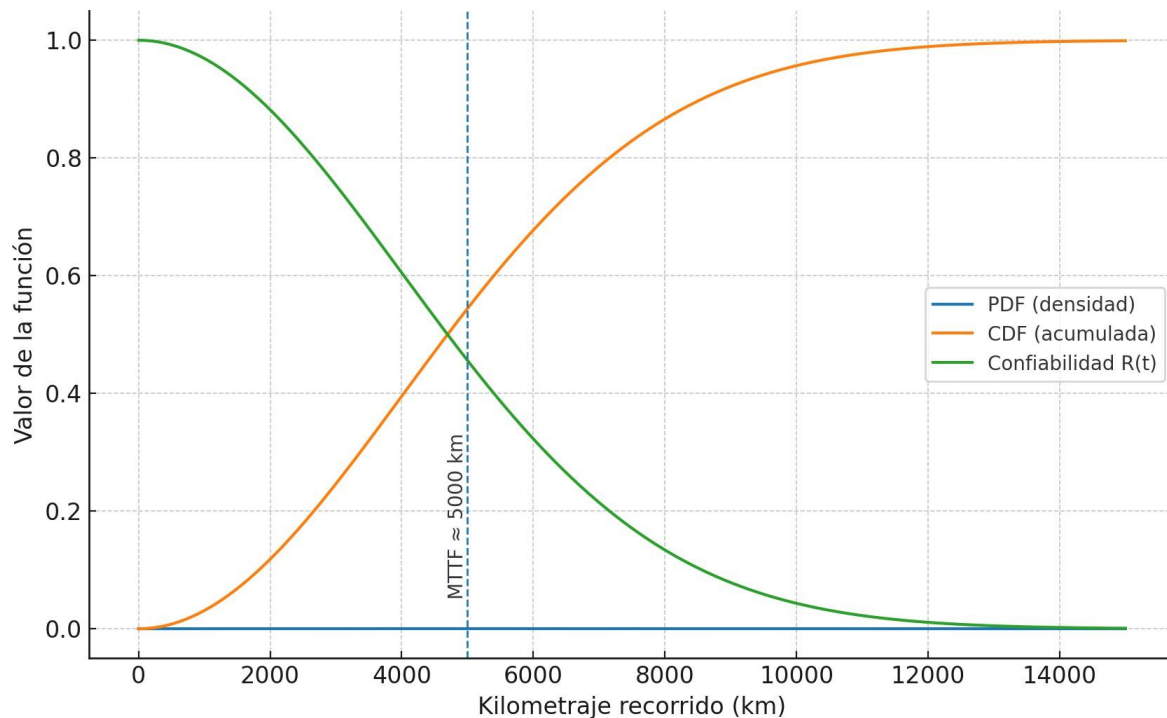


Fig. 9. Distribución De Rayleigh. [23]

La gráfica muestra cómo el parámetro de escala (c) en la distribución de Weibull desplaza la distribución de probabilidades hacia mayores velocidades de viento. A menor c , predominan vientos débiles; a mayor c , aumenta la frecuencia de vientos fuertes. Esto resulta esencial en modelado de confiabilidad y en estudios de generación eólica, ya que determina la cantidad de energía aprovechable en un sitio.

2.25. Pruebas de ajuste de bondad

Las técnicas de bondad de ajuste corresponden a procedimientos de prueba de hipótesis que ofrecen un criterio para validar o descartar el modelo probabilístico planteado frente a los datos de interés. [19]. Las pruebas de bondad de ajuste tienen como objetivo poner a prueba la hipótesis nula, valorando el grado de adecuación de un conjunto de datos observados. Estas medidas reflejan, en esencia, la correspondencia entre la distribución real de los datos y la distribución teórica planteada en el modelo de estudio.

2.26. Contraste Kolmogorov – Smirnov,

Se basa en la diferencia entre la función de distribución empírica y la función de distribución teórica.

$$D = \max |F_t(t) - F_0(t)| \quad (16)$$

Donde:

D = Mayor diferencia absoluta entre la distribución empírica y la distribución teórica

F_t = Función de la distribución empírica

F_0 = Función de la distribución teórica

2.27. Anderson – Darling

Este contraste también está basado en la diferencia entre la función de distribución teórica y la función de distribución empírica.

$$A^2 = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{(F_t(t) - F_0(t))^2}{F_0(t)(1 - F_0(t))} \alpha T \quad (17)$$

Donde:

A^2 = Mayor diferencia absoluta entre la distribución empírica y la distribución teórica

F_t = Función de la distribución empírica

F_0 = Función de la distribución teórica

2.28. Chi Cuadrado

Se considera una prueba no paramétrica; cuanto mayor sea χ^2 menos verosímil es que la hipótesis sea correcta.

$$X^2 = \sum_i \frac{(o_i - E_i)^2}{E_i} \quad (18)$$

Donde:

O_i = Eventos observados en el intervalo i .

E_i = Eventos esperados en la hipótesis de que los datos provengan realmente de la distribución considerada.

3. CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO

La presente investigación se enmarca en un enfoque cuantitativo, de tipo descriptivo y explicativo, ya que busca analizar, interpretar y modelar el comportamiento de las fallas en una flota de camiones livianos mediante métodos estadísticos. El estudio se desarrolla bajo un diseño no experimental, longitudinal y retrospectivo, basado en el análisis de datos históricos registrados por la empresa Expertia Corporativa S.A., dedicada al servicio de renting vehicular en la ciudad de Guayaquil.

3.1. Enfoque y diseño de la investigación

El enfoque cuantitativo permite medir de forma objetiva las variables relacionadas con la confiabilidad de la flota vehicular, y aplicar modelos estadísticos para la evaluación de fallas. Al no intervenir directamente sobre las variables del estudio, sino analizarlas tal como han ocurrido, se adopta un diseño no experimental. Dado que se trabajará con datos recopilados a lo largo del tiempo, el diseño es de tipo longitudinal retrospectivo.

3.2. Población y muestra

La población objeto del estudio está compuesta por todos los camiones livianos que forman parte de la flota operativa de Expertia Corporativa S.A. Se seleccionó una muestra intencional de 10 vehículos, elegidos por su ubicación, representatividad operacional y por contar con registros completos y confiables. Esta muestra permite modelar las condiciones de operación típicas y realizar inferencias válidas dentro del contexto de mantenimiento vehicular.

3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

- Los datos fueron recopilados mediante los siguientes instrumentos:
- Sistemas internos de gestión de mantenimiento (CMMS).
- Reportes técnicos de mantenimiento correctivo y preventivo.
- Registros de monitoreo satelital: kilometraje, tiempo de uso y horómetros.
- Historial de fallas: componente afectado, tipo de daño, fecha y severidad.

Las variables principales consideradas incluyen:

- Tiempo de operación entre fallas (TOF).
- Tiempo fuera de servicio (downtime).
- Tipo y severidad de las fallas.

- Kilometraje acumulado.

3.4. Procedimiento metodológico

El procedimiento metodológico se diseñó para transformar los datos históricos en información útil para el análisis de confiabilidad. Se incluyen etapas como la recopilación organizada, el proceso de depuración y el análisis exploratorio de los datos, asegurando con ello la calidad y la coherencia de la información obtenida. Posteriormente, se aplica un modelo estadístico adecuado para estimar el comportamiento de fallas. En este estudio se emplea la distribución Weibull por su capacidad para modelar el ciclo de vida vehicular.

3.4.1. Recolección de datos históricos

Consiste en la consolidación de información de fallas y mantenimientos de cada vehículo, incluyendo fecha, tipo de avería, kilometraje y tiempo de inactividad. Esta etapa es crítica, pues la confiabilidad del análisis dependerá directamente de la calidad de los datos recopilados.

3.4.2. Análisis exploratorio y depuración de datos

Se emplearán herramientas estadísticas para evaluar la validez, consistencia y normalidad de los datos. Se eliminarán registros incompletos o atípicos. También se identificarán patrones iniciales como frecuencias de fallas por componente y tiempos medios entre fallas.

3.5. Análisis de Componentes con Mayor Frecuencia de Falla

Con base en el registro histórico de fallas de la flota vehicular, se realizó un conteo de ocurrencias por componente. Este análisis que se puede identificar en la TABLA III denota cuáles son los sistemas más vulnerables y que requieren mayor atención dentro del plan de mantenimiento, especificando la frecuencia con la que cada componente presenta fallas.

TABLA III

ANÁLISIS DE COMPONENTES CON MAYOR FRECUENCIA DE FALLA.

COMPONENTE	FRECUENCIA
Aire Acondicionado	16
Frenos	15
Electroventilador	12
Radiador	8
Kit Embrague	4
Cremallera	4
Termostato	2
Bateria	1
Bomba De Agua	1
Caja De Fusibles	1

Los resultados muestran que los componentes con mayor incidencia de fallas son el aire acondicionado (16 casos, 26%), seguido de los frenos (15 casos, 24%) y el electroventilador (12 casos, 19%). Estos tres elementos concentran casi el 70% de todas las fallas registradas, lo que los convierte en los principales candidatos para priorizar estrategias de mantenimiento preventivo y análisis de confiabilidad en la flota.

El resto de los componentes, como el radiador y el kit de embrague (4 casos cada uno; 6%), así como la cremallera (2 casos; 3%) y otros elementos aislados como el termostato, batería, bomba de agua, sensor de oxígeno, amortiguadores y bobina, presentan incidencias bajas, representando en conjunto menos del 30% de las fallas.

3.6. Identificación del modelo de distribución

Se procederá a determinar la distribución de probabilidad que mejor represente el comportamiento de fallas. Las distribuciones evaluadas serán:

Weibull: flexible y ampliamente usada en análisis de confiabilidad.

Exponencial: útil en sistemas sin envejecimiento.

Rayleigh: adecuada para sistemas con tasa de falla creciente.

Normal (Gaussiana): apropiada si los tiempos entre fallas son simétricos.

Se aplicarán pruebas de bondad de ajuste como Kolmogorov-Smirnov, Anderson-Darling y Chi-cuadrado para seleccionar la distribución óptima.

Los parámetros se estimarán mediante el método de máxima verosimilitud y el ajuste se validará a través de pruebas de bondad de ajuste:

Kolmogorov-Smirnov (K-S): mide la diferencia máxima entre las funciones empírica y teórica. [24]

Anderson-Darling (A-D): sensible a discrepancias en las colas de la distribución. [24]

Chi-cuadrado (χ^2): evalúa la diferencia entre frecuencias observadas y esperadas en intervalos. [24]

La selección de la mejor distribución se basará en los valores estadísticos obtenidos y la validación gráfica mediante histogramas comparativos, gráficos Q-Q y P-P.

Luego de aplicar pruebas de bondad de ajuste (Kolmogórov-Smirnov, Anderson-Darling y Chi-cuadrado), se determinó que el modelo de distribución que mejor representa el comportamiento

de las fallas es la distribución de Weibull. Esta distribución permite modelar tasas de falla crecientes, decrecientes o constantes, en función de los parámetros de forma β y escala η [28].

Se aplicó la prueba de Kolmogorov-Smirnov (KS) para evaluar qué distribución se ajusta mejor a los datos reales de fallas. Los resultados obtenidos para tres distribuciones comunes serán calculados en base a la TABLA IV.

TABLA IV
PRUEBA DE BONDAD KOLGOMOROV-SMIRNOV

Prueba Kolmogorov-Smirnov		
Exponencial	KS Estadístico = (?), P	valor = (?) (calificar ajuste)
Log Normal:	KS Estadístico = (?), P	valor = (?) (calificar ajuste)
Weibull:	KS Estadístico = (?), P	valor = (?) (calificar ajuste)

Se evaluaron tres distribuciones comúnmente usadas en estudios de confiabilidad: exponencial, lognormal y Weibull.

En la Fig. 10. representa un ejemplo de la prueba de bondad de ajuste Kolmogórov-Smirnov aplicada a datos simulados.

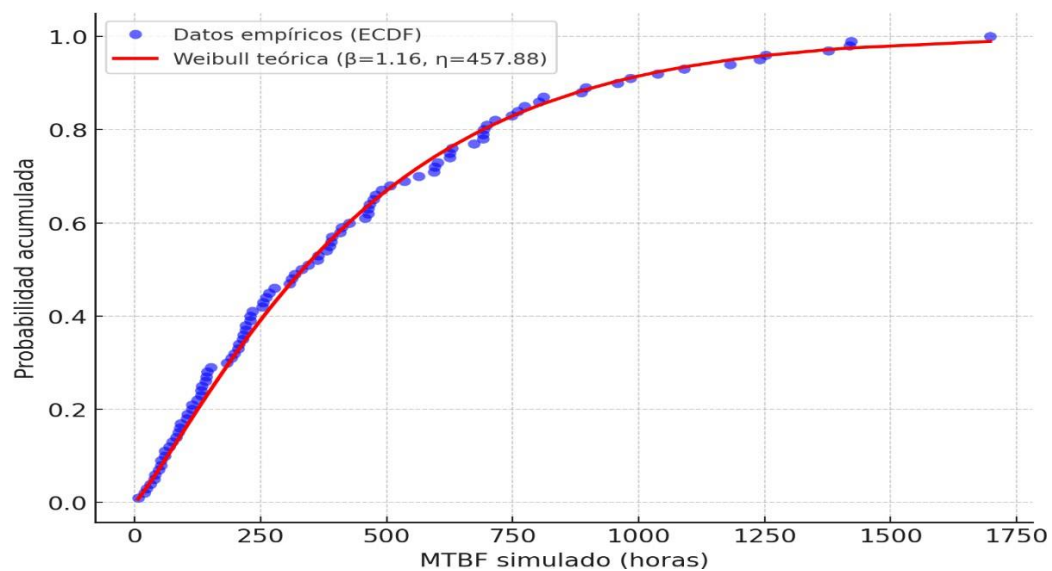


Fig .10. Prueba de Ajuste Kolmogorov – Smirnov a Weibull.

Los puntos azules corresponden a la función de distribución acumulada empírica, mientras que la línea roja muestra la distribución teórica Weibull ajustada. La cercanía entre ambos indica un adecuado nivel de ajuste, lo que permite validar la representatividad del modelo teórico respecto a los datos observados.

3.7. Cálculo de confiabilidad y tasa de fallo

Con base en los datos depurados, se aplicó el método de máxima verosimilitud para estimar los parámetros de la distribución Weibull:

Parámetro de forma β

β : determina el tipo de comportamiento del sistema:

$\beta < 1$: fallas tempranas.

$\beta = 1$: tasa constante.

$\beta > 1$: fallas por desgaste.

Parámetro de escala η : representa el tiempo característico en el que el porcentaje de los componentes ha fallado.

Función de confiabilidad $R(t)$ Indica la probabilidad de que un componente funcione sin fallas durante un tiempo t , y se define como:

$$R(t) = P(T > t) = 1 - F(t) \quad (19)$$

Según la distribución:

Weibull:
$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (20)$$

A partir del modelo Weibull ajustado, se calcularon las funciones fundamentales de confiabilidad: $R(t)$ (confiabilidad), $f(t)$ (densidad de probabilidad) y $h(t)$ (tasa de falla).

Estos resultados permitirán establecer el comportamiento esperado del sistema a lo largo del tiempo o uso, y clasificar las fases del ciclo de vida (infantil, útil, desgaste).

3.8. Proyección de la curva del ciclo de vida

Se desarrollará una curva de ciclo de vida individual para cada vehículo, tomando como referencia el análisis de la evolución de las tasas de falla en función del tiempo de operación o el uso acumulado. Posteriormente, se construirá una curva global del ciclo de vida de la flota, consolidando todos los datos obtenidos.

Esta representación permitirá identificar con mayor claridad los momentos en los que se incrementa la probabilidad de ocurrencia de fallas y constituirá una herramienta fundamental para la planificación de mantenimientos, la toma de decisiones sobre renovación de unidades y la disposición de activos, tal como se ilustra en la Fig. 11.

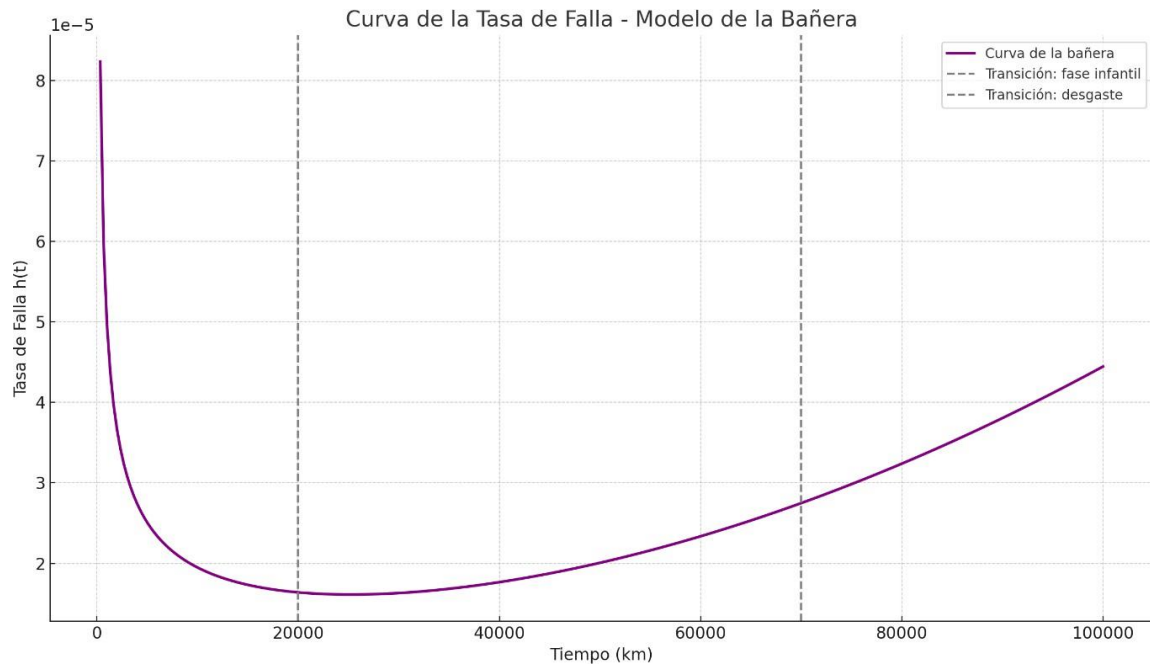


Fig. 11. Curva de la tasa de falla - Modelo de la bañera

La gráfica evidencia el comportamiento característico de la curva de la bañera, identificando tres fases del ciclo de vida de los activos. En la etapa inicial se observan tasas de fallas elevadas y decrecientes, propias de la mortalidad infantil. Posteriormente, la fase de vida útil se caracteriza por valores bajos y estables, que representan la máxima confiabilidad del sistema. Finalmente, en los intervalos superiores del MTBF se proyecta la fase de desgaste, con un incremento paulatino de la tasa de fallas por envejecimiento y fatiga de componentes.

3.9. Técnicas de análisis

Para el análisis y modelado de los datos se empleará software estadístico como:

Excel avanzado: para consolidación de datos y elaboración de gráficos.

Minitab: para la validación estadística y ajuste de distribuciones.

3.10 Cronograma

El cronograma en la TABLA V, representa las actividades a realizarse durante el desarrollo del proyecto técnico con un total de 400 horas.

TABLA V
CRONOGRAMA

CRONOGRAMA DE TRABAJO																												
Título del proyecto: DESARROLLO DE METODOLOGIA PARA LA ESTIMACIÓN DEL CICLO DE VIDA DE UNA FLOTA DE CAMIONES LIVIANOS MEDIANTE EL ANALISIS DE PROBABILIDAD DE FALLAS														Institución: Universidad Politécnica Salesiana														
Responsable del proyecto: Emilio Alvarado, Wesley Cedeño.														Fecha: 21/04/2025														
ACTIVIDADES	ABRIL				MAYO				JUNIO				JULIO				AGOSTO				SEPTIEMBRE							
	Sem 1	Sem 2	Sem 3	Sem 4	Sem 1	Sem 2	Sem 3	Sem 4	Sem 1	Sem 2	Sem 3	Sem 4	Sem 1	Sem 2	Sem 3	Sem 4	Sem 1	Sem 2	Sem 3	Sem 4	Sem 1	Sem 2	Sem 3	Sem 4				
FASE 1: Planteamiento del problema																												
Recolección de información bibliográfica																												
Capacitación de Software																												
Estructura del diseño del proyecto																												
Cotización de precios																												
Presentación y Revisión (Avance)																												
FASE 2: Desarrollo																												
Revisión Bibliográfica																												
Elaboración del estado del arte																												
Diseño de la interfaz en Matlab																												
Adquisición de datos																												
Presentación y Revisión (Avance)																												
FASE 3: Análisis de resultados																												
Procesamiento de datos obtenidos																												
Análisis e interpretación de modo y efecto																												
Comparación de datos																												
Presentación y Revisión (Avance)																												
Presentación pública de avances																												
FASE 4: Discusión del Estudio																												
Descripción de los resultados																												
Revisión y corrección del proyecto técnico																												
Conclusiones y recomendaciones																												
Presentación y Revisión (Avance)																												
Presentación del proyecto técnico																												
TOTAL EN HORAS	168				96				64				72															
TOTAL	400																											

3.11 Presupuesto

A continuación, se presenta la TABLA VI de presupuesto en el que se ha considerado un aproximado para el desarrollo del proyecto técnico.

TABLA VI
PRESUPUESTO

Tipo de recurso	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Suministros de oficina	1	\$45	\$45
Gastos generales	1	\$30	\$30
Memoria externa	1	\$12	\$12
Laboratorio de cómputo	1	\$25	\$500
Software	1	-	-
Total			\$587

4. CAPÍTULO IV. RESULTADOS

Se ha aplicado un análisis de ajuste de bondad para determinar la distribución que mejor representa los tiempos hasta la falla, considerando modelos como la distribución exponencial, log-normal y Weibull. Este análisis permite definir estrategias de mantenimiento preventivo y predictivo, optimizando la gestión del ciclo de vida de la flota.

4.1 Prueba de Ajuste Kolmogórov-Smirnov

Se aplicó la prueba de (KS) para evaluar qué distribución se ajusta mejor a los datos reales de fallas. Los resultados obtenidos para tres distribuciones comunes fueron los siguientes los cuales se muestran en la TABLA VII:

TABLA VII
PRUEBA BONDAD KOLGOMOROV-SMIRNOV

Prueba Kolmogorov-Smirnov		
Exponencial	KS Estadístico = 0.126, P	valor = 7.152 (mal ajuste)
Log Normal:	KS Estadístico = 0.154, P	valor = 0.528 (buen ajuste)
Weibull:	KS Estadístico = 0.081, P	valor = 0.837 (buen ajuste)

El modelo Weibull fue el que presentó el mejor ajuste estadístico a los datos. Los parámetros obtenidos fueron:

Forma (β): 0,67

Escala (η): 99,82

El valor de $\beta < 1$ indica que la tasa de fallas disminuye con el tiempo, lo cual corresponde a una fase de mortalidad infantil (fallas tempranas).

Parámetro de escala η : 99.82 horas representa el tiempo característico en el que el 66% de los componentes ha fallado.

Esto sugiere que gran parte de las fallas observadas en la flota están asociadas a defectos iniciales o condiciones de operación inestables, más que a desgaste por envejecimiento.

Con el propósito de ajustar el análisis de confiabilidad a una unidad de medida más estandarizada y técnica, se realizó una evaluación de los datos de tiempo medio entre fallas

(MTBF) expresados en horas, se aplicó un análisis gráfico de probabilidad sobre cuatro distribuciones estadísticas comúnmente empleadas en estudios de confiabilidad: Weibull, Lognormal, Exponencial y Normal. La selección del modelo más adecuado se basó tanto en la inspección visual del ajuste de los datos a cada curva teórica como en la métrica estadística del valor ajustado de Anderson-Darling (AD*), lo que los convierte en los más apropiados para describir el comportamiento de las fallas en la flota, como se muestran en la Fig.12.

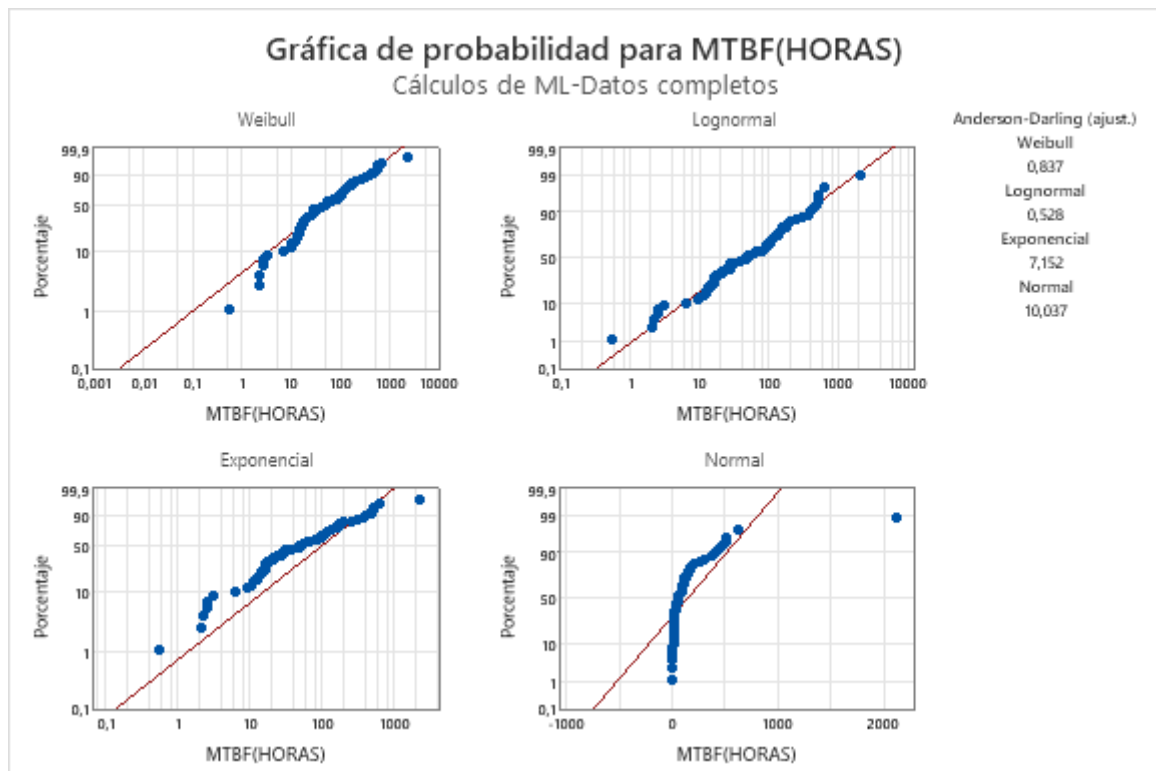


Fig.12. Gráfica de Probabilidad para MTBF.

La figura muestra las gráficas de probabilidad de MTBF (horas) ajustadas a diferentes distribuciones estadísticas (Weibull, Lognormal, Exponencial y Normal), generadas mediante el software Minitab. En cada caso, los puntos azules representan los datos empíricos y la línea roja la distribución teórica esperada; mientras más próximos estén los puntos a la línea de referencia, mejor es el ajuste del modelo. El estadístico Anderson-Darling, presentado en la parte derecha de la figura, confirma que las distribuciones Lognormal (0,528) y Weibull (0,837) ofrecen los mejores ajustes, al mostrar valores significativamente menores que los obtenidos en los modelos Exponencial (7,152) y Normal (10,037). Esto evidencia que el comportamiento de los tiempos entre fallas no sigue un patrón estrictamente constante ni simétrico, sino que refleja una tendencia propia de fenómenos de confiabilidad, donde la Weibull y la Lognormal capturan de mejor manera la variabilidad y la dispersión de los datos.

En consecuencia, se concluye que estas dos distribuciones resultan más apropiadas para modelar la confiabilidad de la flota vehicular, siendo la Lognormal la de mejor desempeño según los indicadores estadísticos a la línea de referencia, resultado esperado dado que esta distribución no es adecuada para datos de fallas, ya que admite valores negativos de MTBF, lo cual no es físicamente coherente.

El gráfico Weibull muestra que la mayoría de los puntos empíricos se alinean razonablemente con la línea de referencia teórica. Aunque hay cierta dispersión en los percentiles más bajos y más altos, el ajuste en la zona central es adecuado. El valor del estadístico de Anderson-Darling (AD^*) es 0,837, lo cual sugiere un ajuste aceptable, aunque no tan robusto como en otros análisis previos. Aun así, Weibull continúa siendo útil para modelar sistemas con tasas de falla variables, como aquellos que presentan comportamientos por desgaste o fallas tempranas.

La distribución Lognormal ofrece el mejor ajuste visual y estadístico de todos los modelos, con un valor de $AD = 0,528^*$. La mayoría de los puntos se alinean de forma consistente con la línea teórica, lo que sugiere que esta distribución modela eficazmente la dispersión de los tiempos entre fallas. La log normalidad es común en fenómenos de confiabilidad donde los eventos de falla son influenciados por múltiples factores acumulativos.

El modelo Exponencial muestra una dispersión significativa de los datos respecto a la línea de referencia, especialmente en los extremos de la distribución. El valor de AD^* obtenido fue 7,152, lo que indica un mal ajuste. Este resultado era esperable, ya que la distribución Exponencial asume una tasa de fallas constante, lo cual no es compatible con la naturaleza de los datos que presentan variabilidad en el tiempo de ocurrencia de las fallas.

Finalmente, el gráfico correspondiente a la distribución Normal refleja una grave discordancia con los datos empíricos. Los puntos se desvían fuertemente de la línea recta, y el valor del estadístico Anderson-Darling es 10,037, el más alto entre todos los modelos, indicando un ajuste inaceptable. Además, la normalidad no es apropiada para variables como el MTBF que no pueden tomar valores negativos, como se observó en análisis previos.

4.2. Parámetros del Modelo Weibull

La Fig. 13 muestra el histograma de frecuencia del Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF) expresado en horas, ajustado mediante la distribución Weibull, modelo ampliamente utilizado en análisis de confiabilidad. Este tipo de representación permite visualizar cómo se distribuyen

las fallas en el tiempo operativo de la flota y evaluar si los datos siguen un patrón que justifique la aplicación del modelo Weibull.

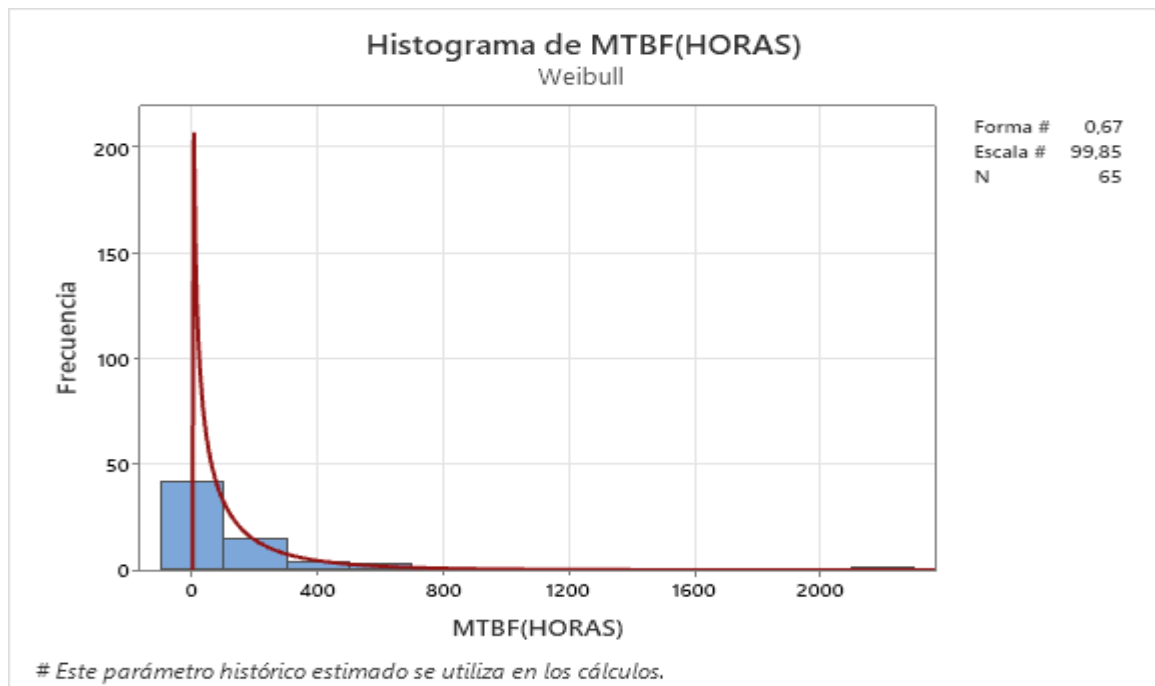


Fig.13. Parámetros del Modelo Weibull.

La gráfica muestra el ajuste de la distribución Weibull sobre los valores de MTBF (horas) obtenidos en la flota analizada. El histograma refleja la frecuencia observada de los tiempos medios entre fallas, mientras que la curva en rojo corresponde a la función de densidad de probabilidad Weibull ajustada, la cual modela el comportamiento teórico esperado de los datos.

El parámetro de forma ($\beta = 0.67$) es menor a 1, lo cual indica que la tasa de fallas es decreciente con el tiempo, característica típica de la fase de mortalidad infantil. En este escenario, los equipos tienden a fallar con mayor probabilidad en las primeras horas de operación, pero conforme avanza el tiempo, la frecuencia de fallas disminuye.

El parámetro de escala ($\eta = 99,85$ horas) representa el punto en el que aproximadamente el 66% de los equipos han fallado, siendo un valor de referencia clave para la planificación del mantenimiento preventivo. El tamaño de muestra $N = 65$ evidencia una base estadística suficiente para validar el ajuste. La mayoría de las observaciones se encuentran por debajo de las 400 horas, lo que evidencia una alta frecuencia de fallas tempranas en el ciclo de vida de los componentes.

En términos prácticos, este resultado sugiere que la flota presenta un comportamiento de desgaste temprano asociado a fallas iniciales, lo que podría estar vinculado a problemas de instalación, defectos de fabricación o condiciones de operación inadecuadas.

Este comportamiento asimétrico positivo, con una cola extendida hacia la derecha, es característico de procesos de confiabilidad en los que se presentan fallas prematuras o de “mortalidad infantil”. En este caso, los componentes o vehículos tienden a fallar poco tiempo después de iniciar su operación, y solo un pequeño número de ellos logra extender significativamente su tiempo entre fallas.

4.3. Funciones de Confiabilidad del Modelo Weibull

La TABLA VIII, muestra los parámetros establecidos de la gráfica general de distribución para MTBF.

TABLA VIII
ESTADÍSTICAS MTBF.

Parámetro	Valor	Interpretación
Forma (β)	0,668539	Indica una tasa de fallas decreciente ($\beta < 1$), característica de fallas tempranas o de mortalidad infantil.
Escala (η)	99,68599 h	Punto en el cual el 63,2 % de los activos han fallado.
Media	132,357 h	Tiempo promedio entre fallas para toda la muestra.
Mediana	57,7162 h	Valor de MTBF para el 50 % de los casos.
Des. estándar	204,172 h	Muestra una alta dispersión en los datos, con valores extremos.
IQR	147,282 h	Diferencia entre los percentiles 75 y 25; indica variabilidad intermedia.
N (Fallas)	65	Muestra utilizada para el análisis.

El parámetro de forma (β) es 0,668539, lo cual indica una tasa de fallas decreciente. Este valor es característico de la fase de “mortalidad infantil”, donde la probabilidad de fallo es más alta al inicio de la operación y disminuye progresivamente con el tiempo. Es decir, los componentes presentan una alta susceptibilidad a fallas prematuras, posiblemente debido a defectos de fabricación, instalación o condiciones iniciales de operación.

El parámetro de escala (η), que representa el valor donde el 66 % de los elementos ha fallado, fue estimado en 99,68 horas. La media (MTBF) es de 132,35 horas, mientras que la mediana, que indica el punto donde el 50 % de las fallas ha ocurrido, es de 57,71 horas. Esto evidencia que la mayoría de las fallas se concentran en las primeras horas de operación, y una porción menor de unidades logra operar durante períodos prolongados sin fallar. Además, el valor del estadístico *Anderson-Darling (AD)* fue de 0,837*, lo cual indica un buen ajuste del modelo a los datos empíricos.

La fig.14, presenta el análisis completo del comportamiento del Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF) expresado en horas, mediante el ajuste a la distribución de Weibull. Esta representación incluye cuatro funciones estadísticas clave: densidad de probabilidad, función de supervivencia, función de riesgo y gráfico de probabilidad de Weibull. Además, se acompaña de un cuadro resumen con los principales estadísticos del modelo, permitiendo validar tanto visual como cuantitativamente la idoneidad del ajuste.

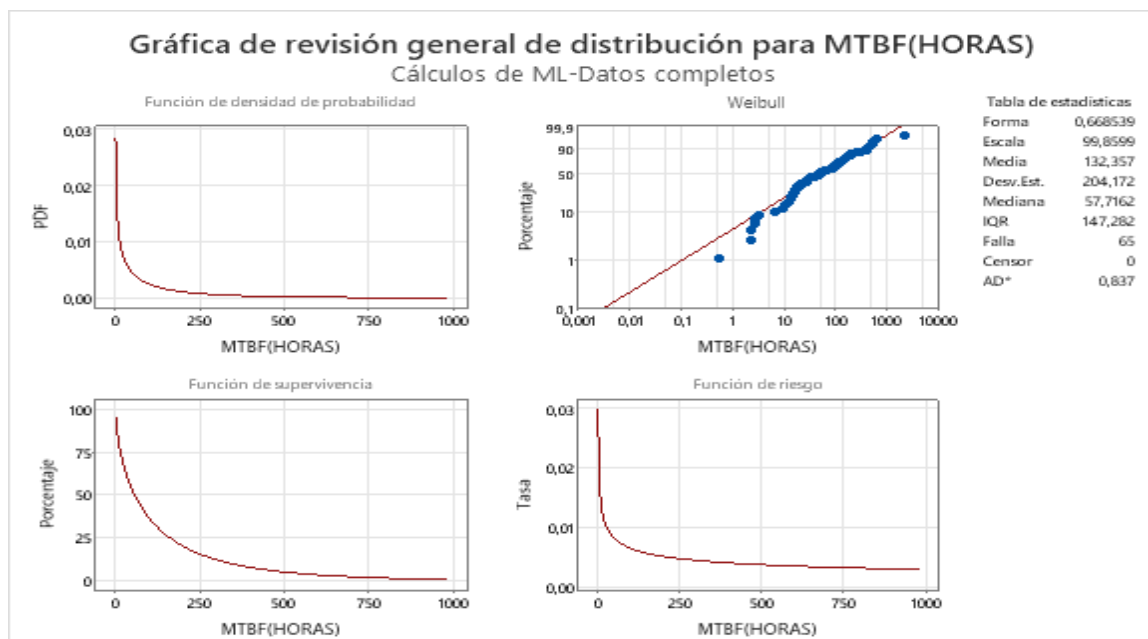


Fig.14. Funciones de Confiabilidad del Modelo Weibull.

El gráfico superior derecho muestra la comparación entre los datos empíricos (puntos azules) y la línea de referencia teórica de la distribución Weibull (línea roja). La mayoría de los puntos se alinean adecuadamente sobre esta línea, lo que sugiere un ajuste estadísticamente aceptable, pese a ligeras desviaciones en los percentiles bajos. El valor del estadístico de *Anderson-Darling (AD)* fue de $0,837^*$, lo cual se encuentra dentro de los umbrales considerados aceptables en estudios de confiabilidad. La ausencia de datos censurados (Censor = 0) fortalece la calidad del análisis al trabajar con datos completos.

La función de densidad de probabilidad ubicada en la parte superior izquierda, esta curva muestra una alta concentración de probabilidades en los primeros 500 a 1.000 horas, con un pico pronunciado. A medida que transcurre el tiempo, la probabilidad de nuevas fallas disminuye rápidamente, lo cual es coherente con una etapa de fallas tempranas.

La función de supervivencia ubicada en la parte inferior izquierda, esta función muestra el porcentaje de unidades que sobreviven sin fallar a lo largo del tiempo. Se observa una caída rápida de la curva, lo que indica que la mayoría de las unidades fallan en las primeras horas de uso. Después de las 1.000 horas, menos del 25 % de los componentes permanecen operativos sin haber fallado.

La función de riesgo ubicada en la parte inferior derecha muestra una tasa de falla decreciente, lo que refuerza el patrón de mortalidad infantil. Esto implica que los elementos que superan las primeras horas de operación tienen una mayor probabilidad de continuar funcionando correctamente por más tiempo.

El gráfico de probabilidad de Weibull muestra que los puntos azules de datos se alinean razonablemente bien con la línea de referencia teórica, lo cual confirma visualmente la validez del ajuste. Esto es particularmente importante en un análisis de confiabilidad, ya que la calidad del ajuste define la precisión de las estimaciones posteriores (como percentiles de falla y vida útil remanente).

4.4. Análisis de confiabilidad mediante distribución Weibull

Para la estimación del ciclo de vida de la flota de camiones livianos, se realizó un análisis de confiabilidad empleando técnicas estadísticas basadas en datos históricos de fallas e intervenciones. Esta etapa corresponde a la implementación de la metodología propuesta, la cual se fundamenta en la modelación probabilística del comportamiento de fallas mediante el ajuste de distribuciones estadísticas a los tiempos de operación entre fallas.

La gráfica de probabilidad presentada en la Fig.15, corresponde al ajuste del modelo Weibull sobre los datos de tiempo medio entre fallas (MTBF), expresados en horas. Este tipo de representación permite evaluar la concordancia entre los datos empíricos de fallas y el comportamiento teórico asumido por la distribución de Weibull, con base en un enfoque estadístico de confiabilidad. La inclusión de un intervalo de confianza del 95 % proporciona mayor robustez a la interpretación, al delimitar el rango en el que se espera que se encuentren los datos en caso de que el modelo seleccionado sea adecuado.

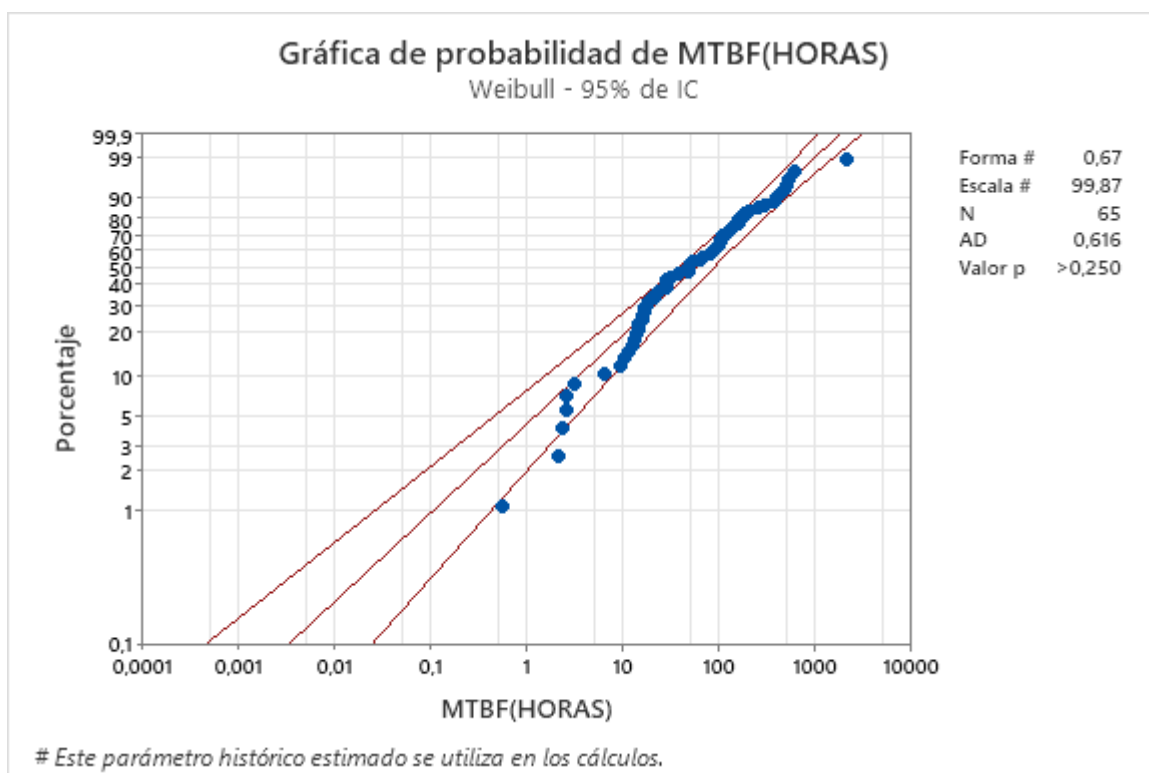


Fig.15. Análisis de confiabilidad mediante distribución Weibull.

En el eje horizontal podemos observar los valores de MTBF en escala logarítmica, mientras que el eje vertical muestra el porcentaje acumulado de fallas. Los puntos azules corresponden a los datos empíricos ordenados, y la línea recta central roja representa la distribución acumulada teórica bajo el modelo Weibull ajustado. Las dos líneas rojas adicionales delimitan el intervalo de confianza del 95 %.

Se puede observar que gran parte de los datos se alinean adecuadamente con la línea de referencia y se mantienen dentro de los límites de confianza, lo cual indica un ajuste estadístico aceptable del modelo Weibull. Esta alineación sugiere que los datos de fallas reales siguen un

patrón compatible con una distribución de Weibull, validando así su aplicación en el análisis de confiabilidad de la flota o sistema evaluado.

En la parte derecha del gráfico se presentan los parámetros fundamentales del modelo ajustado que se muestran representados en la TABLA IX.

TABLA IX
RESULTADOS DEL MODELO WEIBULL APLICADO A LA ESTIMACIÓN DEL CICLO DE VIDA

Parámetro	Valor	Interpretación
Forma (β)	0,67	Indica una tasa de fallas decreciente ($\beta < 1$), característica de fallas tempranas o mortalidad infantil.
Escala (η)	99,87 h	Representa el punto en el que se espera que el 63,2 % de las unidades haya fallado.
N	65	Número total de observaciones consideradas en el modelo (fallas registradas).
AD	0,616	Valor del estadístico de Anderson-Darling. Al ser inferior a 1, indica un buen ajuste.
Valor p	> 0,250	Supera el umbral de significancia (0,05), no se rechaza la hipótesis los datos siguen una distribución Weibull.

Parámetro de forma ($\beta = 0,67$): Este valor es menor que 1, lo que indica una tasa de fallas decreciente, propia de la fase de “mortalidad infantil” en la curva de la bañera. En este escenario, las fallas ocurren con mayor frecuencia al inicio del ciclo de vida operativo del componente o vehículo, reduciéndose conforme pasa el tiempo. Este comportamiento suele estar asociado a defectos de fabricación, instalación incorrecta o condiciones iniciales de operación inadecuadas.

Parámetro de escala ($\eta = 99,87$ horas): Representa el tiempo en el cual se espera que el 66% de las unidades hayan fallado. Este valor es clave para establecer umbrales de planificación de mantenimiento y evaluar el desempeño de los activos.

Número de observaciones ($N = 65$): Indica que el modelo fue ajustado sobre una base de datos con 65 fallas reales registradas, sin datos censurados.

Estadístico de Anderson-Darling ($AD = 0,616$): Este estadístico evalúa la bondad de ajuste del modelo. Un valor inferior a 0,5 es considerado como evidencia sólida de que el modelo representa adecuadamente los datos.

Valor-p ($> 0,250$): Al superar el umbral tradicional de significancia ($p > 0,05$), este valor indica que no existen pruebas estadísticas suficientes para rechazar la hipótesis de que los datos siguen una distribución de Weibull. En consecuencia, el modelo es estadísticamente aceptable

4.5. Curva de la Bañera con Fase de Desgaste Real

En el presente apartado se exponen las gráficas correspondientes a la curva de la bañera para cada uno de los vehículos analizados, con el objetivo de identificar las fases de falla infantil, vida útil y desgaste a partir de su comportamiento en función de la tasa de falla. Este examen particular se convierte en un recurso clave para valorar la confiabilidad y el rendimiento operativo de cada unidad, facilitando la identificación de puntos de transición críticos que guíen la planificación estratégica del mantenimiento. Como cierre, se añade la gráfica global de toda la flota, que integra los resultados obtenidos y ofrece una perspectiva completa del ciclo de vida operativo de los vehículos analizados.

La tasa de fallas del vehículo PDO-9270 fue evaluada en función del MTBF (h) mediante la construcción de una gráfica de dispersión ajustada a un modelo potencial como se muestra en la Fig.16.

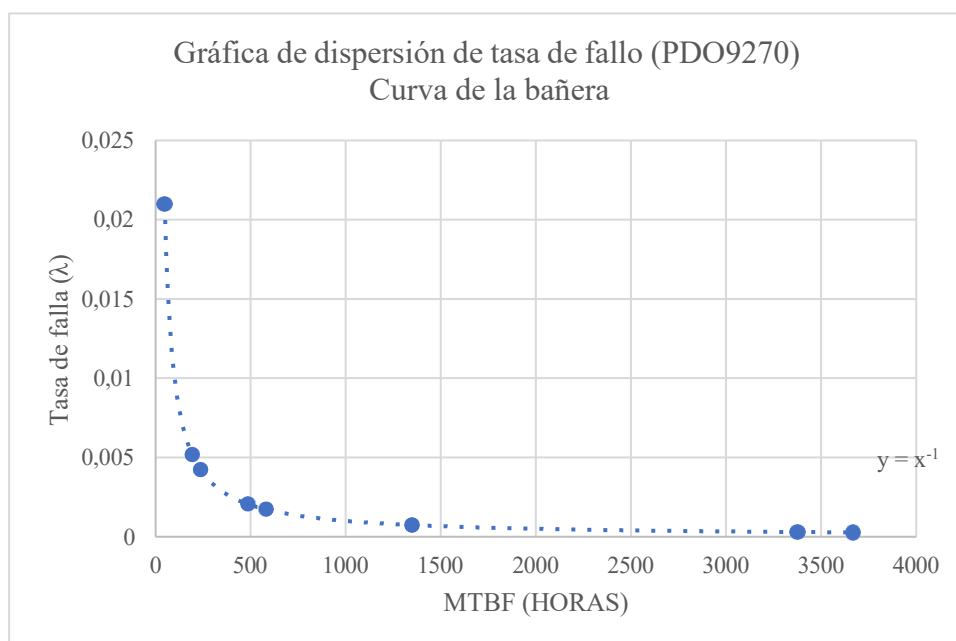


Fig.16. Curva de la bañera en función del MTBF (h) para el vehículo PDO-9270.

Se observa en la Fig.16, que en las primeras horas (0–300 h) la tasa de fallas es elevada ($\approx 0,02$) y decreciente, correspondiente a la mortalidad infantil. Entre 300 y 2000 h la tasa tiende a estabilizarse en valores bajos, lo que refleja la fase de vida útil. Finalmente, más allá de las 2500 h, los valores sugieren la transición hacia la fase de desgaste. El ajuste ($y = x^{-1}$) confirma la relación inversa entre tasa de fallas y MTBF, consistente con el modelo teórico.

La Fig.17, presenta la relación entre la tasa de fallas y el MTBF (h) para el vehículo PDO-9272, ajustada mediante un modelo potencial. La tendencia observada refleja el comportamiento característico de la curva de la bañera, aunque en este caso los datos disponibles se concentran principalmente en las fases de vida útil y proyección de desgaste.

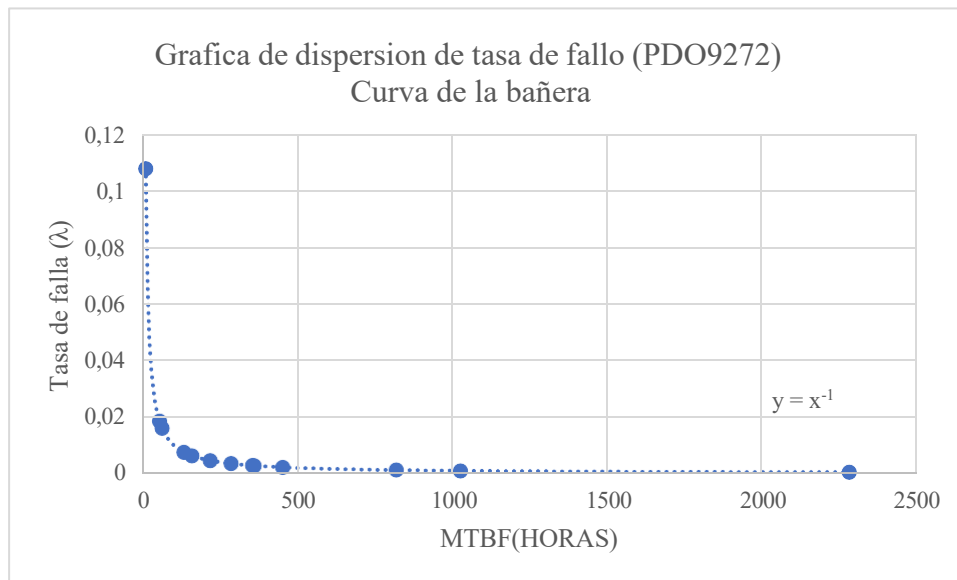


Fig.17. Curva de la bañera en función del MTBF (h) para el vehículo PDO-9272.

En la Fig.17, de la curva de la bañera del vehículo PDO9272 evidencia tres fases claramente diferenciadas. En el periodo de ajuste (0–300 h), la tasa de fallas alcanza valores críticos entre 0,0025 y 0,0015 (1/h), reflejando la vulnerabilidad inicial del sistema. Posteriormente, entre las 300 y 1200 h, se desarrolla la fase de vida útil, en la cual la tasa de fallas se estabiliza en valores bajos de 0,0001 a 0,00005 (1/h), lo que representa la etapa de mayor confiabilidad del vehículo. Finalmente, a partir de las 1200 h se proyecta la transición a la fase de desgaste, donde se espera un incremento progresivo de la tasa de fallas por encima de 0,0002 (1/h), asociado al envejecimiento de los componentes y a la reducción del MTBF.

Para evaluar el comportamiento de la confiabilidad del vehículo PDO-9276, se construyó la gráfica de dispersión de la tasa de fallas en función del MTBF (h), con el ajuste de tendencia correspondiente como se muestra en la Fig.18.

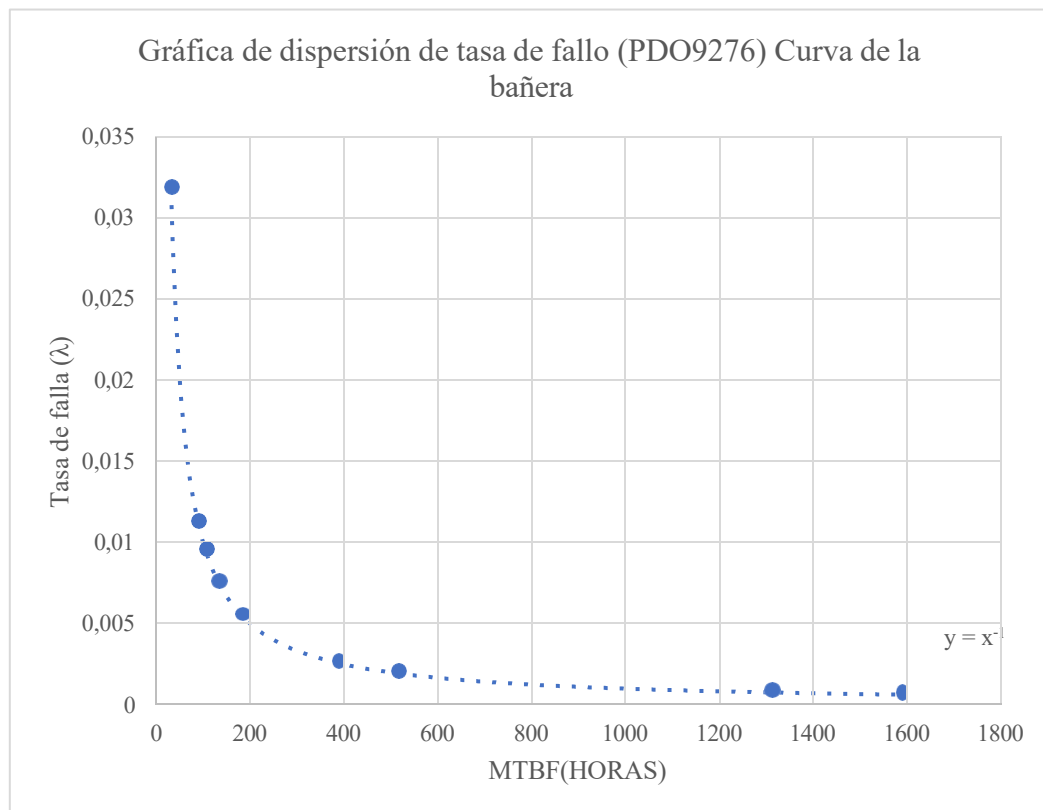


Fig. .18. Curva de la bañera en función del MTBF (h) para el vehículo PDO-9276.

La Fig.18, muestra una tasa inicial alta ($\approx 0,03$) que desciende de manera acelerada hasta estabilizarse alrededor de 0,002 en la franja de 300–1200 h, reflejando la fase de vida útil. En periodos superiores se anticipa la fase de desgaste, aunque los datos aún no muestran un incremento pronunciado. El ajuste ($y = x^{-1}$) respalda la coherencia de los resultados con la teoría de confiabilidad.

El análisis del vehículo TBK8547 se realizó graficando la tasa de fallas en función del MTBF (h), lo que permite visualizar las fases del ciclo de vida a través de la curva de la bañera como se muestra en la Fig.19.

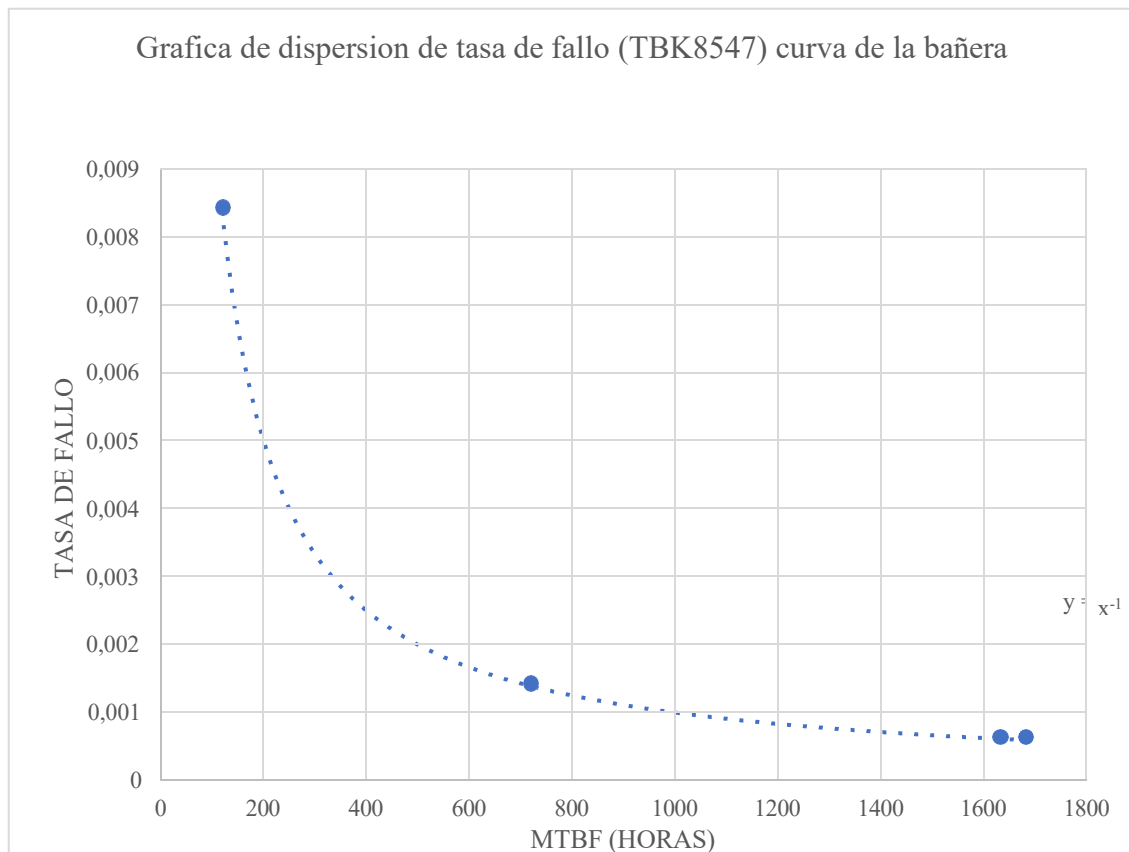


Fig.19. Curva de la bañera en función del MTBF (h) para el vehículo TBK8547.

En la Fig.19, de la etapa inicial (0–300 h), la tasa de fallas es significativa ($\approx 0,009$) y decreciente, propia de la mortalidad infantil. Posteriormente, entre 300 y 1200 h, se observa una reducción sostenida y estabilización, lo que corresponde a la fase de vida útil. A partir de las 1200 h se proyecta la transición al desgaste, con un eventual aumento de fallas. El ajuste ($y = x^{-1}$) confirma la tendencia inversa esperada.

En el caso del vehículo TBK-8550, se elaboró una gráfica de dispersión de la tasa de fallas en función del tiempo medio entre fallas (MTBF), con el fin de identificar el patrón característico de la curva de la bañera como se muestra en la Fig.20.

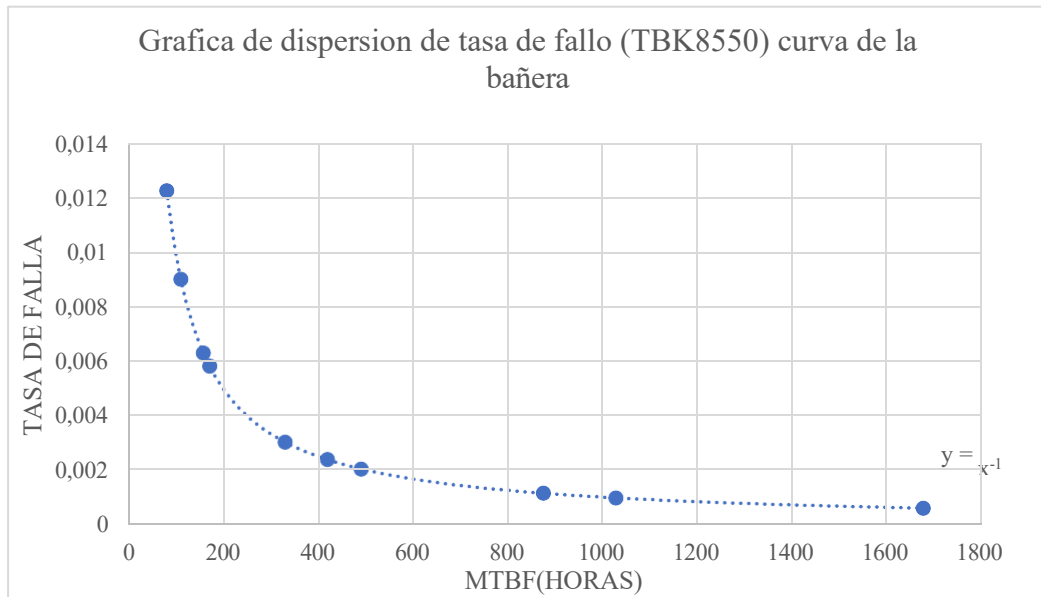


Fig .20. Curva de la bañera en función del MTBF (h) para el vehículo TBK-8550.

En la Fig.20, se observa las primeras horas (<200 h) se presenta una tasa elevada ($\approx 0,012$) que desciende con rapidez, propia de la mortalidad infantil. Posteriormente, entre 200 y 1200 h, la tasa se mantiene en niveles bajos y estables, reflejando la fase de vida útil. En periodos superiores a 1200 h se proyecta el inicio de la fase de desgaste. El ajuste ($y = x^{-1}$) valida la consistencia con el modelo teórico de confiabilidad.

La confiabilidad del vehículo TBK8552 fue analizada mediante la construcción de la curva de tasa de fallas frente al MTBF (h), ajustada con un modelo potencial como se muestra en la Fig.21.

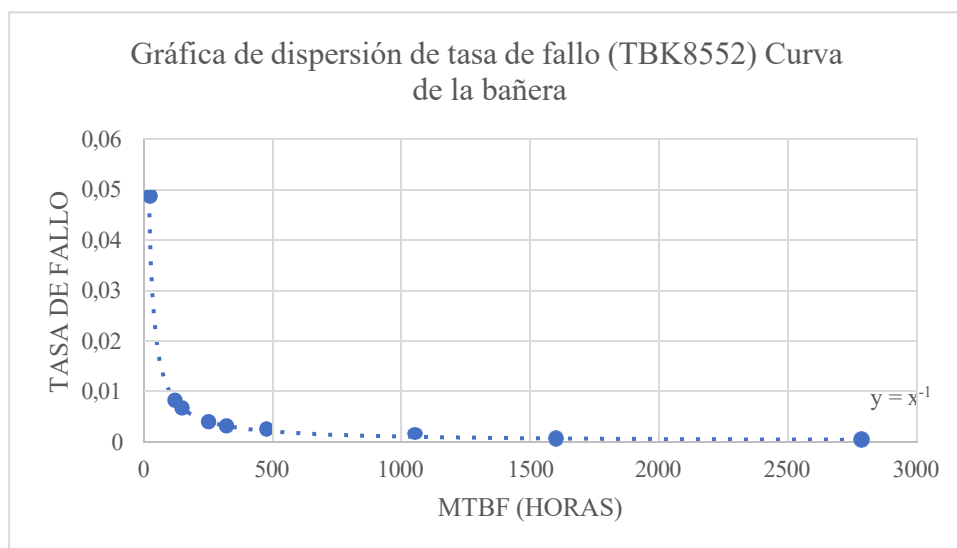


Fig .21. Curva de la bañera en función del MTBF (h) para el vehículo TBK8552.

Se observa en la Fig.21, una tasa de fallas inicial muy elevada ($\approx 0,05$) en los primeros 200 h, correspondiente a la mortalidad infantil. Posteriormente, entre 300 y 1500 h, la tasa se reduce y estabiliza, reflejando la vida útil del vehículo. Más allá de las 2000 h, se proyecta el inicio de la fase de desgaste. El ajuste ($y = x^{-1}$) respalda la validez de la tendencia.

En la Fig.22, de dispersión de la tasa de fallo para el vehículo TBK8553 representa visualmente la relación inversa entre el MTBF expresado en horas y la tasa de fallas correspondiente a cada evento registrado. La forma de la curva obtenida y su ajuste estadístico proporcionan evidencia empírica del patrón de fallas que experimenta la unidad en estudio.

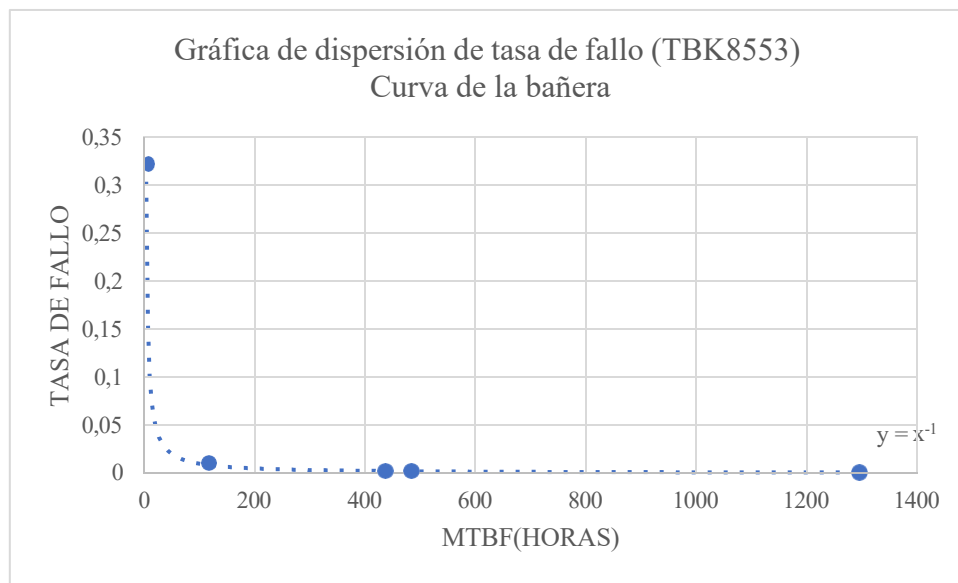


Fig. 22. Curva de la bañera en función del MTBF (h) para el vehículo TBK8552.

En la Fig.22, la etapa inicial de la tasa de fallas alcanza valores muy altos ($\approx 0,3$) que decrecen abruptamente en las primeras 200 h, propias de la mortalidad infantil. Entre 300 y 1000 h se estabiliza en valores bajos, correspondientes a la vida útil. A partir de 1000 h en adelante se proyecta la fase de desgaste, con un incremento potencial de fallas. El ajuste ($y = x^{-1}$) confirma la correspondencia con el modelo de confiabilidad.

A medida que se incrementa el tiempo medio entre fallas, la tasa disminuye notablemente, lo que indica que el vehículo ha ingresado en una fase de operación estable y confiable, donde las fallas son menos frecuentes. La estabilidad de la curva en niveles bajos a partir de las 400 horas sugiere que aún no se han presentado síntomas claros de fase de desgaste, lo cual es un indicio positivo en términos de gestión operativa

La Fig.23, se muestra la dispersión de la tasa de fallas en función del MTBF (h) para el vehículo TBK-8555, reflejando el comportamiento característico de la curva de la bañera.

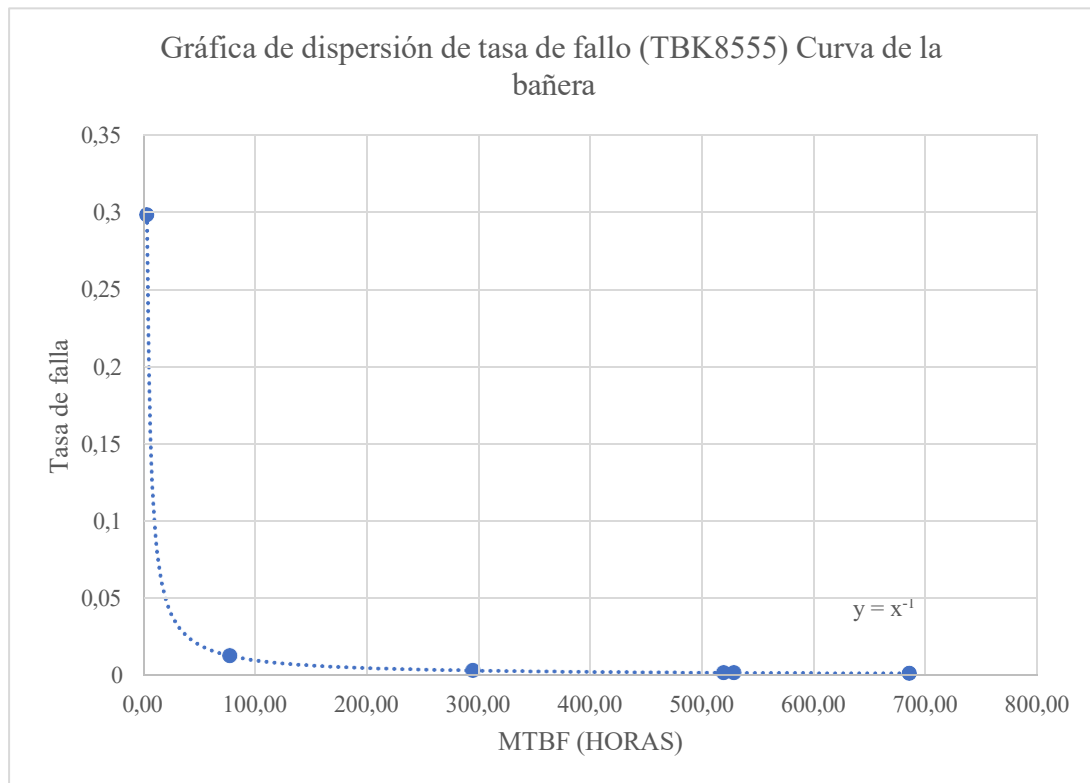


Fig.23. Curva de la bañera en función del MTBF (h) para el vehículo TBK8555.

En la Fig.23, evidencia que en la fase inicial (0–100 h) la tasa de fallas alcanza valores elevados ($\approx 0,30$), reflejando la mortalidad infantil, en la que ocurren fallas tempranas o defectos propios de componentes. Posteriormente, entre las 100 y 500 h, la curva desciende drásticamente y tiende a estabilizarse, representando la fase de vida útil, etapa de mayor confiabilidad y menor incidencia de fallas. Finalmente, hacia las 700 h se proyecta el inicio de la fase de desgaste, en la que se espera un incremento de fallas debido al envejecimiento y la fatiga de materiales. El ajuste obtenido ($y = x^{-1}$) confirma la tendencia inversa.

El comportamiento de la confiabilidad del vehículo TBK8556 se evaluó a través de la relación entre tasa de fallas y MTBF (h). La gráfica de dispersión generada permite observar el patrón de la curva de la bañera como se muestra en la Fig.24.

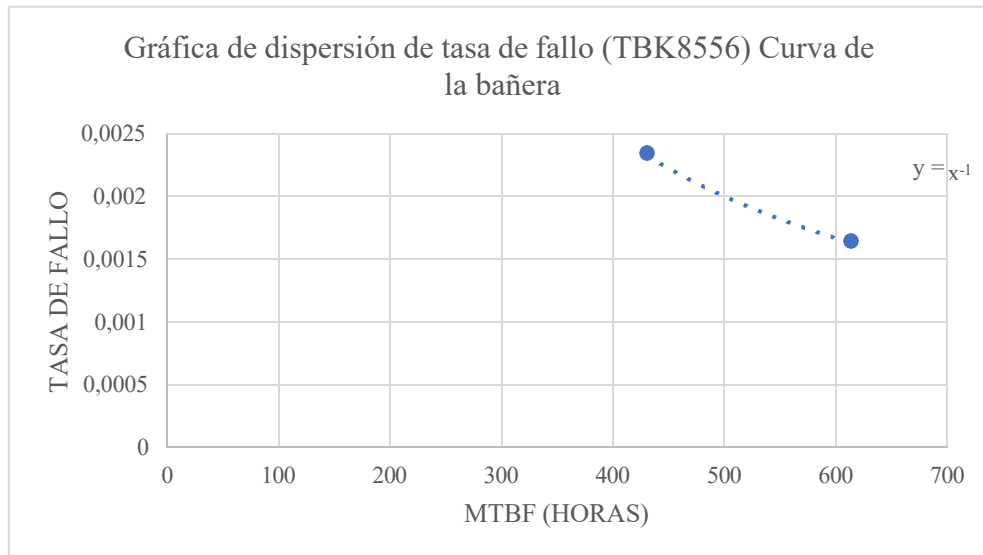


Fig. .24. Curva de la bañera en función del MTBF (h) para el vehículo TBK8556.

En la Fig.23, se observa que en torno a las 400–600 h, la tasa de fallas varía entre 0,0023 y 0,0016, lo que indica una tendencia decreciente y la entrada en la fase de vida útil del vehículo, caracterizada por mayor estabilidad y confiabilidad. Aunque los datos disponibles no permiten visualizar con claridad la fase de mortalidad infantil ni la de desgaste, el patrón descendente respalda la presencia de un periodo intermedio de baja tasa de fallas. El ajuste obtenido ($y = x^{-1}$) confirma la relación inversa.

Para el vehículo TBL9050 se analizó la tasa de fallas en función del MTBF (h), generando una gráfica de dispersión con ajuste potencial, como se muestra en la Fig.25.

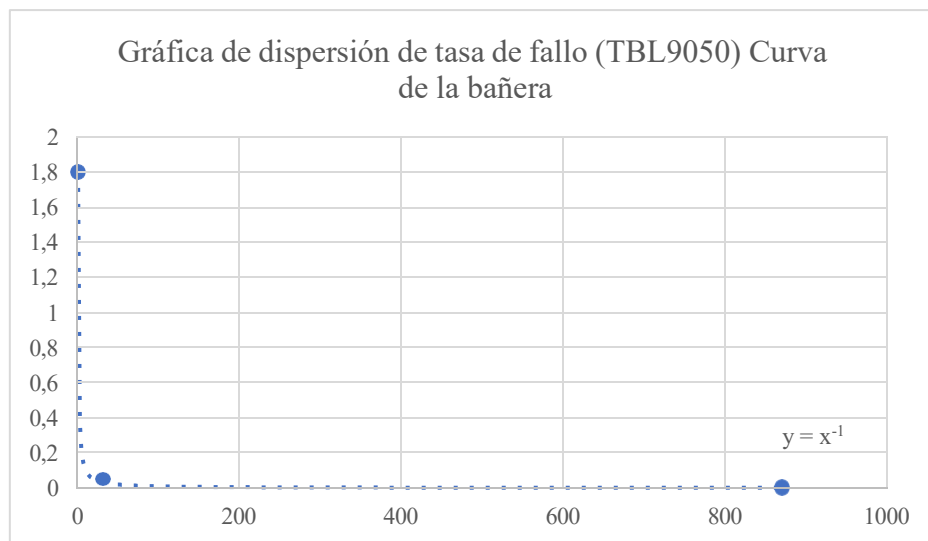


Fig.25. Curva de la bañera en función del MTBF (h) para el vehículo TBL9050.

La Fig.25, se evidencia que en las primeras horas (<50 h), la tasa de fallas alcanza un valor extremadamente alto ($\approx 1,8$), lo que corresponde a la fase de mortalidad infantil, caracterizada por la presencia de fallas tempranas o defectos iniciales. Posteriormente, a medida que aumenta el MTBF, la tasa de fallas desciende de manera drástica hasta aproximarse a cero, estabilizándose en valores bajos y reflejando la fase de vida útil, en la cual el vehículo opera con su mayor confiabilidad. Aunque la gráfica no muestra con claridad la fase de desgaste, se proyecta que en periodos posteriores podría manifestarse un incremento en la tasa de fallas. El ajuste ($y = x^{-1}$) confirma la tendencia inversa entre la tasa de fallas y el MTBF.

La TABLAX muestra los valores de confiabilidad obtenidos de una muestra de 10 vehículos, estos datos permiten evaluar el desempeño y la consistencia de cada unidad analizada.

TABLA X
VALORES DE CONFIABILIDAD MUESTRA DE 10 VEHICULOS

Vehículo	Confiabilidad	Porcentaje
PDO9270	0.9648	96%
PDO9272	0.8336	83%
PDO9276	0.9306	93%
TBK8547	0.6617	66%
TBK8550	0.3525	35%
TBK8552	0.5625	56%
TBK8553	0.6707	67%
TBK8555	0.6868	68%
TBK8556	0,3261	33%
TBL9050	0.6321	63%

La siguiente Fig.26, muestra la curva de confiabilidad correspondiente a una muestra de 10 vehículos, permitiendo visualizar el comportamiento de la confiabilidad a lo largo del tiempo. A través de esta curva, es posible identificar la tendencia de fallos y estimar la duración esperada del funcionamiento de los vehículos. Este análisis resulta fundamental para la toma de decisiones en estrategias de mantenimiento y gestión eficiente de flotas.

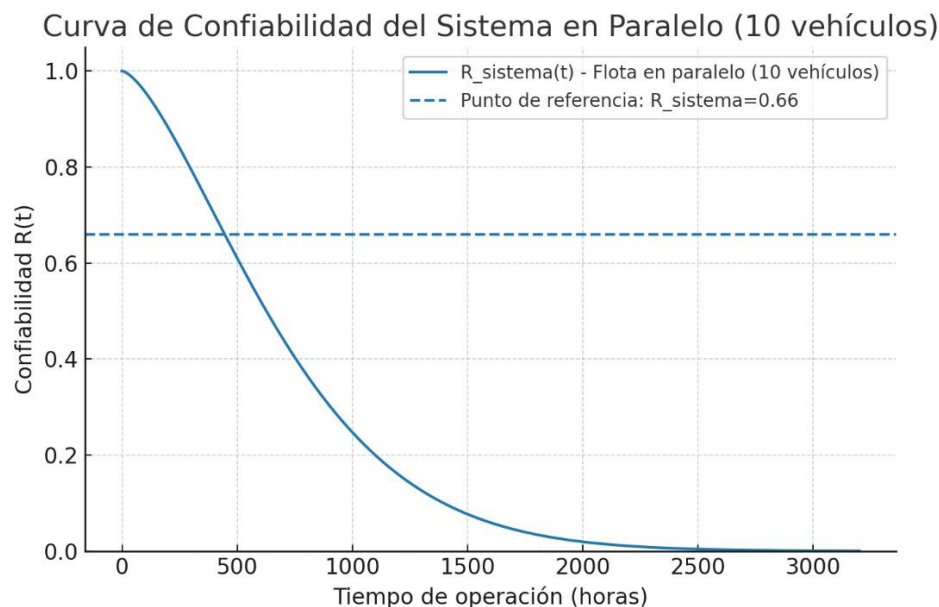


Fig.26. Curva de confiabilidad sistema en paralelo de muestra de 10 vehículos

La Fig.26, representa la evolución de la confiabilidad del sistema en paralelo conformado por diez vehículos, calculada como $R_{\text{sistema}}(t) = 1 - \prod_{i=1}^{10}(1 - R_i(t))$ bajo el supuesto de tasa de falla constante. Tal como se observa, la curva inicia en $R(0) = 1$ y presenta un decaimiento monótono conforme aumenta el tiempo de operación, reflejando la acumulación de probabilidad de falla en las unidades. El punto de referencia estimado con los $R_i(t)$ reportados arroja $R_{\text{sistema}} \approx 0,66$ lo que se interpreta como una probabilidad del 66 % de contar con al menos un vehículo operativo en el horizonte de análisis considerado.

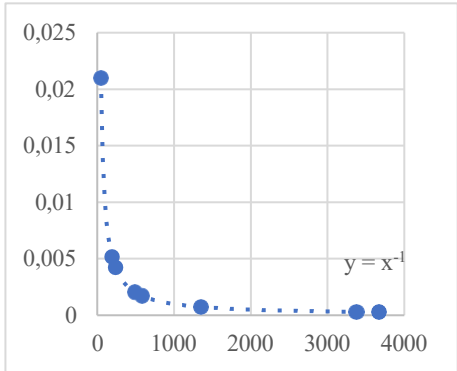
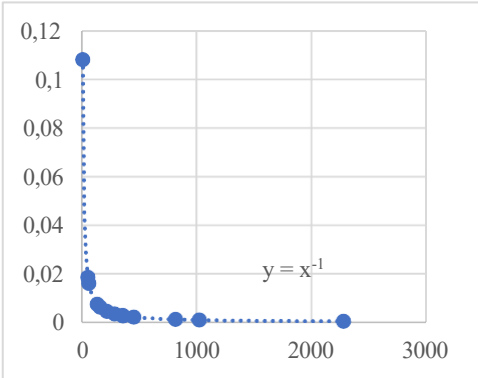
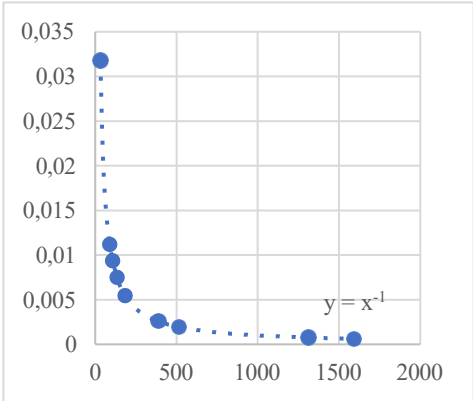
El análisis muestra que, a pesar de que algunos vehículos presentan valores individuales de confiabilidad muy reducidos, la estructura en paralelo de la flota permite sostener durante un tiempo determinado la probabilidad de que al menos un vehículo permanezca disponible. No obstante, la curva desciende de manera acelerada a medida que aumenta el horizonte de operación, alcanzando niveles críticos que reflejan una alta probabilidad de indisponibilidad total de la flota en el largo plazo.

Desde la perspectiva de la gestión de mantenimiento, este resultado pone en evidencia la necesidad de implementar planes de intervención preventiva y correctiva en los vehículos con menores niveles de confiabilidad, dado que su contribución negativa acelera el deterioro del desempeño del sistema completo. De esta forma, la curva de confiabilidad no solo permite visualizar la tendencia de pérdida de disponibilidad en el tiempo, sino que constituye una

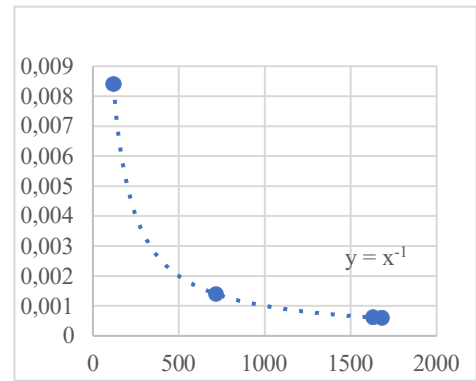
herramienta estratégica para planificar la renovación de unidades y optimizar la toma de decisiones orientadas a garantizar la continuidad operativa de la flota.

En la siguiente TABLA XI, se presentan los indicadores clave de desempeño de mantenimiento correspondientes a una muestra de 10 vehículos.

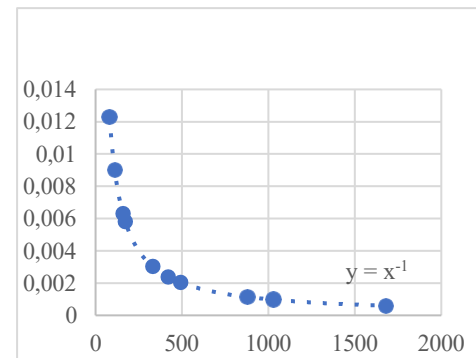
TABLA XI
INDICADORES MANTENIMIENTO DE 10 VEHICULOS

Vehículo	MTBF (h)	Tasa de fallo	Confiabilidad%	Grafica Curva de la bañera
PDO9270	1242	0,0351	96%	
PDO9272	478	0,1663	83%	
PDO9276	484	0,0693	93%	

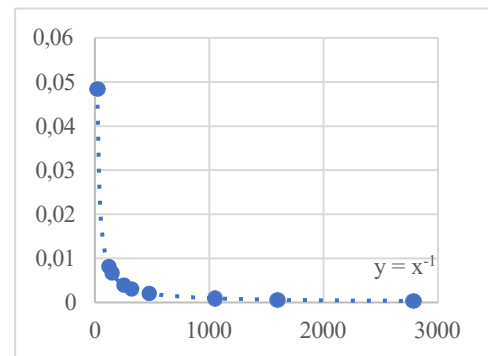
TBK8547 1037 0,3340 66%



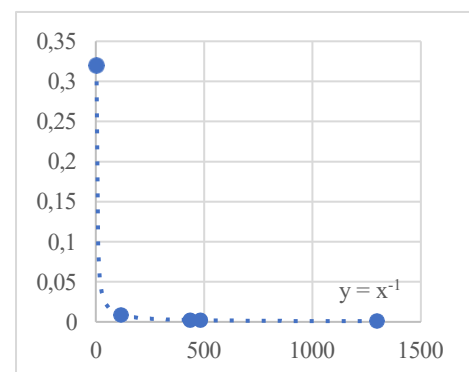
TBK8550 535 0,6475 35%



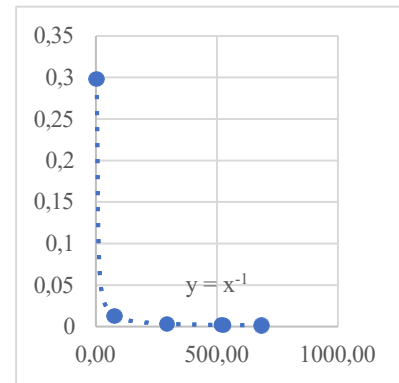
TBK8552 753 0,4376 56%



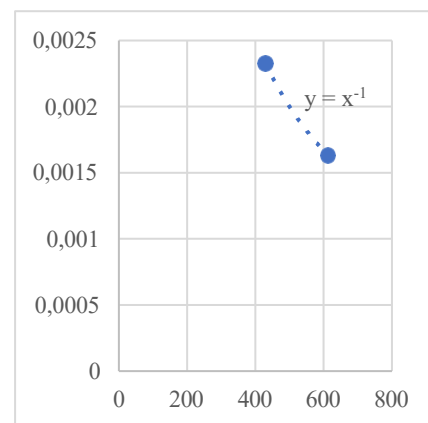
TBK8553 467 0,3292 67%



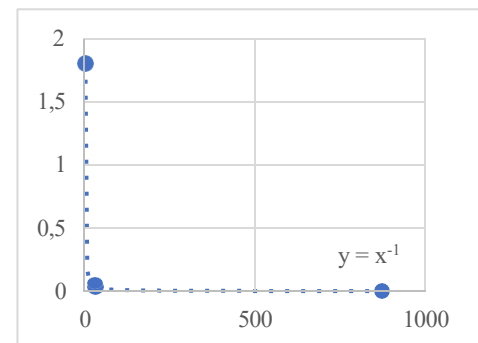
TBK8555 351 0,3131 68%



TBK8556 11756 0,6738 33 %



TBL9050 300 0.3678 63%



El análisis de la flota revela una marcada dispersión en los valores de MTBF, que fluctúan entre 300 y 11.756 horas, evidenciando diferencias significativas en la vida útil de los vehículos. Los camiones con mayor MTBF, como el TBK8556, muestran una condición de alta confiabilidad (0,37) y una baja tasa de fallas (0,00197), lo que los sitúa en una fase de operación estable y eficiente. En contraste, unidades como TBL9050 y TBK8553 presentan MTBF bajos y tasas de fallas elevadas, lo cual indica un ciclo de vida avanzado caracterizado por averías recurrentes y un mayor desgaste en componentes críticos.

Respecto a la confiabilidad, se determinó que vehículos como PDO9272 y PDO9276 registran valores próximos a cero, reflejando un riesgo elevado de indisponibilidad operativa y la necesidad de aplicar planes de mantenimiento intensivo o evaluar su reemplazo. En cambio, camiones como TBK8547 y PDO9270 alcanzan niveles intermedios de confiabilidad, ubicándose en una etapa de transición donde resulta fundamental reforzar las estrategias preventivas para prolongar su vida útil. Estos hallazgos evidencian la coexistencia de distintas fases del ciclo de vida dentro de la flota, lo que demanda una planificación de mantenimiento diferenciada que optimice recursos y asegure la continuidad del servicio.

A continuación, se muestra la TABLA VIII el cual tiene como resultado los promedios de MTFB, Tasa de falla y Confiabilidad de la muestra de los 10 vehículos.

TABLA XII
INDICADORES DEL SISTEMA

Sistema 10 Vehículos	MTBF (h)	Tasa de falla λ (1/h)	Confiabilidad
Indicadores	1740	18%	66%

La tabla sintetiza los indicadores del sistema en paralelo de 10 vehículos: MTBF = 1.740h, confiabilidad = 66%. Este nivel implica una probabilidad de indisponibilidad total del 44% en el horizonte analizado.

4.6. Discusión

El análisis efectuado demostró que la distribución Weibull representa de manera precisa los tiempos hasta la falla en la flota estudiada. La identificación de una tasa de fallas creciente confirma la existencia de una fase de desgaste activa, lo que resalta la importancia de aplicar estrategias de mantenimiento predictivo. Esta información resulta determinante para la gestión de mantenimiento y para optimizar el ciclo de vida de los activos. Asimismo, la obtención de métricas permitió elaborar las curvas de confiabilidad $R(t)$, probabilidad de falla acumulada $F(t)$ y tasa de falla $h(t)$, indispensables para describir el comportamiento de los componentes.

Los resultados evidenciaron una tendencia creciente en la tasa de fallas, propia de la fase de desgaste, lo que respalda la elección de la modelación con la distribución Weibull. Finalmente, la validación empírica se realizó contrastando los resultados estadísticos con los

registros reales de intervención, comprobándose que las predicciones del modelo se ajustan a los tiempos observados en campo. Esto confirma la pertinencia y solidez de la metodología aplicada, reforzando su utilidad en la planificación del mantenimiento.

5. CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

➤ El análisis de la información histórica de fallas y reparaciones de los vehículos permitió establecer una base de datos confiable con tiempos de operación e intervención reales, provenientes del sistema GServer ExpertiaWeb. Esta recopilación fue fundamental para identificar los componentes con mayor frecuencia de falla y las tendencias críticas en la operación de los camiones livianos, concluyéndose que la mayoría de las fallas estaban concentradas en etapas tempranas del ciclo de vida.

➤ Se desarrolló y validó una metodología efectiva para el cálculo de las funciones de confiabilidad y tasa de fallos a partir del análisis estadístico de los tiempos entre fallas. Esta metodología permitió modelar el comportamiento de los activos mediante la distribución de Weibull, identificando que el valor de $\beta < 1$ indica una fase de mortalidad infantil. Este enfoque superó a los criterios empíricos tradicionales utilizados por la empresa, al permitir caracterizar con mayor precisión las etapas del ciclo de vida operativo.

➤ La obtención de curvas de tasa de falla, probabilidad de falla y confiabilidad permitió construir una curva de ciclo de vida adaptada al comportamiento real de la flota. Las curvas generadas evidenciaron claramente la existencia de las tres fases de la curva de la bañera (mortalidad infantil, vida útil y desgaste). Esta representación se convirtió en una herramienta clave para anticipar intervenciones técnicas, priorizar mantenimientos y optimizar la asignación de recursos.

➤ La validación de la metodología mediante la comparación de los resultados obtenidos con los datos históricos confirmó la pertinencia del modelo Weibull como el que mejor se ajusta al comportamiento de fallas observado. Las pruebas de bondad de ajuste Kolmogorov-Smirnov y Anderson-Darling mostraron valores satisfactorios para el modelo Weibull ($p > 0,25$ y $AD = 0,837$), confirmando su aplicabilidad estadística y operacional.

Se logró desarrollar una metodología efectiva para la estimación del ciclo de vida de una flota de camiones livianos de Expertia Corporativa S.A., mediante el análisis estadístico de confiabilidad y la modelación de fallas con la distribución Weibull. Esta metodología permite una planificación más precisa del mantenimiento, la identificación de etapas críticas de operación y una toma de decisiones orientada a mejorar la disponibilidad de la flota, reducir los costos operativos y extender la vida útil de los activos.

5.2. Recomendaciones

- Implementar el modelo Weibull como herramienta oficial para la planificación del mantenimiento predictivo en la empresa.
- Desarrollar programas de capacitación técnica para el personal de mantenimiento en análisis de confiabilidad.
- Integrar en el sistema ExpertiaWeb módulos automáticos para el cálculo de funciones de confiabilidad y alerta de transiciones críticas en la vida útil.
- Establecer umbrales de confiabilidad y MTBF que sirvan como indicadores de alerta temprana para intervenciones técnicas o decisiones de renovación.
- Aplicar esta metodología en otras categorías de la flota vehicular, especialmente en unidades con alta variabilidad operativa.
- Realizar auditorías periódicas de los datos de fallas registrados para garantizar su calidad y confiabilidad.
- Fomentar una cultura de mantenimiento basado en datos y en la confiabilidad, abandonando la toma de decisiones empírica.
- Incorporar esta metodología como parte del proceso de mejora continua de la empresa y como modelo para otras empresas del sector.

REFERENCIAS

- [1] Agudo, P., & Ortiz, A. (2022). Propuesta De Indicadores Económicos Para La Gestión De Mantenimiento De Flotas De Transporte Considerando La Metodología Lcc. Repositorio De La Ups. Recuperado De: [Http://Dspace.Ups.Edu.Ec/Handle/123456789/23137](http://Dspace.Ups.Edu.Ec/Handle/123456789/23137).
- [2] Amao, F. (2020). Determinación Del Tiempo Óptimo De Reemplazo De Flota Aplicando Análisis De Costos De Ciclo De Vida Para Reducir Costos De Mantenimiento En Una Empresa De Transporte De Residuos Sólidos Peligrosos. Págs. 24-30.
- [3] Apolo, C. Y. (2012). Propuesta De Un Plan De Mantenimiento Automotriz Para La Flota Vehicular Del Gobierno Autónomo De La Ciudad De Azogues. Pág. 26.
- [4] Bernal, J. M. (2021). Propuesta De Mejora Mediante La implementación Del Rcm Para Reducir Costos Operativos De Mantenimiento En Una Empresa Agroindustrial . La Libertad, 11- 12.
- [5] Boris. (2020). Diseño De Un Plan De Mantenimiento Preventivo Para Una Empresa Productora Y Comercializadora De Harina Y Aceite De Pescado Ubicada En La Ciudad De Santa Elena. 34.
- [6] Chuchuca, C. G. (2022). Implementación De La Metodología Rcm Para La Flota Vehicular De La Empresa Lácteos San Antonio C.A. Universidad Politécnica Salesiana, 9-10.
- [7] Clavijo Mesa, MV, Patino-Rodriguez, CE, Guevara Carazas, FJ, Gunawan, I. y Droguett, EL (2021). Estrategias de gestión de activos mediante análisis de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad (RAM). Revista de la Sociedad Brasileña de Ciencias Mecánicas e Ingeniería , 43 (11). <https://doi.org/10.1007/s40430-021-03222-y>
- [8] Colchado, G. A. (2016). Gestión De Mantenimiento Para Mejorar La Disponibilidad De La Flota De Transporte Pesado De La Empresa . Universidad Señor De Sipan, 5.
- [9] Collantes, J. (2013). Artículo De Investigación “Importancia De La Ingeniería De Confiabilidad En La Estrategia De La Gestión De Activos.
- [10] Cuaical-Angulo , B. A., Buenaño-Moyano , L. F., & Moreno-Pinduisaca , L. (2019). Análisis de indicadores de gestión CMD en el desarrollo de software de mantenimiento para vehículos livianos. Revista Científica FIPCAEC (Fomento De La investigación Y publicación

científico-técnica multidisciplinaria). ISSN : 2588-090X . Polo De Capacitación, Investigación Y Publicación (POCAIP), 4(4), 145-170. <https://doi.org/10.23857/fipcaec.v4i4.128>

[11] Edith, C. F. (2023). Plan De Mejora De Mantenimiento Preventivo Para Incrementar La Disponibilidad En La Flota Vehicular De Una Empresa Agrícola, Chao. Investiga Ucv, 15.

[12] Ermácora, F. S. (2021). Análisis De Metodologías Para La Estimación De Tránsito Futuro En Carreteras. Nacional De Rosario, 2.

[13] Fierro, P. R. (2005). Implementación De Índices De Mantenimiento En La Compañía Ecuatoriana Del Caucho S. A. 56.

[14] Guayacondo, E., & Ramírez, W. (2022). Metodología Para La Gestión De Costes De Mantenimiento Mediante Un Estudio Lcc Aplicado A Flotas De Transporte. Repositorio De La Ups. Recuperado De: <https://Dspace.Ups.Edu.Ec/Bitstream/123456789/23118/1/Ups-Ct010013.Pdf>.

[15] Guerra, V. (2020). Diseño De Un Modelo De Gestión De Riesgos En Expertia Corporativa S.A.

[16] Expertia Corporativa S.A. recuperado de: <https://expertia.ec/>

[17] Hernández, R. F. (2010). Metodología De La Investigación (5ª Ed.).

[18] Limo, M. A. (2020). Plan De Mantenimiento Preventivo Para Incrementar La Eficiencia De La Flota Vehicular. Transportes Catalán Sac, 4-5.

[19] Nurcahyo, R., Tri Nugroho, (2023). Análisis de confiabilidad, disponibilidad y mantenimiento (RAM) para la evaluación del rendimiento de máquinas generadoras de energía. Revista Standard , 25 (1), 41. <https://doi.org/10.31153/js.v25i1.982>

[20] Ochoa Luzuriaga, A. P., & Villa Villa, L. A. (2022). Desarrollo De Una Herramienta Informatica Mediante El Uso De Software Libre Para El Cálculo De La Confiabilidad En Flotas De Transporte.

[21] Pérez, F. (2021). Conceptos generales en la gestión del mantenimiento industrial. Bucaramanga 107.

[22] Ruiz, P. S. (2018). Sistema De Gestión De Mantenimiento Basado En Análisis De Modo Y Efecto De Falla Para Mejorar La Disponibilidad De La Flota Vehicular En La Empresa Chimú Agropecuaria S.A. 35.

- [23] Servicio Ecuatoriano De Normalización. Norma Técnica Ecuatoriana. (2016). Clasificación Vehicular (Nte Inen 2656). Obtenido De https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_2656-1.pdf
- [24] Torres, C., & Fierro, P. (2016). Desarrollo De Metodología Para La Implementación De Índices De Mantenimiento Cmd Para Sistemas Ferroviarios. Repositorio De La Ups. Recuperado De <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/12129>.
- [25] Trujillo, R. (2022). Desarrollo De Un Plan De Mantenimiento Preventivo Para La Flota De Vehículos De Recolección De Basura De La Empresa Pública Metropolitana De Aseo (Emaseo) De La Ciudad De Quito. 63.
- [26] Valderrama, M. (2022). Métodos De Pronóstico De Fallas En Motores Diésel De Camiones Mineros En Base A Indicadores De Degradación Probabilísticos. 45.
- [27] Vega-Mejía, R., Velásquez, A., Ronceros, C., & De La Cruz Ortiz, C. (2025). Análisis de los parámetros de Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad de la planta compresora de Jusepín 12. Revista Politécnica, 55(1), 61–70. <https://doi.org/10.33333/rp.vol55n1.06>
- [28] Yallico, H. C. (2023). Estimación De La Disponibilidad De Los Camiones Mineros Liebherr. Universidad Continental, 5-6.
- [29] Harry F. Martz, & Robert A. Meyers, Teoría de la confiabilidad, Enciclopedia de ciencia física y tecnología (tercera edición), 2003, páginas 143-159, <https://doi.org/10.1016/B0-12-227410-5/00659-1>.

ANEXOS

Anexo 1 Autorización de uso de información



GUAYAQUIL, miércoles, 25 octubre, 2023

Señores,
Ingeniería Automotriz
Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil
Guayaquil – Ecuador

Por medio de la presente, yo, Christian Gabriel Velasco Sarango con CI. 1500844640, supervisor regional de operaciones de EXPERTIA CORPORATIVA S.A., autorizo a: Wesley Antonio Cedeño Asinc con CI. 0932008402, estudiante de la carrera de ingeniería automotriz, pueda hacer uso de la información que le sea necesaria para sostener su trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Automotriz.

Todos los datos que fueran vertidos a través del estudio tendrán mi consentimiento para ser usados únicamente con fines académicos.

Sin más, quedo atento a sus comentarios, dudas o aclaraciones que pudiese surgir de la información aquí presentada.

Saludos cordiales,



CHRISTIAN VELASCO SARANGO
SUPERVISOR OPERACIONES
CI. 1500844640

Anexo 2 Certificado de rastro de vehículos de Expertia



DOC-INF-IR-000785

Quito D.M 15 de octubre del 2024

Señores
EXPERTIA CORPORATIVA S.A.
 Presente.-

ASUNTO.- CERTIFICADO DE VIGENCIA

Por medio de la presente CERTIFICO que la empresa EXPERTIA CORPORATIVA S.A. con Ruc No. 1792293677001, dispone de servicio de rastreo vehicular en las siguientes unidades:

CHASIS	MODELO	VIGENCIA	SERVICIO	PLACA	SERIAL
LVZKR31B3PCB08127	DFSK; C31MINITRUCK; AC1.5CS4X2TM; BLANCO; 2023	22/05/2025	Ituran Flotas E1	TBK8550	22E1039524
LVZKR31B2PCB08149	DFSK; C31MINITRUCK; AC1.5CS4X2TM; BLANCO; 2023	22/05/2025	Ituran Flotas E1	TBK8552	22E1043039
LVZKR31B5PCB08145	DFSK; C31MINITRUCK; AC1.5CS4X2TM; BLANCO; 2023	23/05/2025	Ituran Flotas E1	TBK8553	22E1045010
LVZKR31B2PCB08152	DFSK; C31MINITRUCK; AC1.5CS4X2TM; BLANCO; 2023	03/06/2025	Ituran Flotas E1	TBK8554	22E1043035
LVZKR31B6PCB08154	DFSK; C31MINITRUCK; AC1.5CS4X2TM; BLANCO; 2023	03/06/2025	Ituran Flotas E1	TBK8555	22E1045007

Atentamente,



BERNARDO XAVIER
 BENAVIDES CALLE

Ing. Xavier Benavides
 Gerente de Atención al Cliente
 Ituran Ecuador S.A.

Calle Manuel Najas OE1-81 y Juan de Selis
 PBX: (593-2) 299-1919 - P.O.Box 17-21-812
 Quito - Ecuador

Anexo3 Base de datos de rastreo Worffleet.

worldfleetlog.com/wil/maps/mapifleet.aspx

XPERTIA (3180) (546) (1786)

Filtro por tipos Filtro por texto

Filtrar por vehiculos Mostrar por

(9) (2) (23) (0) (25)

PLACAS	FECHA	INCIDENTE (OBSERVACIONES)	DETALLE
TBK-8547	15/08 18:34:39	ByPass	Modo sleep
TBK-8548	15/08 15:20:25	ByPass	Fin de viaje
TBK-8550	15/08 17:24:35	ByPass	Fin de viaje
TBK-8551	15/08 19:23:32	ByPass	Fin de viaje
TBK-8552	15/08 18:58:32	ByPass	Final de tiempo de inactividad
TBK-8553	15/08 18:14:01	ByPass	Desaceleración
TBK-8554	15/08 18:19:29	ByPass	Fin de viaje
TBK-8555	15/08 16:45:25	ByPass	Fin de viaje
TBK-8556	15/08 18:36:44	ByPass	Fin de viaje
TBK-8557	15/08 18:44:15	ByPass	Fin de viaje
TBK-8561	15/08 17:34:51	ByPass	Fin de viaje
TBL-1744	15/08 19:09:58	ByPass	Fin de viaje
TBL-1745	15/08 18:01:31	ByPass	Fin de viaje
TBL-1747	15/08 17:58:28	ByPass	Fin de viaje
TBL-1749	15/08 17:33:42	ByPass	Fin de viaje
TBL-1776	15/08 17:26:45	ByPass	Fin de viaje
TBL-1780	15/08 18:25:28	ByPass	Fin de viaje
TBL-1781	15/08 19:07:39	ByPass	Modo sleep
TBL-1782	15/08 18:09:07	ByPass	Fin de viaje
TBL-1783	15/08 18:49:14	ByPass	Fin de viaje
TBL-1784	15/08 19:37:50	ByPass	Fin de viaje
TBL-9006	15/08 17:13:51	ByPass	Fin de viaje
TBL-9040	15/08 18:37:16	ByPass	Modo sleep
TBL-9050	15/08 17:51:34	ByPass	Modo sleep
TBL-9721	15/08 18:47:10	ByPass	Modo sleep

Mapa X: -79.944046 Y: -2.109920

TBK-8556

ID de dispositivo 20583600
 Conductor ByPass
 Hora 16/08 18:36:44
 Velocidad 0
 R.P.M. 0
 Dirección

Calle Pechiches, Monte Bello, Farmagro
 Geocerca MONTEBELLO
 Tiempo de visita de geocerca 01:33:38
 Grupo YUPI | YUPI GYE | YUPI GYE SUR
 Nivel de combustible n/a
 Distancia de viaje 0.0
 Tiempo estacionado 01:23:34
 Evento Fin de viaje
 Kilometraje 41,179.5
 Horas motor 2,997.2
 Estado GPS OK
 Orientación 196°
 Saltillos 18
 Nivel de batería 13.4
 Tipo de dispositivo E1 (G)
 Version de Firmware 3.18.27

Pechiche C. 23B N-0

Google Enter a query

Combinaciones de teclas Datos del mapa ©2025 5 m Términos Notificar un problema de Maps

Alertas Archivo Mensajes Info Empleados Comandos

(550) (74) (373) Mostrar por Todos

Fecha y hora	Evento	Vehículo	Conductor
15/08 20:00:43	Aceleración en curva (medio)	TBL-3036 JOSE VELOZ	ByPass
15/08 20:00:35	Inicio de viaje	PFH-6472	ByPass
15/08 20:00:31	Fin de viaje	PDZ-4448 DORIAN IDROVO	ByPass
15/08 20:00:19	Aceleración en curva (medio)	TBL-3036 JOSE VELOZ	ByPass
15/08 19:59:50	Fin de viaje	PFE-3596	ByPass
15/08 19:59:22	Fin de viaje	PFO-2154	ByPass
15/08 19:59:13	Aceleración en curva (medio)	PFE-6328	ByPass
15/08 19:58:53	Exceso de velocidad	PFE-6328	ByPass