



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA INFORMÁTICA PARA EL ESTUDIO DE LA
CONFIABILIDAD EN FLOTAS DE TRANSPORTE BASADO EN EL MÉTODO DE
WEIBULL

Trabajo de titulación previo a la obtención
del título de Ingeniero Automotriz

AUTORES: ALEXIS ABSALÓN CONDE LUNA

CRISTHIAN ABRAHAN MOSQUERA MUÑOZ

TUTOR: ING. CRISTIAN LEONARDO GARCÍA GARCÍA, PhD.

Cuenca - Ecuador

2022

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Alexis Absalón Conde Luna con documento de identificación N° 1150021309 y Cristhian Abrahan Mosquera Muñoz con documento de identificación N° 0106982093; manifestamos que:

Somos 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.

Cuenca, 29 de junio del 2022

Atentamente,



Alexis Absalón Conde Luna

1150021309



Cristhian Abrahan Mosquera Muñoz

0106982093

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

Nosotros Alexis Absalón Conde Luna con documento de identificación N° 1150021309 y Cristhian Abrahan Mosquera Muñoz con documento de identificación N° 0106982093, 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 una herramienta informática para el estudio de la confiabilidad en flotas de transporte basado en el método de Weibull”, 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.

Cuenca, 29 de junio del 2022

Atentamente,

Alexis Absalón Conde Luna

1150021309

Cristhian Abrahan Mosquera Muñoz

0106982093

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Cristian Leonardo García García con documento de identificación N° 0103898318, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA INFORMÁTICA PARA EL ESTUDIO DE LA CONFIABILIDAD EN FLOTAS DE TRANSPORTE BASADO EN EL MÉTODO DE WEIBULL, realizado por Alexis Absalón Conde Luna con documento de identificación N° 1150021309 y por Cristhian Abrahan Mosquera Muñoz con documento de identificación N° 0106982093, 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.

Cuenca, 29 de junio del 2022

Atentamente,



Ing. Cristian Leonardo García García, PhD.

0103898318

DEDICATORIA

Dedico el presente proyecto a cuatro amadas personas. A mi madre Katiuzca Muñoz, a mi padre Darwin Mosquera, a mi abuelo materno Modesto Muñoz que siempre me han brindado su apoyo y amor incondicional, gracias a ellos he podido ir cumpliendo cada uno de mis objetivos, los cuales los han llenado de orgullo y felicidad, finalmente y más importante agradecer a mi abuela materna Betty Romero que a pesar de que ya no forma parte de este mundo sigue significando mucho para mí y sus recuerdos siguen en mi corazón, siempre me has enseñado que debo cumplir todos y cada uno de mis objetivos, fuiste un gran ejemplo para no bajar los brazos cuando las cosas se complicaban.

Cristhian Abrahan Mosquera Muñoz

DEDICATORIA

El presente proyecto se lo dedico en primer lugar a mis padres, Absalón Conde y Elfa Luna, por haberme apoyado siempre en todo momento y aspecto de mi vida hasta la actualidad, por educarme y enseñarme el valor de ayudar, recibir y compartir con mis semejantes, a ellos que les debo la vida entera y el lugar en donde ahora puedo estar con la frente en alto, les agradezco infinitamente con todo mi corazón, dedico también este proyecto a mis dos hermanas, mis modelos a seguir e inspiraciones a conseguir todos mis sueño, Tatiana y Michelle, que con su experiencia y gran sabiduría siempre me han brindado sabias palabras y consejos, guiándome por el buen camino para ser un profesional de calidad, agradecido por lo que tengo y siempre respetuoso con Dios y con el prójimo. De todo corazón gracias por siempre estar para mí en todo este camino a cumplir mi primer gran sueño.

Alexis Absalón Conde Luna

RESUMEN

En el presente proyecto se desarrolló una herramienta informática, enfocada a facilitar al usuario la información y resultados necesarios para un análisis de confiabilidad mediante una distribución de Weibull, que puede ser aplicado a una flota vehicular.

Se inició con un estudio de comparación entre diferentes modelos de confiabilidad de los cuales fue seleccionado el modelo de Weibull, por su gran versatilidad dentro del análisis de datos de mantenimiento en un rango de tiempo variable, una vez establecido el modelo a utilizar, se procedió a realizar un estudio de filtrado de datos, para ello utilizando el modelo de Nelson-Aalen en conjunto con la prueba de tendencia de Laplace.

Al poseer los datos de mantenimiento brindados por la empresa, se pudo establecer los diferentes modos de fallo, en distintos mantenimientos realizados los sistema de cada máquina como son el motor, transmisión, dirección, sistema eléctrico, sistema hidráulico y el chasis-carrocería, por el tamaño del historial de cada máquina, se optó por el análisis mediante un diagrama de Pareto a cada agrupación por tipo de máquina de la empresa, con resultados de mejor entendimiento y fácil estudio, del cual se obtuvo, que los Tractores, Cargadoras, Motoniveladoras y Retroexcavadoras, representan mayor criticidad y coste a la empresa.

Finalmente, luego de contar con los tiempos hasta un fallo, se realizó una herramienta informática en el entorno conocido como Visual Basic (VBA), dentro del programa estadístico de Excel, se utilizó un filtrado de datos mediante Nelson-Aalen y el test de tendencia de Laplace, además del uso de macros, lo que permite realizar un análisis, filtrado y orden en los datos de tiempo hasta una falla de cada máquina, con ello la herramienta puede proporcionar datos de confiabilidad, desconfiabilidad, los parámetros de Weibull, como son “beta” (β) y “eta” (η), así como el “tiempo

medio de buen funcionamiento” (MTBF), con una gráfica la *“tasa de fallos”*, esenciales para realizar un análisis de confiabilidad, así como se ejemplificó en el capítulo IV del presente proyecto, la herramienta también cuenta con funciones para la organización de informes con los datos para el análisis de confiabilidad, como son botones de generar informes en PDF, y exportar las gráficas en un tipo de archivo JPG, facilitando archivos de mayor comodidad para que el usuario estudie y analice la confiabilidad de sus equipos con ello la empresa puede llevar un registro de dichos análisis de forma ordenada y sencilla.

Palabras Claves:

Confiabilidad, Desconfiabilidad, Nelson-Aalen, Test de Laplace, Distribución de Weibull.

ABSTRACT

In the present project a computer tool was developed, focused on providing the user with the information and results necessary for a reliability analysis through a Weibull distribution, which can be applied to a vehicle fleet.

It began with a comparison study between different reliability models, from which the Weibull model was selected, due to its great versatility within the analysis of maintenance data in a variable time range. Once the model to be used was established, a data filtering study was carried out, using the Nelson-Aalen model in conjunction with the Laplace trend test.

Having the maintenance data provided by the company, it was possible to establish the different failure modes in different maintenance performed on the systems of each machine, such as the engine, transmission, steering, electrical system, hydraulic system and the chassis-bodywork, due to the size of the history of each machine, The analysis was made by means of a Pareto diagram for each grouping by type of machine of the company, with results of better understanding and easy study, from which it was obtained, that the Tractors, Loaders, Motor Graders and Backhoe Loaders, represent greater criticality and cost to the company.

Finally, after having the times to a failure, a computer tool was developed in the environment known as Visual Basic (VBA), within the Excel statistical program, for this purpose macros were used, which allows to perform an analysis, filtering and order in the data of time to a failure of each machine, with this the tool can provide reliability data, unreliability, the Weibull parameters, such as “beta” (β) and “eta” (η), as well as the “mean time of good operation” (MTBF), with a “failure rate” graph, essential to perform a reliability analysis, as exemplified in Chapter IV of this project, the tool also has functions for the organization of reports with the data for reliability

analysis, such as buttons to generate PDF reports, and export the graphs in a JPG file type, providing files of greater convenience for the user to study and analyze the reliability of their equipment with it the company can keep track of such analysis in an orderly and simple way.

Keywords:

Reliability, Unreliability, Nelson-Aalen, Laplace Test, Weibull Distribution.

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
2. PROBLEMA	3
2.1. Antecedentes	3
2.2. Importancia y Alcances	3
2.3. Delimitación	3
2.3.1. Delimitación Geográfica	3
2.3.2. Delimitación Temporal	4
3. OBJETIVOS	6
3.1. Objetivo General	6
3.2. Objetivos Específicos	6
4. CAPÍTULO I: ESTUDIO DE LA BASE ESTADÍSTICA QUE RIGE AL MODELO WEIBULL	7
4.1. Mantenimiento	7
4.1.1. Confiabilidad.....	8
4.1.2. Distribución de Weibull.....	13
4.1.3. Dos Parámetros	14
4.1.4. Tres Parámetros	14
4.1.5. Aplicaciones y ejemplos de Weibull.....	17
4.1.6. Método Nelson-Aalen.....	18

4.1.7.	Test de Laplace	20
4.2.	Análisis diagrama de Pareto	22
5.	CAPÍTULO II: MODOS DE FALLO EN LAS FLOTAS DE TRANSPORTE DE LA EMPRESA	24
5.1.	Organización de la empresa	24
5.2.	Procesos para el Mantenimiento	25
5.3.	Descripción de los Equipos	26
5.3.1.	Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2656	26
5.3.2.	Categorías	26
5.3.3.	Categoría N	26
5.3.4.	Categoría O	28
5.4.	Flota Vehicular de la Empresa	29
5.4.1.	Recopilación de información	30
5.4.1.1.	Clasificación en sistemas y subsistemas.....	30
5.4.1.2.	Análisis de los datos procesados	31
6.	CAPÍTULO III: MODELADO DE LA HERRAMIENTA INFORMÁTICA.....	37
6.1.	Diagramas de flujo	37
6.2.	Desarrollo de la Herramienta Informática.....	38
6.3.	Funcionamiento de Botones dentro de la Interfaz.....	44
6.3.1.	Exportar a PDF	44

6.3.2.	Exportar Gráficos	45
6.3.3.	Limpiar Tabla.....	46
7.	CAPÍTULO IV: VALIDACIÓN LA HERRAMIENTA INFORMÁTICA	49
7.1.	Caso I: Curva de la Bañera Fase de Mortalidad Infantil	49
7.2.	Caso II: Curva de la Bañera Fase de Vida Útil	54
7.3.	Caso III: Curva de la Bañera Fase de Envejecimiento.....	56
7.4.	Caso Especial	60
8.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	63
8.1.	Conclusiones	63
8.2.	Recomendaciones.....	65
9.	ANEXOS.....	66
9.1.	Anexo 1	66
9.2.	Anexo 2	68
9.3.	Anexo 3	69
9.4.	Anexo 3	69
10.	BIBLIOGRAFÍA	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ejemplo de la Distribución Normal.....	10
Figura 2 Ejemplo de la Distribución Lognormal	11
Figura 3 Ejemplo de la Distribución Exponencial.....	12
Figura 4 Ejemplo de la Distribución Weibull con Valores de Forma	12
Figura 5 Curva de la Bañera	13
Figura 6 Distribución de Weibull con un Valor Umbral a 0,5 y 10	14
Figura 7 Distribución de Weibull con Diferentes Valores de Escala	15
Figura 8 Ejemplo Diagrama de Pareto – Curva ABC.....	23
Figura 9 Diagrama de Pareto para la Maquinaria de la Empresa – Curva ABC	35
Figura 10 Interfaz General del Programa de Confiabilidad.....	39
Figura 11 Módulos del Programa	40
Figura 12 Tasa de Fallas del Tractor 3 KOMATSU D85A.....	50
Figura 13 Tasa de Fallas del Rodillo 14 Ingersoll Rand DD90.....	55
Figura 14 Tasa de Fallas del Tractor 25 Caterpillar D7R.....	57

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Cronograma de Actividades.....	5
Tabla 2 Tipos de Mantenimiento	7
Tabla 3 Comparativa de Modelos de Distribución	9
Tabla 4 Tipos de Sistemas	21
Tabla 5 Procedimiento Para Seguir para el Mantenimiento de las Flotas	25
Tabla 6 Categorías de Vehículos Según la Normativa NTE INEN 2656	26
Tabla 7 Categoría N Según la Normativa NTE INEN 2656.....	27
Tabla 8 Categoría O Según la Normativa NTE INEN 2656.....	28
Tabla 9 Número de Unidades de la Flota Vehicular de la Empresa	30
Tabla 10 Sistemas y Subsistemas.....	30
Tabla 11 Datos Acumulados de la Cargadora 11 Caterpillar 950F	32
Tabla 12 Número de Fallas y Porcentaje de Costos Acumulados para cada Máquina de la Empresa	34
Tabla 13 Componentes del Diagrama de Flujo.....	37
Tabla 14 Resultados de Confiabilidad Tractor 3 KOMATSU D85A.....	49
Tabla 15 Resultados de los Parámetros de Weibull del Tractor 3 KOMATSU D85A.....	50
Tabla 16 Resultados de Confiabilidad del Rodillo 14 Ingersoll Rand DD90	54
Tabla 17 Resultados de los Parámetros de Weibull del Rodillo 14 Ingersoll Rand DD90	54
Tabla 18 Resultados de Confiabilidad del Tractor 25 Caterpillar D7R.....	56
Tabla 19 Resultados de los Parámetros de Weibull del Tractor 25 Caterpillar D7R.....	57
Tabla 20 Horas de Trabajo y Mantenimiento Realizado en el Tractor 3 KOMATSU D85A-12	67
Tabla 21 Horas de Trabajo y Mantenimiento Realizado en el Rodillo 14 Ingersoll Rand DD90	68

Tabla 22 Horas de Trabajo y Mantenimiento Realizado en el Tractor 25 Caterpillar D7R 69

Tabla 23 Comparación Confiabilidad Método Weibull y Crow Amsaa para el Tractor 3 Caterpillar

D7R..... 70

ÍNDICE DE ESQUEMAS

Esquema 1 Organización de la Empresa.....	24
Esquema 2 Diagrama de Flujo para el Ingreso de Datos Referentes a la Descripción de la Maquinaria	41
Esquema 3 Diagrama de Flujo del Ingreso de Número de Datos	42
Esquema 4 Diagrama de Flujo del Orden de Datos de Tiempos Antes de la Falla	42
Esquema 5 Diagrama de Flujo de Test de Tendencia de Laplace	43
Esquema 6 Diagrama de Flujo de la Pantalla Distribución de Weibull.....	44
Esquema 7 Diagrama de Flujo de la Exportación a PDF	45
Esquema 8 Diagrama de Flujo de la Exportación de Gráficos	46
Esquema 9 Diagrama de Flujo de la Limpieza de Tabla	47

1. INTRODUCCIÓN

La aparición del término confiabilidad tuvo fue notable en la década de los años cuarenta, en perspectiva desde la segunda guerra mundial, puesto que la crisis del petróleo de aquella época, generó grandes cambios en la economía del mundo, lo que dejó en liderazgo a aquellas empresas que tenía por sobre la productividad en masa, una ideología de calidad y confiabilidad en sus productos, ganando así a pasos agigantados terreno en el mercado, ya que al aplicar la confiabilidad en profundidad para gran variedad de elementos y en toda la industria, denotaba una imagen de confianza para los clientes, así como el incremento en las ganancias que antes se perdían por falta de un orden o referencia en cuanto a mantenimientos basados en calidad, o incluso la inexistencia de estimaciones en número de repuestos para la maquinaria de la empresa, resultando en un declive fatal de la industria.

Por ello, en el presente proyecto se desarrollará una herramienta informática cuyo propósito es el de brindar los datos e información necesaria para realizar un análisis de confiabilidad en una flota vehicular. Para ello se realizará en primera instancia un análisis bibliográfico referente al mantenimiento y confiabilidad en equipos, así como la importancia del registro de los tiempos entre mantenimiento o hasta un fallo, y los modelos que ayudan a obtener estos datos. En base a estos se profundizarán diferentes modelos para determinar la confiabilidad de los equipos, como pueden ser los modelos Normal, Lognormal, Exponencial y Weibull, resaltando entre ellos el modelo de Weibull, ya que utiliza parámetros característicos, que le ayudan a ajustarse a una gran variedad de modelos, es decir que no se limita a determinar la confiabilidad con datos de un solo elemento o equipo ya sea reparable o no reparable sino que lo que generaliza, y calcula acoplándose al funcionamiento de los diversos modelos existentes. Con ello se analizarán los diferentes fallos o mantenimientos de los historiales de datos recopilados de cada maquinaria

seleccionada de la flota vehicular de la empresa, determinando así los equipos de mayor criticidad y que necesitan una atención y solución inmediata.

Una vez realizado este análisis, se procederá con el desarrollo de la herramienta informática para el estudio de la confiabilidad, utilizando un software de fácil acceso como Excel, facilitando a la empresa una herramienta accesible y amigable con el usuario, programada para trabajar con sistemas reparables como lo es una flota vehicular y con una interfaz intuitiva para cualquier usuario, partiendo desde un ingreso de datos sobre el equipo a analizar, permitiendo obtener resultados sobre confiabilidad, densidad de fallas, tasa de fallas y tiempos de buen funcionamiento que son útiles para que las empresas puedan llevar un control a los equipos que sean críticos durante su funcionamiento y con ello se proporcionarán funciones extra, como lo es la exportación de estos informes en un formato PDF, así como la exportación de gráficas en formato JPG, esto facilitará el estudio de la confiabilidad así como el orden de los reportes.

2. PROBLEMA

2.1. Antecedentes

Muchas de las veces por falta de datos se recurren a técnicas estadísticas que pueden simplificar el cálculo de la confiabilidad, como es la distribución exponencial o distribución normal, de acuerdo a esto se ve necesario realizar una investigación para plantear herramientas mucho más completas en cuanto al análisis de la confiabilidad, como es el caso de la distribución de Weibull, permitiendo así abarcar un número mayor de modos de fallo considerando los tiempos de reparación y buen funcionamiento. Además, las herramientas informáticas disponibles tienen un coste asociado, que en muchas de las ocasiones se convierten en inversiones que las empresas de transporte no están dispuestas asumir.

2.2. Importancia y Alcances

El presente proyecto enfocado al estudio de la confiabilidad es de suma importancia para las empresas que cuentan con flotas de transporte y que llevan un registro de cada uno de los mantenimientos realizados y las fallas que se tuvieron a través del tiempo, pero no han sido capaces de poder abordar temas de confiabilidad para conocer el tiempo determinado que trabajará un equipo sin presentar ningún inconveniente.

Este proyecto con la finalidad de crear una herramienta pretende que el usuario pueda realizar un análisis de confiabilidad en su empresa de forma sencilla y cómoda, con ello mejorando la calidad de sus actividades de mantenimiento, elevando así la confiabilidad de sus flotas.

2.3. Delimitación

2.3.1. Delimitación Geográfica

El presente trabajo se lo realizará en la ciudad de Cuenca, en la provincia de Azuay.

2.3.2. Delimitación Temporal

Para el presente trabajo, se tiene un período comprendido entre abril del 2022 y agosto del 2022 siguiendo un cronograma de actividades que se presentan a continuación en la tabla 1.

Tabla 1*Cronograma de Actividades*

CRONOGRAMA						
ACTIVIDADES	MESES	SUBACTIVIDADES				
		1	2	3	4	
Realizar un estudio de la base estadística que rige el modelo de Weibull para estudio de la confiabilidad	Recopilación de información sobre modelos de análisis de confiabilidad con enfoque en el modelo de Weibull	X	X			
	Análisis de la base teórico-estadística para la aplicación del modelo de Weibull en el estudio de la confiabilidad		X	X		
Identificar los diferentes modos de fallo asociados a los activos físicos en flotas de transporte	Recolección de datos en base a los registros de fallos de los activos físicos en flotas de transporte			X	X	
	Crear una interfaz de ingreso y filtrado de datos específicos para el modelo de Weibull			X	X	X
Modelar una herramienta informática para el cálculo de la confiabilidad en flotas de transporte	Programar las expresiones matemáticas utilizadas en el modelo de Weibull				X	X
	Ejecutar la herramienta informática mediante los datos recolectados de los activos físicos en flotas de transporte					X
Validar la herramienta informática, mediante la aplicación de un caso de estudio	Análisis de resultados obtenidos mediante el modelo y verificar la mejor resolución para la empresa escogida como caso de estudio					X
						X

3. OBJETIVOS

3.1.Objetivo General

Desarrollar una herramienta informática para el estudio de la confiabilidad en flotas de transporte basado en el método de Weibull.

3.2.Objetivos Específicos

- Realizar un estudio de la base estadística que rige el modelo de Weibull para estudio de la confiabilidad.
- Identificar los diferentes modos de fallo asociados a los activos físicos en flotas de transporte.
- Modelar una herramienta informática para el cálculo de la confiabilidad en flotas de transporte.
- Validar la herramienta informática, mediante la aplicación de un caso de estudio.

4. CAPÍTULO I: ESTUDIO DE LA BASE ESTADÍSTICA QUE RIGE AL MODELO

WEIBULL

4.1.Mantenimiento

Se puede definir al mantenimiento como el conjunto de actividades que se realizan con la finalidad de que una máquina, sistema o equipo, vuelva a estar en su estado operativo óptimo, en otras palabras, el mantenimiento de un equipo es equiparable a la reparación del mismo a un correcto funcionamiento, según Valera y Valdsher (2016) “El mantenimiento en una empresa es el responsable de mantener en funcionamiento eficaz y eficiente los equipos, con el fin de mantener o incrementar la productividad del mismo, y de esta manera disminuyendo las paradas innecesarias y costosas” (pág. 7).

A continuación, en la tabla 1, se muestran los distintos tipos de mantenimiento que se aplican en la industria.

Tabla 2

Tipos de Mantenimiento

Tipos de Mantenimiento	Características	Ejemplos
Mantenimiento Preventivo	<p>Se utiliza para reducir la probabilidad de que ocurra un fallo en algún elemento o sistema</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sistemático: Se realiza según un cronograma en función del tiempo • Predictivo: Se enfoca en prevenir un acontecimiento determinado 	<ul style="list-style-type: none"> • Limpiar los equipos constantemente para minimizar suciedad y polvo • Lubricar piezas o elementos necesarios, para evitar pronto desgastes • Cambio de aceite, refrigerante, etc. En base a un cronograma establecido
Mantenimiento Correctivo	<ul style="list-style-type: none"> • Se reparan los fallos al momento de que suceden • Se basa en una intervención rápida a un fallo • Genera gran gasto económico 	<p>Se ejemplifican por nivel de importa</p> <ul style="list-style-type: none"> • Reemplazo de bombillas • Reemplazo inmediato de una rotura de banda • Reparación de fugas de aceite, refrigerante, etc • Cambio de piezas del motor
Mantenimiento Modificativo	<ul style="list-style-type: none"> • Son las acciones que se realizan por el mantenimiento 	<ul style="list-style-type: none"> • Acoplamiento de accesorios • Reconstrucción de equipos

-
- Modifica instalaciones, máquinas, herramientas, etc. Para mejorar la fiabilidad y el rendimiento del equipo
 - Reacondicionamiento de la instalación para buen funcionamiento de equipos
 - Instalación de nuevos equipos
-

4.1.1. Confiabilidad

El término confiabilidad se aplicó en la industria alrededor de 1941-1950 después de la segunda guerra mundial, como una metodología para poder evaluar el número de repuestos necesarios para un conjunto de equipos mecánicos y electrónicos, Valera y Valdsher (2016) definen a la confiabilidad como “La probabilidad que posee un sistema o máquina de trabajar en un tiempo determinado, sin presentar inconvenientes, se mide esta probabilidad en base a un tiempo promedio de trabajo para las fallas del equipo” (pág. 18).

El análisis de confiabilidad entonces, es el estudio preventivo en el diagnóstico de la disponibilidad y el factor de servicio que puede entregar un proceso o equipo en diversas condiciones de trabajo asignadas, referente a un periodo de tiempo establecido, buscando así una caracterización del estado de un equipo, para ello existen distintos métodos para el análisis de confiabilidad, como lo son la distribución: Normal, Lognormal, Exponencial y Weibull, de entre ellos el más utilizado es la distribución de Weibull para obtener una probabilidad con base en datos de tiempo y fallo en máquinas, realizando además el trabajo de las distribuciones antes mencionadas, utilizando una función de confiabilidad, según Montoya & Martínez (2015) “La función de confiabilidad ayuda a conseguir un valor de probabilidad de ocurrencia de un evento de interés después de un tiempo de estudio t_0 ” (pág. 16).

Tabla 3

Comparativa de Modelos de Distribución

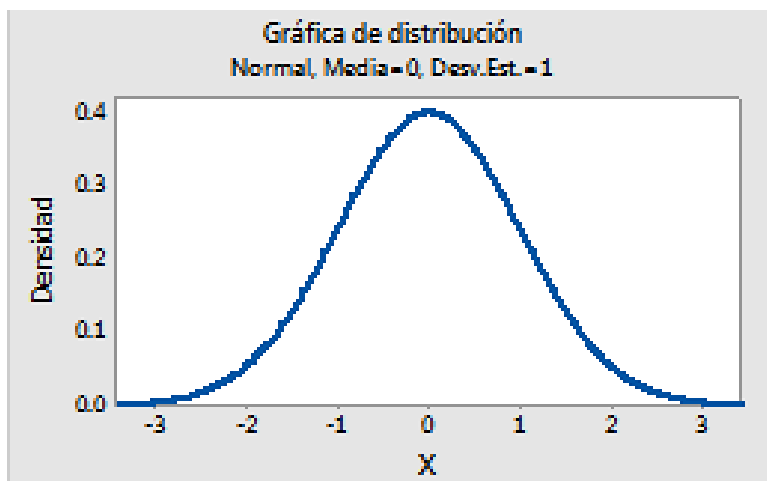
Distribución	Características	Ecuación	Aplicación
Normal	<ul style="list-style-type: none"> Utiliza dos parámetros la media y desviación estándar El análisis lo realiza en la fase de desgaste por edad del componente 	<p>Función de Confiabilidad</p> $R(t) = \int_t^{\infty} \frac{1}{\sigma * \sqrt{2 * \pi}} e^{-\frac{(t-\mu)^2}{2 * \sigma^2}} dt$ <p>Función de Densidad de Probabilidad de Falla</p> $f(t) = \frac{1}{\sigma * \sqrt{2 * \pi}} e^{-\frac{(t-\mu)^2}{2 * \sigma^2}} dt$ <p>Función de Tasa de Falla</p> $\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)}$	Generalmente utilizado para distribuciones de vida en sistemas que están sometidos a trabajos, esfuerzos o cargas grandes
Lognormal	<ul style="list-style-type: none"> Los tiempos de reparación se ajustan a este modelo Permite detectar periodos en donde las reparaciones no se realizan según lo proyectado 	<p>Función de Confiabilidad</p> $R(t) = \int_t^{\infty} \frac{1}{t_j \sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln(t_j) - \mu)^2}{2 * \sigma^2}} dt$ <p>Función de Densidad de Probabilidad de Falla</p> $f(t) = \frac{e^{-\frac{(\ln(t_j) - \mu)^2}{2 * \sigma^2}}}{t_j \sigma \sqrt{2\pi}}$ <p>Función de Tasa de Falla</p> $\lambda(f_j) = \frac{f(t_j)}{R(t_j)}$	Utilizado normalmente en el estudio de distribución de vida de materiales referentes a la fatiga de los mismo y para representar la vida útil de componente electrónicos
Exponencial	<ul style="list-style-type: none"> Permite estudiar tasas de fallas que son constantes en la vida útil de la máquina o elemento Ocurrencia de averías aleatorias 	<p>Función de Confiabilidad</p> $R(t) = \exp(-\lambda * t)$ <p>Función de Densidad de Probabilidad de Falla</p> $f(t) = \lambda * e^{-\lambda * t}$ <p>Función de Tasa de Falla</p> $\lambda(t) = \lambda = \theta^{-1}$	Utilizado en estudios de distribución de vida en sistemas más complejos y que no se pueden reparar, o también en sistemas de rodaje
Weibull	<ul style="list-style-type: none"> Permite estudiar mantenibilidad y 	Función de Confiabilidad	Utilizado en estudios de confiabilidad para

<p>confiabilidad de cualquier equipo</p> <ul style="list-style-type: none"> • Su distribución se realiza utilizando historiales cortos de fallas 	$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$ <p>Función de Densidad de Probabilidad de Falla</p> $f(t) = \frac{\beta}{\eta} * \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} * e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$ <p>Función de Tasa de Falla</p> $\lambda(t) = \frac{\beta * (t - \gamma)^{\beta-1}}{\eta^\beta}$	<p>distribuciones de diversos elementos mecánicos como rodamientos, motores, sistemas de traslación, etc</p>
---	--	--

La comparativa antes mostrada expresa distintas características de los modelos que se utilizan con mayor frecuencia en materia de confiabilidad, cada una de ellas tienen sus propias ecuaciones características en base a la estadística descriptiva, utilizando ecuaciones logarítmicas o exponenciales, sin embargo de entre estos modelos uno resalta, el modelo de Weibull, por su principio de estudio es caracterizado por 3 parámetros: escala, valor umbral y de forma, siendo este último el que da preferencia al modelo de Weibull sobre sus similares presentadas en la figura 1 la misma que explica una distribución continua que es dada por la media y la desviación estándar que determina la dispersión de la distribución.

Figura 1

Ejemplo de la Distribución Normal

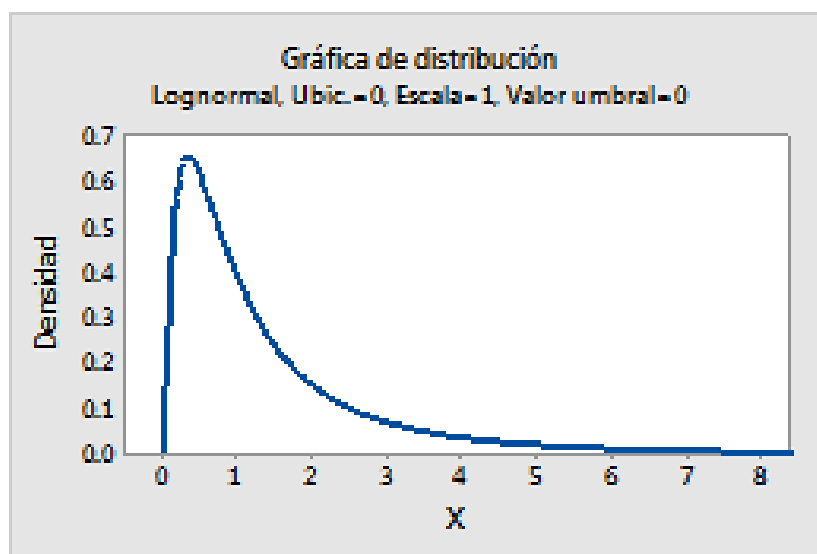


Nota. Reproducida de Distribución Normal, de Soporte Minitab, 2017 (www.support.minitab.com)

En la figura 2 se presenta una distribución lognormal, como su nombre mismo lo indica, es una distribución con un logaritmo normalmente distribuido que es flexible, al ser una distribución con una probabilidad continua utiliza datos que son simétricos, es decir, que existen el mismo número de datos tanto para la izquierda como para la derecha de la media, o asimétricos a la derecha, también conocidos como datos de asimetría positiva, es decir, son datos mayores a cero.

Figura 2

Ejemplo de la Distribución Lognormal

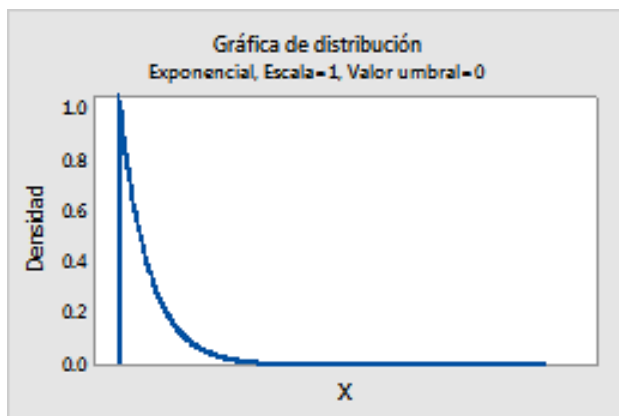


Nota. Reproducida de Distribución Lognormal, de Soporte Minitab, 2017 (www.support.minitab.com)

Para modelar tiempos de espera antes de que ocurra un evento se utiliza la distribución exponencial presentada en la figura 3, esta tiene la desventaja de “*pérdida de memoria*” o también conocida como amnesia de la distribución, por lo tanto, un evento no depende de ensayos anteriores, es decir, los eventos que se esperan tener de algún componente no influyen en el tiempo que llevan funcionando, esta distribución se define por los parámetros de escala y valor de umbral que al ser positivo tiene un desplazamiento hacia la derecha.

Figura 3

Ejemplo de la Distribución Exponencial

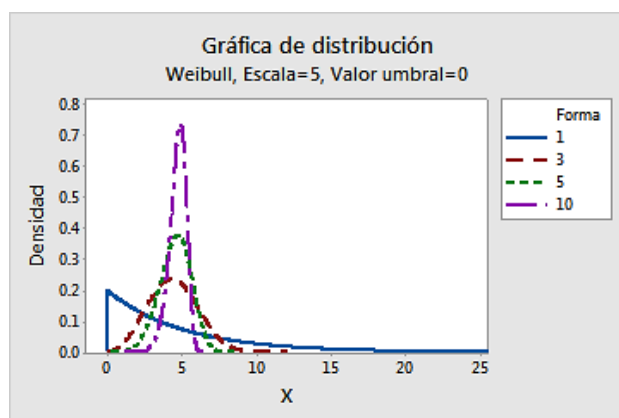


Nota. Reproducida de Distribución Loglogística, de Soporte Minitab, 2017 (www.support.minitab.com)

Para la distribución de datos se cuenta con los valores de forma que tiene la distribución de Weibull presentada en la figura 4, estos valores pueden aproximar a una curva normal, una curva con asimetría a la derecha o una curva con asimetría a la izquierda.

Figura 4

Ejemplo de la Distribución Weibull con Valores de Forma

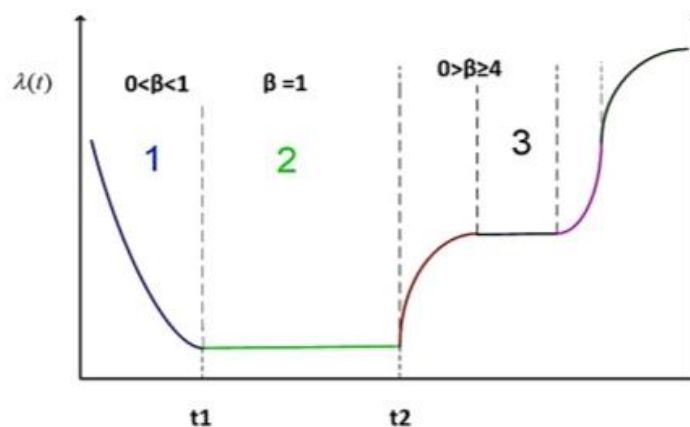


Nota. Reproducida de Efecto de Parámetro de Forma, de Soporte Minitab, 2017 (www.support.minitab.com)

Como se pudo observar en las figuras: 1, 2, 3 y 4, al variar el parámetro de forma, la distribución de Weibull adopta distintas formas similares a las otras distribuciones antes mencionadas, es por ello que el modelo de Weibull resulta ser el de mayor utilidad gracias a sus parámetros puede asimilar el funcionamiento otros modelos estadísticos de distribución y por ende se ajusta a cualquier fase de la curva de bañera presentada en la figura 5 que representa 3 zonas: “*mortalidad infantil*” señalada como 1, “*vida útil*” señalada como 2 y “*envejecimiento*” señalada como 3, siendo la única distribución que puede representar tanto confiabilidad como mantenibilidad en cualquier equipo.

Figura 5

Curva de la Bañera



Nota. Reproducida de Curva de la Bañera Weibull (p. 17), por L. Agualongo, 2019.

4.1.2. Distribución de Weibull

Esta distribución es utilizada con gran frecuencia para modelar datos de fiabilidad, en base al tiempo de la falla por el número de fallas, por su versatilidad frente a otros modelos existentes, permitiendo modelar varias aplicaciones tanto en ingeniería automotriz, mecánica como en el control de calidad, dicho esto, la distribución de Weibull utiliza en principio tres parámetros específicos lo que le ayuda ajustarse a otras distribuciones como la normal, lognormal y

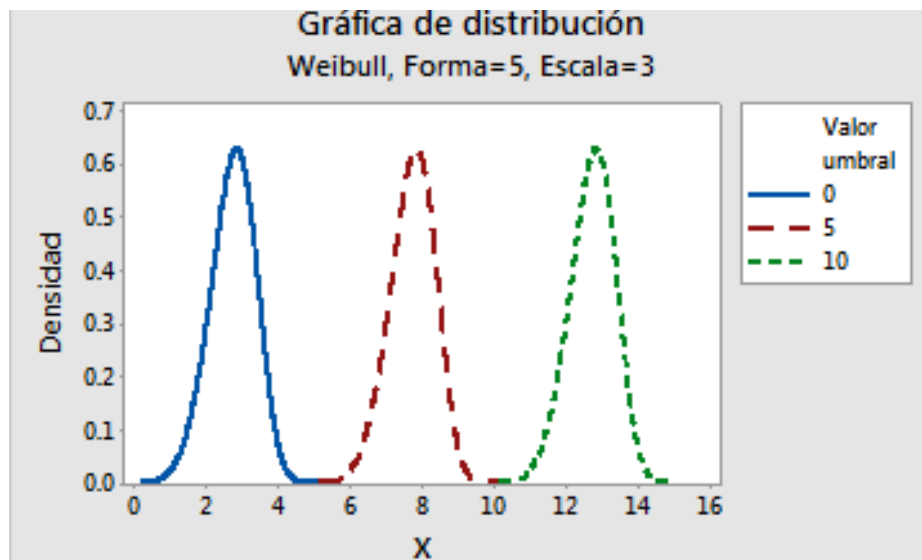
exponencial, con ello para el modelo de Confiabilidad de Weibull, se tienen los siguientes modelos:

4.1.3. Dos Parámetros

Cuando el valor umbral es 0, este valor indica un movimiento o desplazamiento en la distribución, de esta forma si el umbral tiene valores positivos la gráfica se desplaza a la derecha y si tiene valores negativos la gráfica se desplaza hacia a derecha como se muestra en la figura 6. En perspectiva, ya que el tiempo se encuentra en el eje de las abscisas el valor umbral indicaría el origen de los tiempos en la distribución.

Figura 6

Distribución de Weibull con un Valor Umbral a 0,5 y 10



Nota. Reproducida de Efecto de Parámetro de Valor Umbral, de Soporte Minitab, 2017 (www.support.minitab.com)

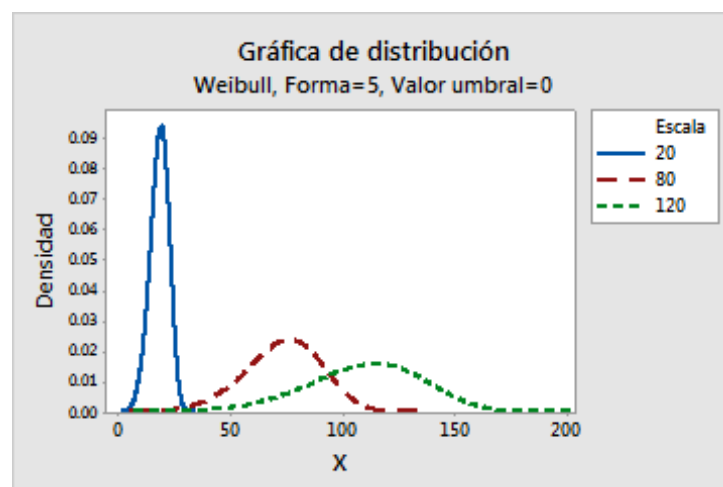
4.1.4. Tres Parámetros

Como su nombre indica, se utilizan los tres parámetros que conforman a Weibull, se deben tener en cuenta que:

- Parámetro de forma:** Indica la manera en la que están distribuidos los datos, valores de forma bajos como 1 representan una curva con asimetría a la derecha similar a la distribución exponencial, valores medios como 5 representan una curva similar a la distribución normal, y valores altos como 10 representan una curva con asimetría a la izquierda, de otra perspectiva se puede ver al parámetro con las siguientes características:
 - $\beta < 1$ para tasas de falla decreciente – indica que el sistema es feliz
 - $\beta = 1$ para tasas de falla constante.
 - $\beta > 1$ para tasas de fallas creciente – indica que el sistema es triste
- Parámetro de escala:** Como se presenta en la figura 7 se puede observar la posición de la curva de Weibull con respecto al valor umbral, también es conocida como vidas características, asimila la forma en la que la media indica la posición de una curva en la distribución normal.

Figura 7

Distribución de Weibull con Diferentes Valores de Escala



Nota. Reproducida de Efecto de Parámetro de Escala, de Soporte Minitab, 2017 (www.support.minitab.com)

- **Valor umbral:** Indica el origen de los tiempos, puede tomar datos desde 0 como se aprecia en la figura 6, hacia adelante valores positivos o hacia atrás valores negativos, partiendo de ello el parámetro.

Con ello la distribución de Weibull representa la probabilidad de fallo después de un tiempo $f(t)$, en función del tiempo transcurrido en el análisis, o de otra forma se puede ver como $R(t)$ que es la probabilidad de que los componentes o elementos sobrevivan en el tiempo establecido de análisis, las siguientes ecuaciones describen el funcionamiento de la distribución de Weibull:

- Función de Confiabilidad

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad [1]$$

- Función de densidad de probabilidad de Falla

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} * \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} * e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad [2]$$

- Función de Tasa de Falla

$$\lambda(t) = \frac{\beta * (t-\gamma)^{\beta-1}}{\eta^\beta} \quad [3]$$

Donde:

- t = Instante de tiempo de análisis.
- η = Parámetro de escala o conocido como vida característica.
- β = Parámetro de forma o inclinación.
- γ = Parámetro de localización o vida mínima.
- Si $\gamma = 0$ entonces la fórmula pasa a ser de 2 parámetros:

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} * \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} * e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad [4]$$

Con estos parámetros se puede determinar mediante la fórmula de Weibull lo que se conoce como función de densidad o distribución de Weibull y con ello se puede determinar la confiabilidad de un elemento determinando.

4.1.5. Aplicaciones y ejemplos de Weibull

Como se mencionó anteriormente la distribución de Weibull por sus características se acopla a cualquier fase de la curva de la bañera y asimila las curvas de otras funciones de confiabilidad, lo que incrementa la gama o repertorio de aplicaciones en las que puede ser utilizada, a continuación, se comentan algunas de ellas dentro de la ingeniería:

- Se puede aplicar al esforzar a un alto nivel de condensadores para obtener datos de falla en horas de los equipos, indicando que al iniciar el trabajo de los equipos todos se encuentran en buenas condiciones y conforme pasa el tiempo, la confiabilidad va disminuyendo, de tal forma que se observa cuan confiable es el producto.
- La distribución de Weibull se puede utilizar para modelar las horas que pasan hasta la falla de una bombilla o elementos eléctricos, lo cual permite garantizar el tiempo de funcionamiento de algún producto e identificar la calidad de este hasta el fin de su vida útil.
- Se puede utilizar la distribución de Weibull en sistemas de radar para simular la dispersión de la señal recibida.
- Para modelar procesos que no se pueden predecir, es decir, procesos aleatorios relacionados con el tiempo de fabricación y distribución de bienes.
- Puede proporcionar un modelo eficaz para las fallas de rodamientos, ejes, o en general elementos mecánicos sometidos a fatiga, en materia de resistencia de los materiales.

- Todo ello puede permitir al modelo de Weibull el desarrollo de programas de mantenimiento preventivo de las instalaciones, flotas de vehículos, máquinas estacionarias o en general activos de una empresa.

4.1.6. Método Nelson-Aalen

Existen técnicas específicas utilizadas en el ámbito estadístico para solucionar distintos problemas referentes a la selección de datos específicos que se desean utilizar en un programa, como puede ser en un modelo que ayude a determinar la confiabilidad de distintos elementos o máquinas. “El método Nelson-Aalen es una técnica no paramétrica utilizada para resolver el problema de que los datos no se ajusten a una distribución como son (Normal, Lognormal, Exponencial y Weibull) y, por tanto, no dependen de ningún parámetro” (Barrenechea, 2018, pág. 25).

Las técnicas no paramétricas como el método Nelson-Aalen son utilizadas para realizar un análisis previo, es decir, pueden analizar un grupo de datos para ayudar a elegir un modelo de distribución como los antes mencionados, según Barrenechea (2018) “De esta manera es mucho más fácil estudiar un grupo de datos porque se puede predecir una distribución que se ajustan los datos, o en un caso opuesto, las técnicas no paramétricas proporcionan herramientas para estudiar datos que no se ajustan a ningún modelo” (pág. 25).

En base a esto no es imposible pensar que una técnica no paramétrica como el método Nelson-Aalen enfocado en el estudio del análisis de tiempos de vida, puede ser utilizado para filtrar o seleccionar de un grupo grande de datos, solo los que se puedan utilizar para un modelo característico como puede ser la distribución de Weibull, separando o censurando así datos que no son necesarios o que simplemente no cumplen los requisitos característicos para el modelo antes

mencionado, transformándose así en un filtrado de datos específicos para un modelo de confiabilidad deseado.

En principio se necesita conocer la aplicación del método Nelson-Aalen en el estudio de la confiabilidad, teniendo así una expresión considerada como una suma de probabilidades para un fallo en un intervalo $(0, t]$, de la siguiente forma:

$$\hat{H}(t) = \sum_{j:t_{(j)} \leq t} \frac{d_j}{n_j} \quad [5]$$

Dónde:

- d_j es el número de fallos en un tiempo t .
- n_j es el número de sujetos en riesgo en un tiempo t .
- $\frac{d_j}{n_j}$ estima la probabilidad de que un componente falle antes del instante t .

Para ilustrarlo, se cuenta tanto con el número de fallas $N(t)$ versus el tiempo antes de la falla T_i tal como se presenta en la tabla 2, se tiene que tomar en cuenta si la función es cóncava la cual representa un “*sistema feliz*” la misma que indica que el número de fallas en principio crece hasta llegar a un punto en el que empieza a decrecer con respecto al tiempo, convexa la cual representa un “*sistema triste*” en la que el número de fallas tiene un crecimiento exponencial, o “*constante*” cuando sus tasas de fallos crecen en el tiempo.

Se debe tomar en cuenta que si a un equipo se le brinda a un tipo de mantenimiento el mismo volverá a tener la máxima fiabilidad $R(t)=1$, misma fiabilidad que se puede ilustrar antes del mantenimiento ya sea preventivo o correctivo. Si los valores de fiabilidad son cambiantes en función del tiempo se tiene que revisar nuevamente las planificaciones de mantenimiento preventivo, los mantenimientos correctivos también influyen dentro de la fiabilidad de Nelson-Aalen causando dispersiones dentro de la misma.

4.1.7. Test de Laplace

Para los sistemas reparables, se trata de buscar una tendencia que se relaciona con la tasa de fallas, para lo cual, se tiene el test de Laplace también conocido como prueba de tendencia de Laplace misma que permite detectar tendencias en los datos que tienen tiempos sucesivos de un histórico de datos, por lo tanto, los tiempos de falla se obtienen de una prueba terminada en el tiempo y se representa matemáticamente de la siguiente forma:

$$u = \sqrt{12N(t_n)} \left(\frac{\sum_1^n t_i}{T \cdot N(t_n)} - 0.5 \right) \quad [6]$$

Dónde:

- $N(t_n)$ es el número total de fallas observadas en el tiempo t_n .
- t_i es el tiempo de funcionamiento de un elemento reparable en la falla i -ésima.
- T es el tiempo final de la observación.

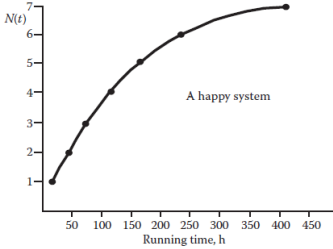
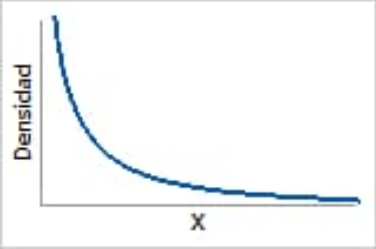
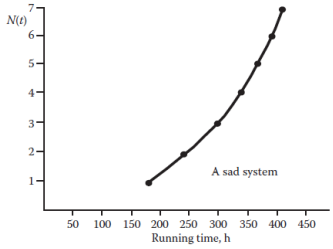
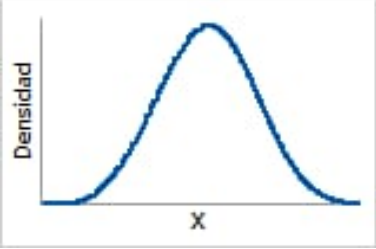
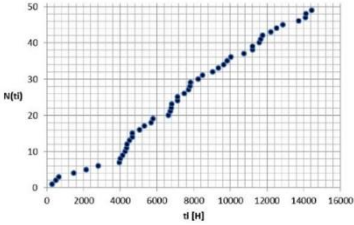
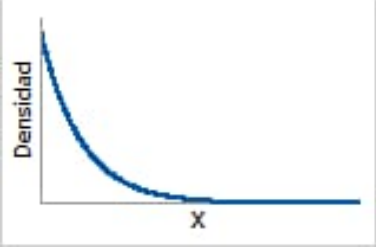
En la tabla 3 se presentarán los resultados que se pueden obtener del test: cuando son notablemente pequeños, es decir, menores a cero (negativos), indica que existen un crecimiento de la confiabilidad, en cambio, cuando los resultados son notablemente grandes, es decir, mayores a cero (positivos), indican que existen un deterioro de la confiabilidad, por lo tanto, el análisis para Weibull se lo realizará en los tiempos entre fallas ($t_i - t_{i-1}$) en dónde $i = 1$ hasta n .

Si la tendencia termina en un evento de falla, en el tiempo t_n , se conoce como conjunto de datos terminados en falla, para este conjunto de datos se utiliza el estadístico de prueba de datos que terminan en falla que se presenta a continuación:

$$u = \sqrt{12N(t_{n-1})} \left(\frac{\sum_1^{n-1} t_i}{t_n \cdot N(t_{n-1})} - 0.5 \right) \quad [7]$$

Tabla 4

Tipos de Sistemas

Tipo de Sistema	Gráfica según Nelson-Aalen	Gráfica según Weibull	Aplicación a Weibull	Test de Laplace
Feliz	 <p>A happy system</p>		No aplica	Los datos no se ajustan correctamente a Weibull $U < -1,645$
Triste	 <p>A sad system</p>		No aplica	Los datos no se ajustan correctamente a Weibull $U > 1,645$
Constante			Si aplica	Los datos se ajustan correctamente a Weibull, si: $-1,645 < U < 1,645$

4.2. Análisis diagrama de Pareto

El diagrama de Pareto es una metodología o herramienta que ayuda a localizar un problema principal, como puede ser el fallo de mayor frecuencia o criticidad de una máquina, aportando información para determinar la causa más importante de éste, en base a esto (Bolaños, 2019) comenta que “El principio de Pareto se conoce como la ley del 80 – 20%, en donde el 80% son efectos generados por el 20% de los factores” (pág. 4). La idea de este principio de Pareto se puede aplicar a distintas etapas, áreas o procesos de la vida, y para el presente proyecto este se toma con la idea de focalizar los defectos o fallas de mayor frecuencia y criticidad, y solucionarlos con la mayor rapidez posible, es de importancia recalcar que este diagrama solo puede analizar una variable a la vez, en materia de confiabilidad, estos pueden ser cantidad de fallas, costos de repuesto, costo de mantenimiento, costo de falla, tiempo de reparación, etc.

Según (Izar & González, 2022) Para elaborar un Diagrama de Pareto se deben seguir los siguientes pasos:

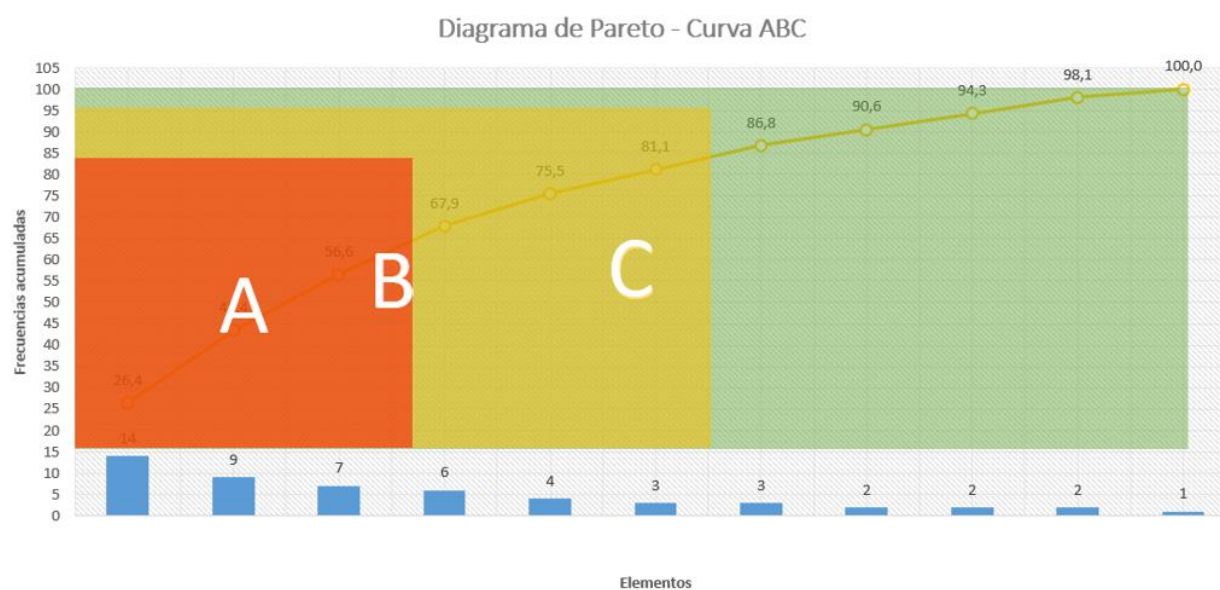
- Identificar el problema a solucionar.
- Identificar datos o causas más representativas del problema.
- Realizar una tabla para los datos a recopilados.
- Ordenar la lista de datos de mayor a menor.
- Determinar los porcentajes que representan cada dato ordenarlos en una columna.
- Realizar un histograma, mostrando la cantidad de eventos para cada causa (falla) vs los elementos a los que se les hace referencia dichas fallas.
- Seleccionar las causas más representativas según la ley 80-20%.

Obteniendo así un diagrama de Pareto, representado en la figura 8 con un ejemplo de equipos cualquiera, y que mediante una división dada por la curva ABC, permite identificar con

mayor facilidad las zonas de mayor impacto referentes a los equipos con mayor número de fallas o con mayor nivel de criticidad, siendo la zona A que representa la zona con mayor criticidad, la zona B que representa los elementos que no representan un nivel crítico alto pero si considerable y por último la zona C que representa los elementos menos críticos, en base a ello en la figura 8, se puede observar que en la zona A alrededor del 20% de fallos representan un 80% de costos para la empresa, de tal forma que se deben considerar como prioridad a solucionar, sin embargo es importante recalcar que los fallos en la zona B, al representar un 30% de fallos y 15% de cotos para la empresa también se deben tomar en cuenta con prioridad menor pero relevante, para un mejor funcionamiento y reducción de costos por fallos en la empresa.

Figura 8

Ejemplo Diagrama de Pareto – Curva ABC



Nota. Realizada por los autores.

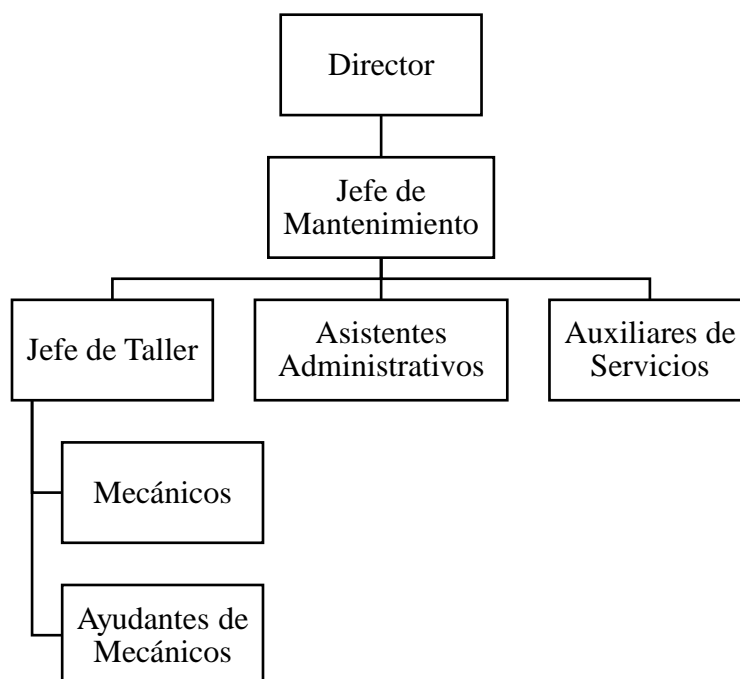
5. CAPÍTULO II: MODOS DE FALLO EN LAS FLOTAS DE TRANSPORTE DE LA EMPRESA

5.1. Organización de la empresa

En el esquema 1 se presenta el organigrama de la empresa con la que se está trabajando, misma que consta del Director el cual es el encargado de gestionar y evaluar el área de mantenimiento de la flota vehicular, siguiendo con el jefe de mantenimiento el mismo que supervisa el taller mecánico, además, está a cargo del jefe de taller que con ayuda de los mecánicos y sus asistentes se encargan de toda la parte del mantenimiento de la flota vehicular, los asistentes administrativos encargados de gestionar la entrada y salida de los repuestos y accesorios que se utilizarán para el mantenimiento respectivo de las flotas de vehículos de la empresa y de los auxiliares de servicios que mantienen el orden y aseo.

Esquema 1

Organización de la Empresa



5.2. Procesos para el Mantenimiento

Para el respectivo mantenimiento de las flotas vehiculares, la empresa cuenta con una serie de intervenciones a seguir presentada en la tabla 4, en donde se van coordinando tanto el jefe de mantenimiento con el jefe de taller y los mecánicos con sus ayudantes para brindar el mantenimiento en el menor tiempo posible ya sea dentro o fuera de las instalaciones, por lo tanto, esta serie de intervenciones parte desde jefe de mantenimiento que en conjunto con el jefe de taller, asistentes administrativos y auxiliares de servicios mismos que aplican un mantenimiento ya sea preventivo o correctivo según sea el caso disminuyendo o en el mejor de los casos eliminando por completo la anomalía de la flota.

Tabla 5

Procedimiento Para Seguir para el Mantenimiento de las Flotas

N° de Intervención	Procedimiento
1	El operador da el primer aviso de anomalía.
2	El operador informa la anomalía al jefe de mantenimiento, de manera directa según el estado de la flota.
3	El jefe de mantenimiento recibe el informe y avisa al jefe de taller.
4	El mecánico recibe el informe, en caso de que la flota se encuentra fuera de las instalaciones, se trasladará al lugar en donde se encuentre dicha flota y enviará un informe al jefe de mantenimiento.
5	El jefe de mantenimiento recibe el informe y procede a evaluar si el fallo producido se puede o no solucionar en dicho lugar.
6	El mecánico se encargará de trasladar la flota con los ayudantes en caso de ser necesario, caso contrario se emitirá una orden de trabajo para proceder a realizar el mantenimiento en dicho lugar.
7	El jefe de mantenimiento recibe un informe sobre los daños en la flota y analiza si se necesita algún repuesto para la misma.
8	En caso de necesitar algún repuesto se solicitará a bodega, caso contrario se procederá con la reparación del equipo y realizar pruebas correspondientes.
9	En caso de no tener el repuesto en bodega, los asistentes administrativos procederán con la revisión de las compras.
10	Si existe el presupuesto para la compra del repuesto se envía al mecánico de turno, caso contrario se llega al fin del proceso.

5.3.Descripción de los Equipos

5.3.1. Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2656

La Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2656 que trata sobre la clasificación vehicular, misma que establece la clasificación para los vehículos de circulación terrestre tanto motorizados como unidad de carga, también se incluyen a la maquinaria agrícola y para silvicultura.

5.3.2. Categorías

Los vehículos se dividen de acuerdo con categorías, a continuación, en la tabla 5 se presentarán dichas categorías.

Tabla 6

Categorías de Vehículos Según la Normativa NTE INEN 2656

Categoría	Definición
L	Vehículos automotores de dos, tres o cuatro ruedas
M	Vehículos automotores de cuatro ruedas o más destinados para el transporte de personas
N	Vehículos automotores de cuatro ruedas o más destinados para el transporte de cargas y mercancías
O	Vehículos no motorizados diseñados para ser remolcados, en los que se incluyen remolques y semirremolques
Combinaciones especiales	Vehículos que pertenecen a las categorías M, N u O destinados al transporte de pasajeros o mercancías que cumplen una función adicional como vehículos de auxilio


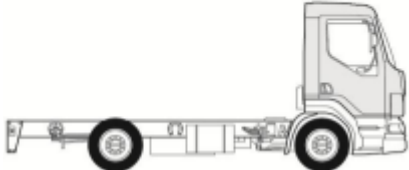



5.3.3. Categoría N

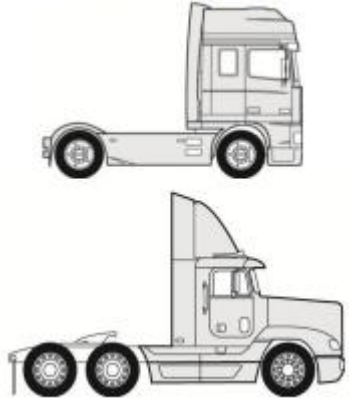
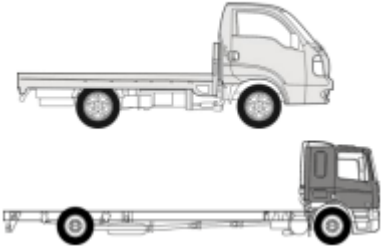
Para esta categoría según lo que dicta la normativa NTE INEN 2656, se subdividen en N1 que contienen un peso bruto vehicular de 3.5 toneladas (3500 kilogramos) o menor, N2 que contienen un peso bruto vehicular mayor a 3.5 toneladas (3500 kilogramos) y menor a las 12

toneladas (12000 kilogramos) y N3 con un peso bruto vehicular mayor a 12 toneladas (12000 kilogramos), mismos que se presentarán en la tabla 6.

Tabla 7

Categoría N Según la Normativa NTE INEN 2656

Código	Subclase	Clase	Descripción
		CAMIÓN LIGERO	
CML	N1		
		CAMIÓN MEDIANO	
CMM	N2		Vehículo para el transporte de carga, posee un chasis con la finalidad de montar una estructura, cuenta con dos ejes
		CAMIÓN PESADO	
CMP	N3	  	Vehículo para el transporte de carga, posee un chasis con la finalidad de montar una estructura, cuenta con dos ejes, puede poseer más.

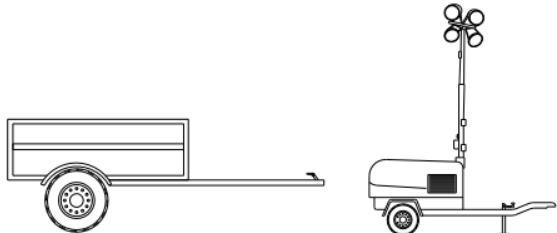
		TRACTO CAMIÓN		
TCM	N3			Vehículo para el apoyo y arrastre de una unidad de carga, que también se denomina semirremolque
		CHASIS CABINADO		
CHC	N1 N2 N3			Vehículo para carga, se puede instalar un elemento de carga
OTR	M N O	Otros usos especiales		Son vehículos para rescate y/o auxilio mecánico como pueden ser: grúas, bomberos, hormigoneras, entre otros

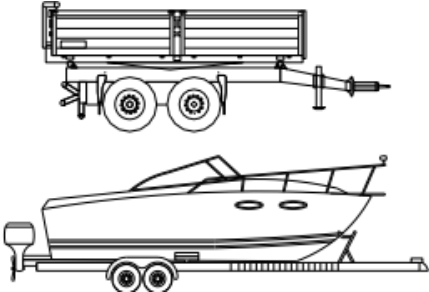
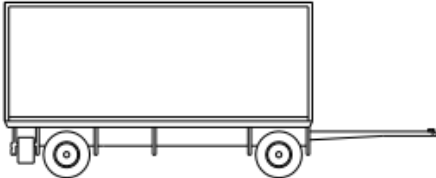
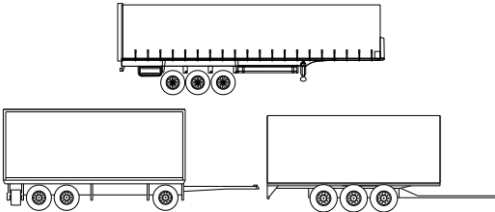
5.3.4. Categoría O

En la tabla 7 se presenta la categoría O que son vehículos no motorizados, es decir, son los aquellos que pueden ser remolcados.

Tabla 8

Categoría O Según la Normativa NTE INEN 2656

Código	Subclase	Clase	Descripción
UC1	O1		Unidad de carga muy liviana, son vehículos con un peso menor a 750kg

UC2	O2		Unidad de carga liviana, son vehículos con un peso máximo a 750kg
UC3	O3		Unidad de carga mediana, son vehículos con un peso mayor a 3500kg pero menor a 10000kg
UC4	O4		Unidad de carga pesada, son vehículos con un peso mayor a 10000kg

5.4.Flota Vehicular de la Empresa

La empresa en cuestión cuenta con un gran número de vehículos livianos y de maquinaria pesada, por tal motivo, se realiza una gestión de flotas en donde se hace uso de la maquinaria pesada, entre los cuales se tiene: estabilizadora de suelos, montacargas, cargadoras, excavadoras, motoniveladoras, retroexcavadoras, rodillos y tractores.

Las actividades que realiza la empresa dependen mucho de la gestión de su flota vehicular, por ende, se tiene un histórico de los vehículos con las fechas en las que se realizó algún tipo de mantenimiento y las horas que el vehículo estuvo trabajando, además de contar con la descripción del tipo de mantenimiento brindado, a continuación, en la tabla 8 se presenta el número de unidades de los vehículos antes mencionados.

Tabla 9*Número de Unidades de la Flota Vehicular de la Empresa*

Tipo	Subtipo	Número de Unidades
Maquinaria Pesada	Estabilizadora de Suelos	1
	Montacargas	1
	Cargadoras	7
	Excavadoras	5
	Motoniveladoras	9
	Retroexcavadoras	4
	Rodillos	8
	Tractores	8

5.4.1. Recopilación de información

En los siguientes puntos se presentará la información obtenida de los historiales de mantenimiento brindados por la empresa en la que se basa el presente proyecto, dicha información son datos de los sistemas y elementos de entre los cuales se podrá destacar los de mayor criticidad, realizando un análisis enfocado a sus fallos, en primer lugar, se organizará los elementos de análisis en sistemas y subsistemas:

5.4.1.1. Clasificación en sistemas y subsistemas

Al tener por objetivo analizar la criticidad de los fallos, primero se organizará la división de los sistemas y subsistemas de la maquinaria, además de ello se debe tener en cuenta que cada sistema y subsistema tiene componentes que los conforman, estos también tendrán su análisis más adelante. De tal forma en la siguiente tabla 9 se presenta la división detalla con sus componentes de los sistemas y subsistemas a analizar.

Tabla 10*Sistemas y Subsistemas*

Sistema	Subsistema	Componentes / Elementos
Motor	Alimentación	Inyectores, filtros, bombas, cañerías, entre otros
	Distribución	Bandas, poleas, rodamientos, tensores

Lubricación	Bomba de aceite y filtros
Refrigeración	Termostato, radiador, intercooler, bomba de agua y ventilador
Admisión/Escape	Turbo compresor, múltiples de admisión y escape, filtros de aire, catalizador y silenciador
Reparación	Reparación de pistones, árbol de levas, cigüeñales, brazos de biela, block, cárter, culata, válvulas, entre otras
Encendido	Baterías, llave de encendido, bujías de precalentamiento, cables, la ECU, entre otros
Transmisión	Caja de cambios, embrague, árbol de transmisión, juntas de cardán, ruedas, entre otros
Dirección	Varillas de dirección, rótulas, rodamientos, bomba hidráulica, entre otros elementos
Suspensión	Amortiguadores, resortes, barra estabilizadora y varios elementos más
Frenos	Tambor de freno, discos de freno, zapatas, pastillas, compresor, entre otros
Eléctrico	Sistema eléctrico, sistema de carga, sistema de arranque y encendido
Hidráulico	Bomba hidráulica, cañerías, válvulas, cilindro hidráulico, filtro, entre otros
Chasis y Carrocería	Pintura, soldas, pernos, y muchos elementos más

5.4.1.2. Análisis de los datos procesados

Un fallo puede clasificarse por su nivel de riesgo, o criticidad que representa para la empresa, esto se puede ver mediante el análisis de los costos porcentuales que representan los fallos de la maquinaria, y para ello se optó por realizar un diagrama de Pareto en base a los factores antes mencionados obtenidos de la recopilación de datos y división de sistemas, subsistemas y actividades, ejemplificada en la tabla 10, que muestra el coste y número de fallas de un tipo de máquina que posee la empresa, para el caso se tiene la CARGADORA 11 CATERPILLAR 950-F.

Tabla 11*Datos Acumulados de la Cargadora 11 Caterpillar 950F*

CARGADORA 11 CATERPILLAR 950-F en 24 años de trabajo							
Sistema	Subsistema	Actividad	# de fallas	Costo	# de fallas por sistema		
Motor	Alimentación / Escape	Cambio de filtro de combustible	142	4064,04	1047		
		Cambio de filtro racor	142	3696,71			
		Cambio de filtros de aire p/s	68	6950,96			
		Revisión del sistema de inyección	24	1008,384			
		Arreglo fuga de combustible	24	1920			
		Reparación bomba de inyección	4	10389			
	Distribución	Cambio de banda de ventilador	24	2192,4			
	Lubricación	Cambio de aceite de motor	142	20106,13			
	Lubricación	Cambio de filtro de aceite de motor	142	2795,44			
	Lubricación	Ajuste de nivel de aceite de motor	69	2008,84			
	Refrigeración	Cambio de líquido refrigerante	24	4115,76			
	Refrigeración	Ajuste de líquido refrigerante	24	380,64			
	Refrigeración	Reparación del radiador	2	232,12			
	Encendido	Revisión del sistema de encendido	24	640,32			
	Reparación	Revisión del motor	142	5920			
	Reparación	Calibración de válvulas de admisión y escape	24	3638,4			
	Reparación	Cambio de bases del motor	24	8640			
	Reparación	Reparación del motor	2	13600			
	Transmisión		Cambio de aceite de transmisión	27		5188,32	327
			Cambio de aceite del diferencial	24		5671,2	
		Cambio de aceite de mandos finales	24	2251,68			
		Cambio de aceite de la masa	24	1189,68			
		Cambio de filtro de aceite de transmisión	24	692,64			

	Ajuste de nivel de aceite de transmisión	24	692,64	
	Ajuste de nivel de aceite del diferencial	24	692,64	
	Ajuste de nivel de aceite de mandos finales	24	17754,2	
	Ajuste de aceite de la masa	84	22650	
	Reparación de la transmisión	4	11400	
	Reparación del diferencial	4	21400	
	Reparación de mandos finales	8	7069	
	Cambio de crucetas del cardán	4	1270,84	
	Cambio de neumático	4	26431,8	
	Reparación de neumático	16	250	
	Cambio de tubo de neumático	4	1057,06	
	Cambio del kit engranaje	4	1000	
Dirección	Reparación del orbitrol	4	1000	
	Corrección de fugas de aceite del orbitrol	24	1440	52
	Corrección de fugas de aceite del gato hidráulico de la dirección	24	2640	
Eléctrico	Revisión sistema eléctrico	48	2283,12	
	Revisión de luces	24	1200	
	Cambio de focos	96	1440	
	Ajuste de nivel de electrolito en la batería	24	294,24	
	Reparación de alternador	4	240	
	Reparación de motor de arranque	4	240	228
	Cambio de fusibles	16	648	
	Cambio de carbones de alternador	4	252,72	
	Cambio de batería	4	1987,2	
	Cambio de bornes de batería	4	95,88	
Hidráulico	Cambio de aceite hidráulico	24	19903,88	
	Cambio de filtro hidráulico	24	1432,32	551
	Ajuste de nivel de aceite hidráulico	149	8931,7	
	Revisión de fugas de aceite hidráulico	120	4848,384	

	Corrección de fugas de aceite hidráulico	120	18000	
	Cambio de kit de sellos de gatos hidráulicos	48	11040	
	Cambio de manguera hidráulica	58	5974,03	
	Cambio de válvula de presión	4	1240	
	Reparación de bomba hidráulica	4	4600	
	Sueldas varias	24	2268,72	
	Extracción de pernos rotos	24	2268,72	
	Reparación de pala	24	18141,89	
	Cambio de bujes, pines y bocines	24	6000	
Chasis y carrocería	Cambio de graseros	96	2090,64	1658
	Cambio de plumas limpiaparabrisas	24	270,48	
	Re tapizado de asiento	2	280	
	Engrasado del equipo	1152	19944,24	
	Uso de waipe	288	580,56	
	Total	3863	360537,568	

De esta forma, se han agrupado todos los números de fallas y costos para cada grupo de máquinas pesadas que tiene la empresa, mostrada en la tabla 10, logrando obtener una tabla de datos, para cada grupo de máquina, observable a continuación en la tabla 11, esta representa, el número de fallos, costos ordenados de mayor a menor, con sus respectivos costos acumulados y porcentajes, para cada maquinaria.

Tabla 12

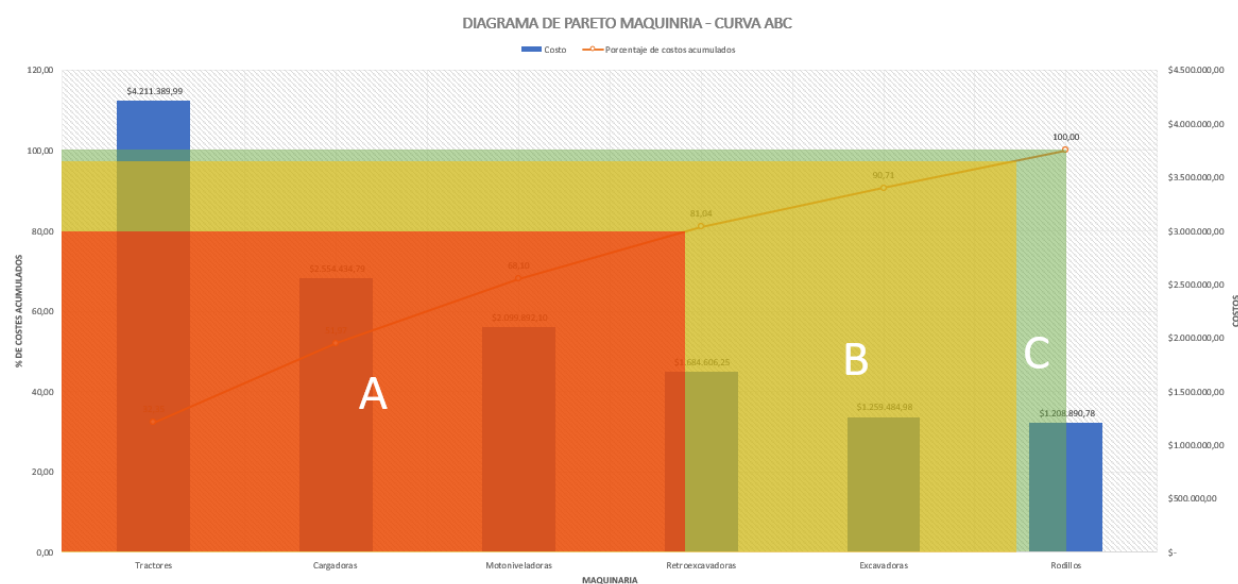
Número de Fallas y Porcentaje de Costos Acumulados para cada Máquina de la Empresa

Maquinaria	# de fallos	Costo	Costo Acumulado	%
Tractores	36996	\$ 4.211.389,99	\$ 4.211.389,99	32,35
Cargadoras	29523	\$ 2.554.434,79	\$ 6.765.824,78	51,97
Motoniveladoras	20760	\$ 2.099.892,10	\$ 8.865.716,88	68,10
Retroexcavadoras	13507	\$ 1.684.606,25	\$ 10.550.323,13	81,04
Excavadoras	7456	\$ 1.259.484,98	\$ 11.809.808,11	90,71
Rodillos	12999	\$ 1.208.890,78	\$ 13.018.698,89	100,00

Una vez obtenidos los costos acumulados y sus porcentajes para cada grupo de máquinas, se procede a construir el diagrama de Pareto y curva ABC, que se puede observar en la figura 9, en donde se consigue ver las máquinas con mayor riesgo y alto nivel de criticidad para la empresa, por el costo que le representan a la misma.

Figura 9

Diagrama de Pareto para la Maquinaria de la Empresa – Curva ABC



Nota. Realizada por los autores.

La figura 9, permite identificar con mayor facilidad las zonas de mayor impacto referentes a los equipos con mayor número de fallas o con mayor nivel de criticidad, en la zona A el 20% de fallos representan un 80% de costos para la empresa, y dentro de ella se encuentra los Tractores, Cargadoras, Motoniveladoras y Retroexcavadoras, de tal forma que se deben considerar como prioridad a solucionar, sin embargo es importante recalcar que en la zona B, en donde se encuentran las Excavadoras, al representar un 30% de fallos y 15% de cotos para la empresa

también se deben tomar en cuenta con prioridad menor pero relevante, para un mejor funcionamiento y reducción de costos por fallos en la empresa.

Todo ello se puede observar también en la tabla 11 en donde, estos cuatro grupos de máquinas, superan los 2 millones de dólares en costos, considerándose críticos gracias al diagrama de Pareto y la ley del 80/20%, vista en el anterior capítulo, de esta forma se tiene como equipo más crítico al grupo de los tractores con un **32.35%** de los costos acumulados y un costo de sus actividades de mantenimiento de **\$ 4.211.389,99**, teniendo por debajo a las cargadoras con un **19.62%** de costos acumulados, motoniveladoras con un **16.19%** de costos acumulados y por último las retroexcavadoras con un **12.94%**.

6. CAPÍTULO III: MODELADO DE LA HERRAMIENTA INFORMÁTICA

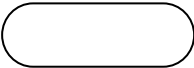
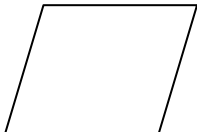

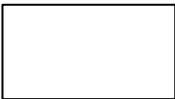

Una vez establecida la teoría, recopilados y analizados los datos de la empresa, se procede a utilizar el lenguaje de programación que utiliza la herramienta estadística conocida como Visual Basic (VBA), con el que se realizará la interfaz para la herramienta informática, explicando su funcionamiento a continuación mediante diagramas de flujo.

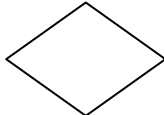

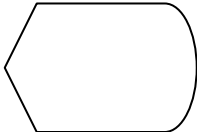
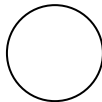
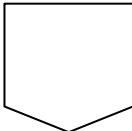
6.1. Diagramas de flujo

Los diagramas de flujo son esquemas gráficos de los algoritmos o pasos que debe seguir una actividad para la resolución de un problema, por lo que tienen que ejecutarse forma secuencial y ordenada, a continuación, se explicarán los componentes de un diagrama de flujo.

Tabla 13

Componentes del Diagrama de Flujo

Nombre	Descripción	Componente
Inicio/Final	Se entiende por el inicio o final del diagrama, solo puede salir una línea si es inicio y solo llegar una línea si es final	
Entrada/Salida	Se entiende por la entrada o salida de datos de algún terminal	
Entrada por teclado	Se entiende que el programa o actividad esperará al ingreso manual de datos por parte del usuario	
Acción/Proceso	Se entiende por la asignación de una acción general que se debe realizar	
Flujo/Flechas de Dirección	Indica la dirección lógica y sentido de ejecución de las	

	operaciones en el diagrama	
Decisión	Se entiende por la comparación entre dos datos, dependiendo de si es falso o verdadero se toma una decisión de qué camino elegir	
Impresora/Documento	Se entiende por la impresión de un resultado en el diagrama	
Pantalla	Se entiende por la aparición de mensajes o algún resultado en la pantalla frente al usuario	
Conector Interno	Se entiende por la unión de dos partes de un diagrama dentro de una misma página	
Conector externo	Al igual que el conector interno, con la diferencia de que el enlace es en páginas diferentes	

6.2.Desarrollo de la Herramienta Informática

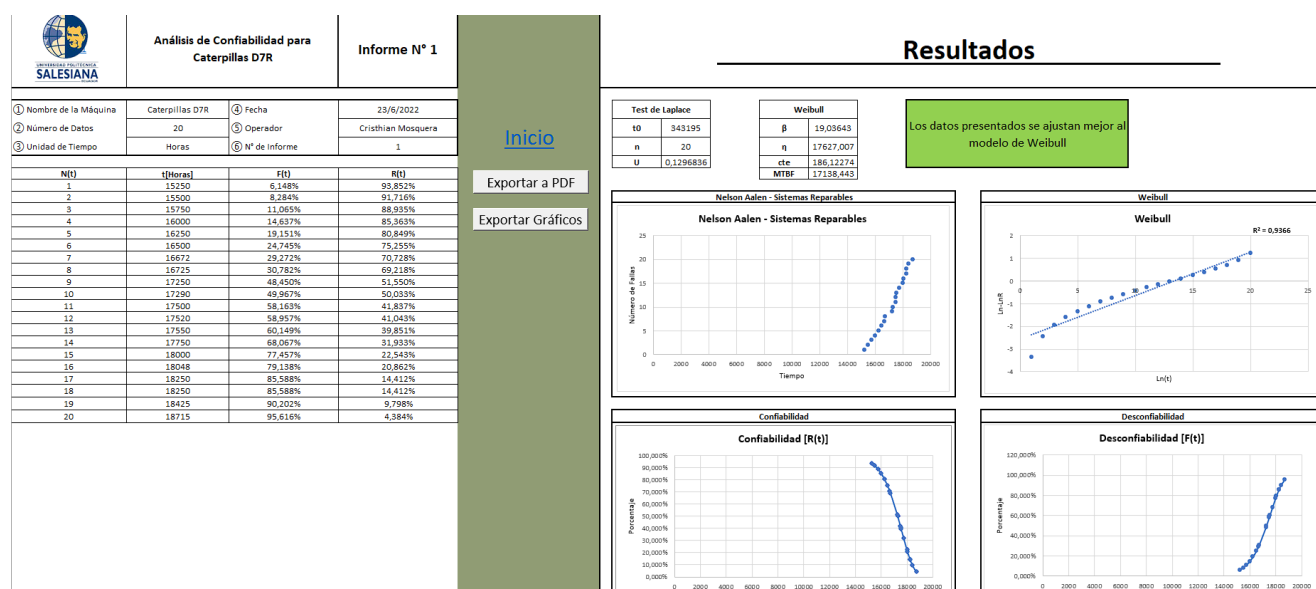
Una vez establecido el diagrama de flujo como instrumento que facilitará la explicación, se procede a presentar el desarrollo de la base de datos e interfaz de la herramienta informática en el entorno virtual Visual Basic (VBA) del software estadístico conocido como Excel, en síntesis el programa actúa en base a los datos que debe introducir el usuario, de tal forma que el módulo arroja los resultados mediante datos numéricos y gráficas representativas, mismos que se pueden exportar a un documento en PDF o si lo desea el usuario, puede exportar los gráficos a un tipo de archivo JPG.

En la figura 10 se puede observar la interfaz de la herramienta gráfica, en donde el usuario previamente haya ingresado los datos, el programa iniciará su desarrollo desde un ordenamiento

de los datos previos a la falla hasta generar las gráficas: Nelson-Aalen, confiabilidad, desconfiabilidad, densidad de fallos y tasa de fallos y finalmente la distribución de Weibull, en donde se presenta el parámetro de forma (β), el parámetro de escala o característica de vida (η), además de presentar el tiempo medio entre fallas (MTBF).

Figura 10

Interfaz General del Programa de Confiabilidad

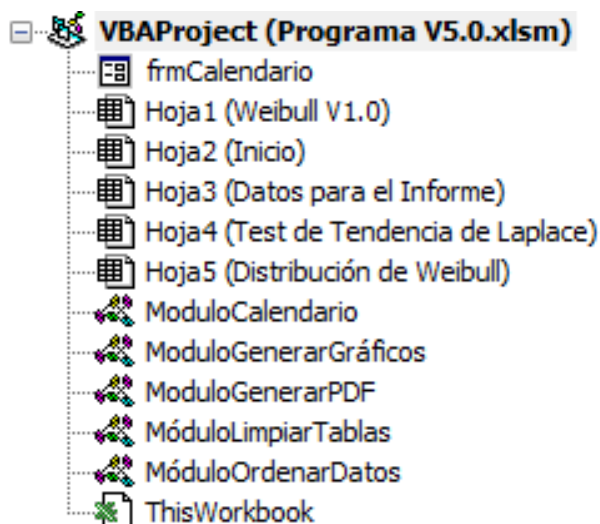


Nota. Realizada por los autores.

El programa cuenta con cinco módulos, de fácil acceso que se presenta en la figura 11, que tiene que ver con el orden de datos, limpieza de tablas, exportar el reporte a PDF, exportar las gráficas a JPG y un calendario para el ingreso de la fecha, las cuales son las macros utilizadas de manera general dentro de todo el libro de Excel, con el fin de buscar el mayor confort del usuario con una interfaz amigable y de fácil entendimiento.

Figura 11

Módulos del Programa



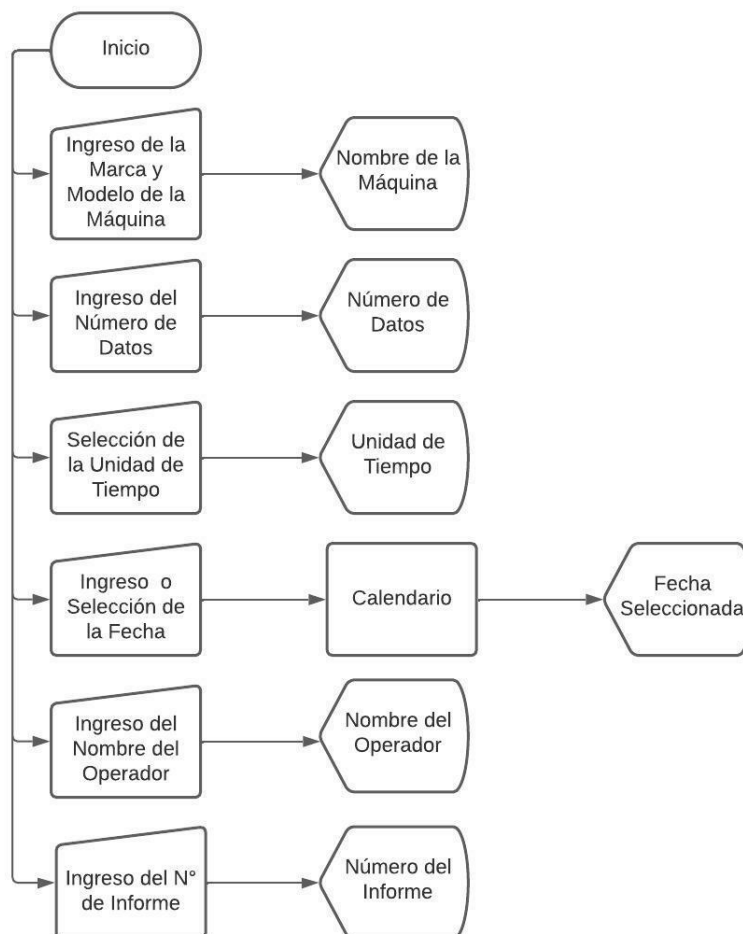
Nota. Realizada por los autores.

En este aspecto, el módulo da la posibilidad de ingresar manualmente distintos datos, que se enlistaran a continuación:

1. Primero el usuario debe insertar datos externos al mantenimiento de forma manual como se presenta en el esquema 2, en el caso de que se desee ingresar nuevos datos para el informe final, el usuario tiene un botón de “limpiar tabla” mismo que su funcionamiento se detalla más adelante, para el ingreso de datos se pide:
 - Marca y el modelo de la maquinaria a analizar.
 - Número de fallas o número de datos que desea ingresar.
 - Unidad de tiempo con la que se desea trabajar.
 - Fecha que aparecerá en el informe final.
 - Nombre del operador.
 - Número de informe.

Esquema 2

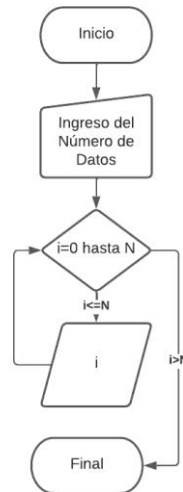
Diagrama de Flujo para el Ingreso de Datos Referentes a la Descripción de la Maquinaria



- Una vez ingresado los datos, el usuario deberá pulsar el botón “*Ingresar*”, este botón además de adjuntar los datos ingresados al reporte final, genera los datos de manera automática que se presenta en el esquema 3, es decir, la funcionalidad de este botón tiene como requisito el ingreso del número de datos en la celda correspondiente, luego al pulsarlo, se generarán automáticamente números desde 1 hasta el valor que se haya ingresado, posteriormente el usuario puede elegir entre volver a la pantalla inicial o ir a la pantalla donde se calcula el Test de Tendencia de Laplace en donde el usuario tiene que ingresar los datos de los tiempos de los mantenimientos de la maquinaria a analizar.

Esquema 3

Diagrama de Flujo del Ingreso de Número de Datos



3. Si el usuario escoge la pantalla “*Test de Tendencia de Laplace*”, procederá a insertar los datos de tiempo antes de la falla, que se encuentra a la derecha del número de datos generados. Estos se pueden insertar ya sea copiando todos los datos de fallos en columna, o uno por uno ya que el programa los ordenará automáticamente de menor a mayor, como se puede observar en el esquema 4.

Esquema 4

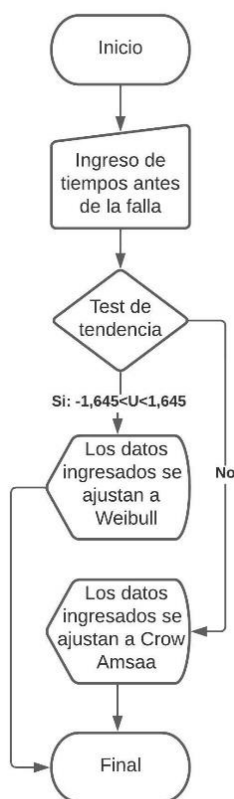
Diagrama de Flujo del Orden de Datos de Tiempos Antes de la Falla



4. Una vez ingresado los datos de tiempo antes de la falla el programa presenta la gráfica de Nelson-Aalen para Sistemas Reparables a la vez que menciona si los datos ingresados se ajustan o no al modelo de Weibull, tal como se muestra en el esquema 5.

Esquema 5

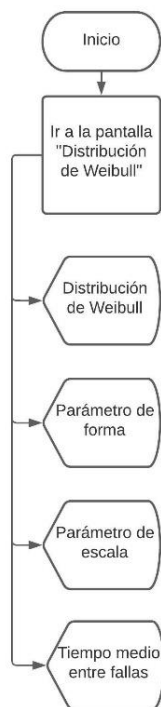
Diagrama de Flujo de Test de Tendencia de Laplace



5. Una vez que el usuario ingresó los datos de los tiempos antes de la falla y haya visualizado la gráfica de Nelson-Aalen y los resultados del Test de Tendencia de Laplace, tiene la opción de ir a la pantalla de Inicio, ir a la pantalla de “*Distribución de Weibull*” o ir directamente a la pantalla “*Generar Reporte*”.
6. Si el usuario escoge el vínculo de ir a la pantalla “*Distribución de Weibull*”, se visualizarán los resultados del que se mencionaron en el apartado 6.2 de la presente investigación, esta visualización de datos se presenta a continuación en el esquema 6.

Esquema 6

Diagrama de Flujo de la Pantalla Distribución de Weibull



6.3. Funcionamiento de Botones dentro de la Interfaz

La interfaz del programa como se puede observar en la figura 10, cuenta con funciones extra: un vínculo a la pantalla de Inicio y otra en forma de botones, que son de utilidad para el usuario, que se explicarán a continuación:

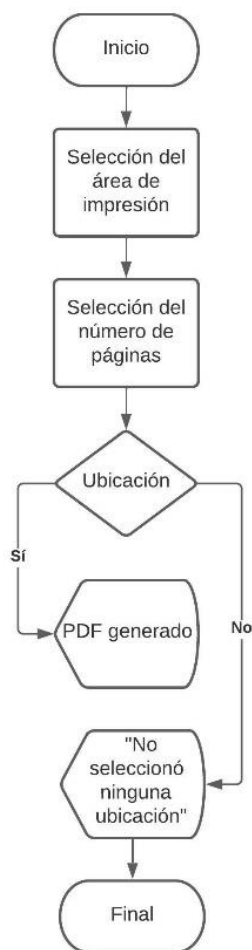
6.3.1. Exportar a PDF

La funcionalidad de este botón inicia al pulsarlo, generando una ventana de elección, para seleccionar la ubicación o carpeta en la cual guardar el PDF, una vez realizado esto el archivo se guardará con el nombre *"Informe Weibull"* y el número del informe que antes a ingresado el usuario, de no seleccionar ninguna ubicación o carpeta, aparecerá una ventana con el mensaje *"No*

seleccionó una carpeta, no se exportará el informe”, este proceso se podrá ver de mejor forma en el esquema 7.

Esquema 7

Diagrama de Flujo de la Exportación a PDF



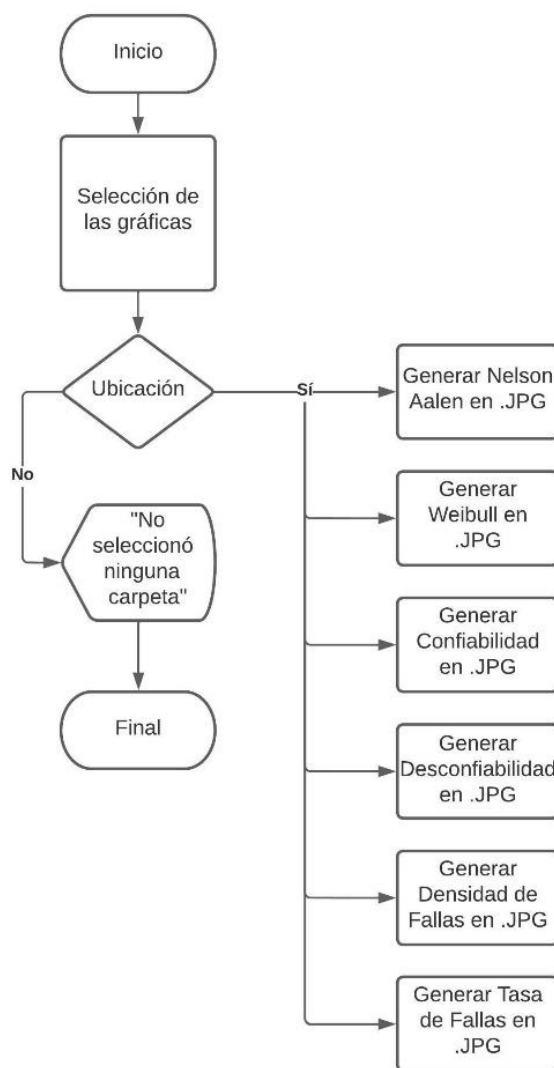
6.3.2. Exportar Gráficos

La funcionalidad de este botón inicia al pulsarlo, generando una ventana de elección, para seleccionar la ubicación o carpeta (en este punto es recomendable crear una carpeta para guardar en conjunto con el informe generado en PDF), en la cual se exportarán y guardarán los gráficos en formato JPG, una vez realizado esto los gráficos se guardarán con el nombre que se muestra en la

parte superior de cada gráfico del programa, de no seleccionar ninguna ubicación o carpeta, aparecerá una ventana con el mensaje “No seleccionó una carpeta, no se exportarán los gráficos”, este proceso se podrá ver de mejor forma en el esquema 8.

Esquema 8

Diagrama de Flujo de la Exportación de Gráficos



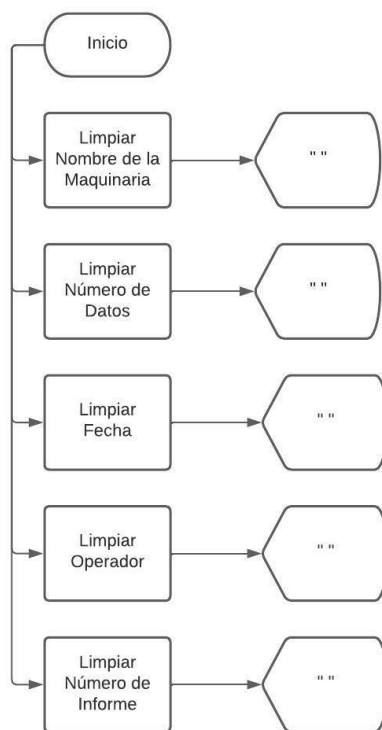
6.3.3. Limpiar Tabla

La funcionalidad de este botón inicia al pulsarlo, limpiando todos los datos como: nombre y modelo de la máquina, número de datos, unidad de tiempo, fecha, nombre del operador, número

de informe y los tiempos antes de la falla, sin los datos antes mencionados las gráficas generadas quedarán en blanco, esto con la finalidad de que el usuario pueda volver a llenar los datos necesarios para el análisis de confiabilidad de otra maquinaria, este proceso se visualiza en el esquema 9.

Esquema 9

Diagrama de Flujo de la Limpieza de Tabla



Por último en la parte derecha de la interfaz, el usuario puede observar los resultados del test de Laplace, distribución de Weibull, así como una mensaje que cambia de acuerdo al ajuste de los datos, es decir, si los datos se ajustan perfectamente a Weibull se verá un mensaje en color verde “*Los datos presentados se ajustan al modelo de Weibull*”, de no ser así aparecerá un cuadro de color rojo con el mensaje: “*Los datos presentados se ajustan al modelo de Crow-AMSAA*”, cabe recalcar que el programa calculará la confiabilidad a pesar de que los datos se ajusten de mejor forma al modelo de confiabilidad de Crow-AMSAA, ya que como se vio en el capítulo II de la

presente investigación, Weibull es un modelo que se ajusta a distintas distribuciones, por lo que por su versatilidad presentaría resultados similares a un modelo de Crow-AMSAA, esto se verá con mayor facilidad en el capítulo IV de la presente investigación. Con ello los valores del test de Laplace y Weibull en complemento con los resultados de Confiabilidad, y Nelson-Aalen, generarán las gráficas respectivas de cada cálculo necesario para el análisis de confiabilidad de la máquina, completando la descripción de la funcionalidad de la herramienta informática.

7. CAPÍTULO IV: VALIDACIÓN LA HERRAMIENTA INFORMÁTICA

Una vez culminada la creación de la herramienta informática propuesta se procede a validar su funcionamiento, para ello se realiza un análisis de confiabilidad de acuerdo a los datos obtenidos de la empresa; con el fin de evidenciar las bondades que representa la herramienta informática creada, se realizarán diversos casos reales de confiabilidad que representen distintas fases de la curva de la bañera:

7.1.Caso I: Curva de la Bañera Fase de Mortalidad Infantil

Para este caso se tomarán de los datos recopilados de horas de trabajo hasta una falla de dos maquinarias, realizando a continuación un análisis de confiabilidad de cada uno:

7.1.1. Tractor 3 KOMATSU D85A-12:

Los datos de esta maquinaria que se pueden observar en la tabla 24 del anexo 1, se ingresan en la herramienta informática, obteniendo así los resultados de la tabla 14, que representan los porcentajes de desconfiabilidad $F(t)$ y los porcentajes de confiabilidad $R(t)$.

Tabla 14

Resultados de Confiabilidad Tractor 3 KOMATSU D85A

N(t)	t[Horas]	F(t)	R(t)
1	1	5,428%	94,572%
2	1	5,428%	94,572%
3	1	5,428%	94,572%
4	1	5,428%	94,572%
5	140	30,198%	69,802%
6	170	32,078%	67,922%
7	560	45,463%	54,537%
8	800	50,020%	49,980%
9	800	50,020%	49,980%
10	1068	53,853%	46,147%
11	1500	58,480%	41,520%
12	1500	58,480%	41,520%
13	1750	60,607%	39,393%

14	1750	60,607%	39,393%
15	1750	60,607%	39,393%
16	2000	62,457%	37,543%
17	2021	62,602%	37,398%
18	2268	64,201%	35,799%
19	2268	64,201%	35,799%
20	2500	65,550%	34,450%
21	2569	65,927%	34,073%
22	2569	65,927%	34,073%
23	2569	65,927%	34,073%
24	2569	65,927%	34,073%
25	2569	65,927%	34,073%
26	2569	65,927%	34,073%
27	2569	65,927%	34,073%

En la tabla 15 por otro lado se muestran los resultados de los parámetros de Weibull, beta y eta, así como el tiempo medio de buen funcionamiento MTBF.

Tabla 15

Resultados de los Parámetros de Weibull del Tractor 3 KOMATSU D85A

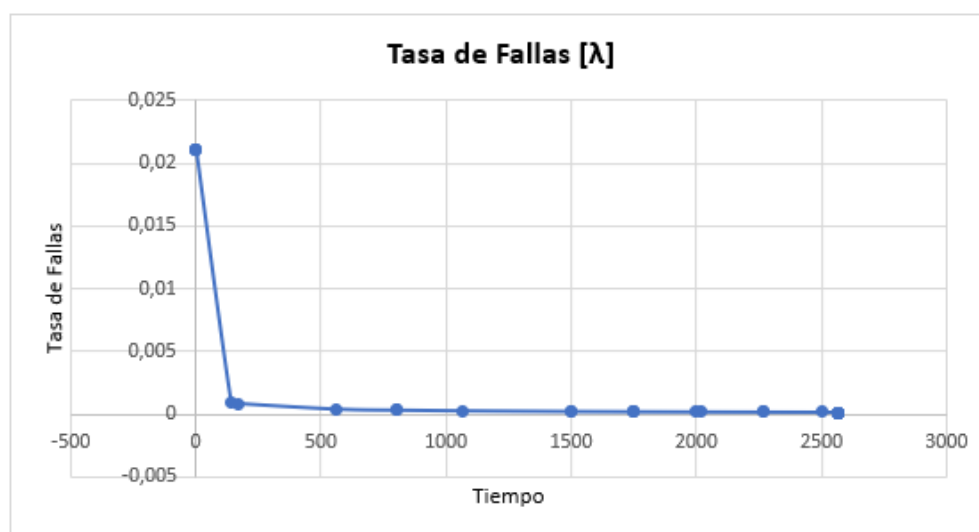
Weibull	
β	0,37697807
η	2111,91226
cte	2,88589873
MTBF	8337,62641

Con ello al tener un parámetro Beta, $\beta = 0,38$, indica que la máquina se encuentra en la fase I de la curva de la bañera denominada como fase de “*mortalidad infantil*”, con una tasa de fallas decreciente como se puede observar en la figura 12. Con lo que se debe resaltar el tiempo medio de buen funcionamiento, $MTBF = 8337,62641$ horas, como el intervalo de tiempo recomendable para realizar el mantenimiento adecuado a la máquina, con el fin de mantener o elevar la confiabilidad de la misma, se puede notar que el intervalo de tiempo es en consideración, mucho mayor al de los intervalos de tiempo entre cada falla, esto se debe a que la máquina se encuentra en una fase de “*mortalidad infantil*”, por ello su confiabilidad es alta, de tal forma que el tiempo

de su próxima reparación recomendada, sería ya en una fase de “*vida útil*” de acuerdo a lo que se ve en la figura 12, de densidad de fallas.

Figura 12

Tasa de Fallas del Tractor 3 KOMATSU D85A



Nota. Realizada por los autores.

7.1.2. Retroexcavadora 2 John Deere 410 E

Los datos de esta maquinaria que se pueden observar en la tabla 25 del anexo 2, se ingresan en la herramienta informática, obteniendo así los resultados de la tabla 16, que representan los porcentajes de desconfiabilidad $F(t)$ y los porcentajes de confiabilidad $R(t)$.

Tabla 16

Resultados de Confiabilidad Retroexcavadora 2 John Deere 410 E

N(t)	t[Horas]	F(t)	R(t)
1	68	2,918%	97,082%
2	235	9,112%	90,888%
3	250	9,633%	90,367%
4	500	17,712%	82,288%

5	525	18,465%	81,535%
6	654	22,214%	77,786%
7	654	22,214%	77,786%
8	750	24,867%	75,133%
9	750	24,867%	75,133%
10	966	30,449%	69,551%
11	1000	31,283%	68,717%
12	1000	31,283%	68,717%
13	1250	37,073%	62,927%
14	1250	37,073%	62,927%
15	1310	38,379%	61,621%
16	1320	38,594%	61,406%
17	1421	40,716%	59,284%
18	1430	40,901%	59,099%
19	1500	42,319%	57,681%
20	1500	42,319%	57,681%
21	1750	47,085%	52,915%
22	1750	47,085%	52,915%
23	2000	51,424%	48,576%
24	2250	55,381%	44,619%
25	2500	58,994%	41,006%
26	2750	62,297%	37,703%
27	3000	65,319%	34,681%
28	3250	68,087%	31,913%
29	3500	70,623%	29,377%
30	3750	72,949%	27,051%
31	3750	72,949%	27,051%
32	4000	75,083%	24,917%
33	23158	99,932%	0,068%
34	23158	99,932%	0,068%
35	23170	99,933%	0,067%

En la tabla 17 por otro lado se muestran los resultados de los parámetros de Weibull, beta y eta, así como el tiempo medio de buen funcionamiento MTBF.

Tabla 17

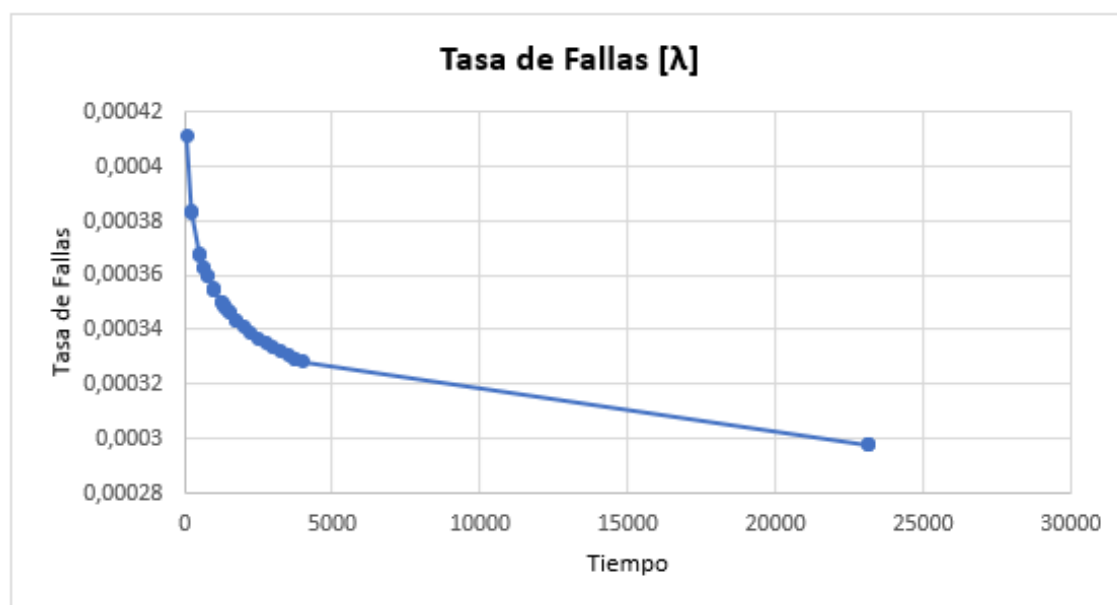
Resultados de los Parámetros de Weibull de la Retroexcavadora 2 John Deere 410 E

Weibull	
β	0,94452918
η	2823,40764
cte	7,50494533
MTBF	2897,57112

Con ello al tener un parámetro Beta, $\beta = 0,944 \approx 1$, indica que la máquina se encuentra en la fase I de la curva de la bañera denominada como fase de “*mortalidad infantil*”, con una tasa de fallas decreciente como se puede observar en la figura 13. Con lo que se debe resaltar el tiempo medio de buen funcionamiento, $MTBF = 2897,57112$ horas, como el intervalo de tiempo recomendable para realizar el mantenimiento adecuado a la máquina, con el fin de mantener o elevar la confiabilidad de la misma, se puede notar que el intervalo de tiempo es en consideración, mucho mayor al de los intervalos de tiempo entre cada falla, esto se debe a que la máquina se encuentra en una fase de “*mortalidad infantil*”, por ello su confiabilidad es alta, de tal forma que el tiempo de su próxima reparación recomendada, sería ya en una fase de “*vida útil*” de acuerdo a lo que se ve en la figura 13, de densidad de fallas, confirmando así la fase de “*mortalidad infantil*” con tendencia a pasar a la fase de “*vida útil*” que se había descrito con el parámetro beta.

Figura 13

Tasa de Fallas de la Retroexcavadora 2 John Deere 410 E



Nota. Realizada por los autores.

7.2.Caso II: Curva de la Bañera Fase de Vida Útil

Para este caso se tomarán de los datos recopilados de horas de trabajo hasta una falla del Rodillo 14 Ingersoll Rand DD90, mismos que se pueden ver en la tabla 26 del anexo 2, estos son ingresados en la herramienta informática, obteniendo así los resultados de la tabla 16, y tabla 17.

Tabla 18

Resultados de Confiabilidad del Rodillo 14 Ingersoll Rand DD90

N(t)	t[Horas]	Tiempo Acumulado	F(t)	R(t)
1	2045	2045	7,666%	92,334%
2	3500	5545	13,032%	86,968%
3	20300	25845	58,188%	41,812%
4	20700	46545	58,931%	41,069%
5	20960	67505	59,406%	40,594%
6	21000	88505	59,479%	40,521%
7	21500	110005	60,378%	39,622%
8	21650	131655	60,643%	39,357%
9	21650	153305	60,643%	39,357%
10	21901	175206	61,084%	38,916%

Tabla 19

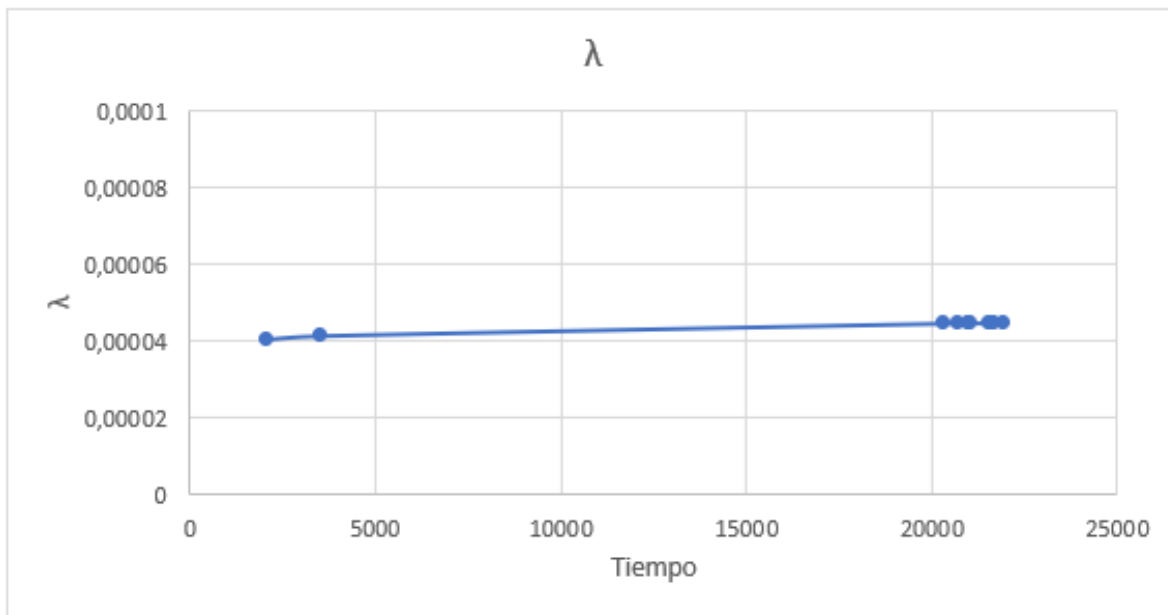
Resultados de los Parámetros de Weibull del Rodillo 14 Ingersoll Rand DD90

Weibull	
β	1,04206552
η	23151,5447
cte	10,4725675
MTBF	22771,8412

Con ello al tener un parámetro Beta, $\beta = 1,04$, indica que la máquina se encuentra en la fase II de la curva de la bañera denominada como fase de “vida útil”, con una tasa de fallas prácticamente constante como se puede observar en la figura 14, igual a la fase II que describe la curva de la bañera.

Figura 14

Tasa de Fallas del Rodillo 14 Ingersoll Rand DD90



Nota. Realizada por los autores.

Del mismo modo con respecto al parámetro de escala Eta, se tiene un valor de, $\eta = 23151,5447$ horas, el cual indica el tiempo de funcionamiento hasta que falle con una seguridad del 63,2%, denominado como el percentil 63,2 de los datos, lo que resulta en que la máquina tiene una confiabilidad a las 23151,5447 horas del 36,8%. Con lo que se debe resaltar el tiempo medio de buen funcionamiento, $MTBF = 22771,8412$ horas, como un valor de tiempo recomendable para realizar el mantenimiento adecuado a la máquina, en relación al parámetro de escala, se puede observar que la confiabilidad en el tiempo medio de buen funcionamiento es mayor, con un 37,83%, reforzando así la actividad de mantenimiento, para mantener o elevar la confiabilidad de la máquina.

7.3.Caso III: Curva de la Bañera Fase de Envejecimiento

Para este caso se tomarán de los datos recopilados de horas de trabajo hasta una falla de dos maquinarias, realizando a continuación un análisis de confiabilidad de cada uno:

7.3.1. Tractor 25 Caterpillar D7R

En el siguiente análisis se verá el por qué esta máquina está dentro de uno de los grupos de mayor criticidad según el diagrama de Pareto, de tal forma se extrajeron las horas de trabajo hasta una falla de la máquina que se pueden ver en la tabla 27 del anexo 4, mismo que son ingresados en la herramienta informática, obteniendo así los resultados de la tabla 20 que describen los porcentajes de confiabilidad y desconfiabilidad de la maquinaria, dando un indicio del tiempo que lleva trabajando y de su envejecimiento.

Tabla 20

Resultados de Confiabilidad del Tractor 25 Caterpillar D7R

N(t)	t[Horas]	F(t)	R(t)
1	15250	6,148%	93,852%
2	15500	8,284%	91,716%
3	15750	11,065%	88,935%
4	16000	14,637%	85,363%
5	16250	19,151%	80,849%
6	16500	24,745%	75,255%
7	16672	29,272%	70,728%
8	16725	30,782%	69,218%
9	17250	48,450%	51,550%
10	17290	49,967%	50,033%
11	17500	58,163%	41,837%
12	17520	58,957%	41,043%
13	17550	60,149%	39,851%
14	17750	68,067%	31,933%
15	18000	77,457%	22,543%
16	18048	79,138%	20,862%
17	18250	85,588%	14,412%
18	18250	85,588%	14,412%
19	18425	90,202%	9,798%

20

18715

95,616%

4,384%

Así mismo se pueden ver los resultados en la tabla 21, referentes a los parámetros de Weibull, tanto beta como eta, y finalmente el MTBF, como tiempo medio de buen funcionamiento hasta su próxima falla.

Tabla 21

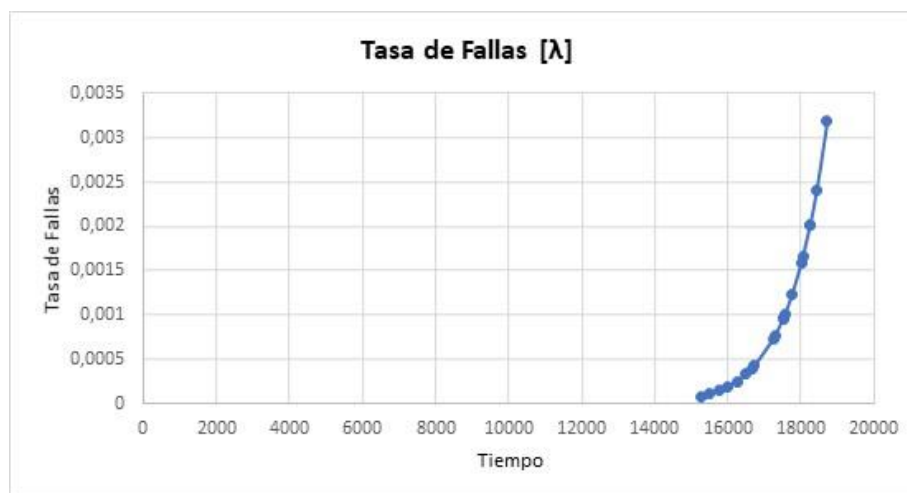
Resultados de los Parámetros de Weibull del Tractor 25 Caterpillar D7R

Weibull	
β	19,0364299
η	17627,0066
cte	186,122744
MTBF	17138,4426

Con ello al tener un parámetro Beta, $\beta = 19,036$, indica que la máquina se encuentra en la fase III de la curva de la bañera denominada como fase de “*envejecimiento*”, con una tasa de fallas creciente como se puede observar en la figura 15.

Figura 15

Tasa de Fallas del Tractor 25 Caterpillar D7R



Nota. Realizada por los autores.

Del mismo modo con respecto al parámetro de escala Eta, se tiene un valor de, $\eta = 17627,0066$ horas, el cual indica el tiempo de funcionamiento hasta que falle con una seguridad del 63,2%, denominado como el percentil 63,2 de los datos, lo que resulta en que la máquina tiene una confiabilidad a las 17627.0066 horas del 36,8%. Con lo que se debe resaltar el tiempo medio de buen funcionamiento, $MTBF = 17135,4426$ horas, como un valor de tiempo recomendable para realizar el mantenimiento adecuado a la máquina, en relación al parámetro de escala, se puede observar que la confiabilidad en el tiempo medio de buen funcionamiento es mayor, con un 38,56%, reforzando así la actividad de mantenimiento, para mantener o elevar la confiabilidad de la máquina, en otro aspecto se puede afirmar que la máquina ha producido gran costo a la empresa por la cantidad de mantenimientos que ha recibido lo que la posiciona como una de las máquinas más críticas, así como se pudo observar con el diagrama de Pareto en el capítulo II.

7.3.2. Tractor 28 Caterpillar D6R

Al igual que el análisis anterior, se extrajeron las horas de trabajo hasta una falla de la máquina que se pueden ver en la tabla 28 del anexo 5, mismos que son ingresados en la herramienta informática, obteniendo así los resultados de la tabla 22, que describen los porcentajes de confiabilidad y desconfiabilidad de la maquinaria, dando un indicio del tiempo que lleva trabajando y de su envejecimiento.

Tabla 22

Resultados de Confiabilidad del Tractor 28 Caterpillar D6R

N(t)	t[Horas]	F(t)	R(t)
1	14996	8,945%	91,055%
2	15000	8,985%	91,015%
3	15250	11,863%	88,137%
4	15300	12,527%	87,473%
5	15500	15,512%	84,488%
6	16000	25,640%	74,360%

7	16177	30,245%	69,755%
8	16250	32,305%	67,695%
9	16500	40,052%	59,948%
10	16750	48,745%	51,255%
11	16812	51,017%	48,983%
12	17000	58,086%	41,914%
13	17000	58,086%	41,914%
14	17250	67,598%	32,402%
15	17682	82,599%	17,401%
16	17750	84,619%	15,381%
17	17750	84,619%	15,381%
18	17763	84,991%	15,009%
19	18088	92,698%	7,302%
20	18164	94,036%	5,964%

Así mismo se pueden ver los resultados en la tabla 22, referentes a los parámetros de Weibull, tanto beta como eta, y finalmente el MTBF, como tiempo medio de buen funcionamiento hasta su próxima falla.

Tabla 23

Resultados de los Parámetros de Weibull del Tractor 28 Caterpillar D6R

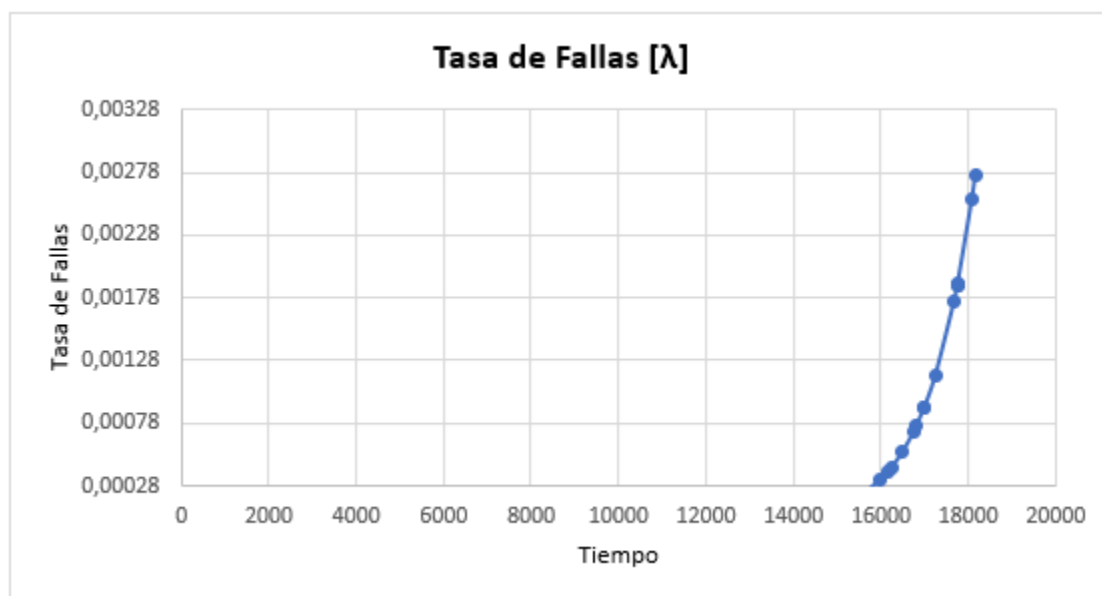
Weibull	
β	17,7614008
η	17134,3202
cte	173,153033
MTBF	16628,5883

Con ello al tener un parámetro Beta, $\beta = 17,7614$, indica que la máquina se encuentra en la fase III de la curva de la bañera denominada como fase de “*envejecimiento*”, con una tasa de fallas creciente como se puede observar en la figura 15, además así describiendo que, por su tiempo de trabajo y la cantidad de mantenimientos realizados, representa un gran costo para la empresa, incluyéndose en el grupo de mayor criticidad en maquinaria. Del mismo modo con respecto al parámetro de escala Eta, se tiene un valor de, $\eta = 17134,3202$ horas, el cual indica el tiempo de

funcionamiento hasta que falle con una seguridad del 63,2%, denominado como el percentil 63,2 de los datos, lo que resulta en que la máquina tiene una confiabilidad a las 17134,3202 horas del 36,8%. Con lo que se debe resaltar el tiempo medio de buen funcionamiento, MTBF = 16628,5883 horas, como un valor de tiempo recomendable para realizar el mantenimiento adecuado a la máquina, en relación al parámetro de escala, se puede observar que la confiabilidad en el tiempo medio de buen funcionamiento es mayor, con un 38,66%, reforzando así la actividad de mantenimiento, para mantener o elevar la confiabilidad de la máquina.

Figura 16

Tasa de Fallas del Tractor 28 Caterpillar D6R



Nota. Realizada por los autores.

7.4.Caso Especial

Para este caso se debe tomar en cuenta distintos aspectos, en primer lugar se resalta la bondad de aplicar un modelo de Weibull sobre otros análisis de confiabilidad, ya que este por su aplicación y concepto se ajusta a distintos modelos de tal forma que se lo puede aplicar a un mayor

rango en la validación de datos, una vez dicho esto, se debe agregar que la herramienta informática analiza e informa al usuario que los datos ingresados se ajustan de mejor forma a otro modelo de confiabilidad conocido como Crow-AMSAA, sin embargo como se mencionó anteriormente, Weibull se ajusta a otros modelos de confiabilidad, por lo que a pesar de que mediante el test de Laplace, la herramienta indique que la distribución de datos se ajuste de mejor forma al modelo de Crow-AMSAA, puede calcular sin problemas la confiabilidad mediante Weibull, el objetivo de este apartado sin embargo es demostrar que una mejor opción es utilizar el modelo de Weibull por sobre la premisa de que los datos se asimilen al modelo de Crow-AMSAA.

Para ello en la tabla 29 se pueden observar los resultados de confiabilidad para una máquina Tractor 3 Caterpillar D7R de la empresa, en esta tabla claramente se ve que los resultados de Crow-AMSAA son en gran medida diferentes a los obtenidos mediante el modelo de Weibull, ya que decae la confiabilidad drásticamente en los primeros mantenimientos, esto se debe a que el modelo de Crow-AMSAA es ideal para analizar modelos de confiabilidad con tiempos de mantenimiento cortos, ya que su análisis se basa en la confiabilidad hasta la o las primeras fallas de tal forma que en un tiempo prolongado de mantenimiento y trabajo de un equipo el modelo de Crow-AMSAA pierde precisión y es por ello que los datos de la tabla 29 del anexo 3 en la confiabilidad de Crow-AMSAA bajan drásticamente de los tiempo de mantenimiento iniciales a los realizados en una cantidad de tiempo considerablemente mayor, y en el caso de Weibull al ajustarse a diversos modelos de confiabilidad y a diversos rangos de datos, puede calcular de manera precisa a lo largo de la vida útil de una maquina pesada como lo es un tractor, rodillo, excavadora etc, cuyos mantenimientos se realizan en intervalos de tiempo grandes

Se presenta este caso ya que puede generar una confusión, que el programa recomiende un modelo diferente del que está basado para calcular la confiabilidad, aclarando con ello que dicho

aviso está programado así, ya que se utilizó un filtrado de datos en base al modelo de Nelson-Aalen y el método de Laplace explicado en anteriores capítulos, y se puede observar mediante un análisis que los datos tienen una tendencia a un “*sistema feliz*” o “*sistema triste*” de Nelson-Aalen, con lo que en base a la teoría se debería aplicar el modelo Crow-AMSAA, pero como se dijo anteriormente este sería ideal solo si el sistema tuviese intervalos cortos de mantenimiento, y por ello el modelo Weibull resulta superior.

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1. Conclusiones

En la presente investigación se desarrolló una herramienta para el estudio de la confiabilidad en flotas de transporte basado en el método de Weibull. En base a lo expuesto en el capítulo I se conoce que al trabajar con distintos componentes se obtienen datos de fallas y para dar a conocer dichas fallas se aplican funciones de densidad que se representan con modelos estadísticos como son la distribución normal, lognormal y exponencial, sin embargo, el modelo utilizado es el modelo de Weibull que a través de su parámetro de forma “*beta*” (β), permite obtener un ajuste a todos los modelos antes mencionados.

Gracias a la recopilación de información de las flotas de transporte referente a las horas de funcionamiento antes de una falla o mantenimiento se ha podido observar los modos de fallo de la maquinaria de la empresa en cuestión, de la cual al tener un historial de mantenimiento divididas por los siguientes sistemas: motor, transmisión, dirección, sistema eléctrico, sistema hidráulico, chasis-carrocería y una gama de actividades extensa que se pueden visualizar tabla 11, misma que se repite para cada máquina de la empresa, se optó por realizar un análisis en conjunto, es decir que se unieron todas las máquinas de acuerdo a su tipo respectivo: tractores, cargadoras, motoniveladoras, retroexcavadoras, excavadoras y rodillos, de los cuales al aplicar un diagrama de Pareto y Curva ABC en el apartado 5.4.1.2, se destacaron que los equipos de mayor criticidad son los Tractores, Cargadoras, Motoniveladoras y Retroexcavadoras, generando un 80% de costos hacia la empresa iguales a \$10 550 323,13, representando los equipos de mayor relevancia que la empresa debe tomar en cuenta para un mantenimiento inmediato, de esta forma se procura que la herramienta informática pueda brindar a la empresa los datos para un análisis de confiabilidad que le ayude a determinar tiempo medio en el que la máquina funcione correctamente hasta que exista

una alta probabilidad de que ocurra un fallo, como se lo realizó en el capítulo IV, para que así la empresa pueda programar un mantenimiento para que su flota vehicular no produzca algún paro inesperado y por ende un mayor gasto por parte de la empresa.

En base al estudio bibliográfico y el análisis de los datos que se explicó anteriormente, se procedió con la creación de la herramienta estadística para el análisis de confiabilidad, que permite el ingreso de datos del operador como de la maquinaria, la unidad de tiempo a utilizar y el número de fallas de dicha maquinaria, una vez ingresado los tiempos hasta antes de la falla, la herramienta genera automáticamente los resultados de confiabilidad, desconfiabilidad, los parámetros de Weibull como son “beta” (β) y “eta” (η), así como el “*tiempo medio de buen funcionamiento*” (*MTBF*), de tal forma que el usuario tiene la posibilidad de solo visualizar los resultados o puede ir directamente a la pantalla de “*Generar Informe*”, en esta pantalla tiene la posibilidad de generar un archivo PDF para guardar un registro de dicha maquinaria o puede generar las gráficas de Nelson-Aalen, distribución de Weibull, confiabilidad, desconfiabilidad, tasa de fallos y densidad de fallos en archivos JPG, para un posterior estudio y lectura de dichos informes y gráficas, con ello el usuario, tiene la posibilidad de navegar por las distintas funciones de la herramienta mediante los links de color azul como el mostrado en la figura 11, con el nombre de “*Inicio*”.

Mediante lo expuesto, se realizó la validación de la herramienta informática con los datos brindados por la empresa, en donde se pudo observar que el método de Weibull se ajusta con éxito al rango de datos que maneja la empresa, es por ello que al analizar una muestra de cinco máquinas de la misma, en diferentes fases de la curva de la bañera, los MTBF son congruentes con los porcentajes de confiabilidad, tiempos de mantenimiento y trabajo de cada uno, teniendo para dos tractores en fase de “*mortalidad infantil*” valores de tiempo medio de buen funcionamiento igual a, $MTBF = 8337,62641$ horas para el tractor III y un $MTBF = 2897,57112$ para la Retroexcavadora

II, del mismo modo para una fase de “*vida útil*” se analizó al Rodillo XIV con un MTBF = 22771,8412 horas, y por último dos máquinas en fase de “*envejecimiento*”, el Tractor XXV con un MTBF = 17135,4426 horas y el Tractor XXVIII con un MTBF = 16628,5883 horas, se valida así también lo explicado en el caso especial, Weibull es de gran utilidad para análisis de confiabilidad en los cuales el tiempo de buen funcionamiento es mayor, a pesar de que por la validación del Test de Laplace y Nelson Aalen, la opción obvia sería el modelo de Crow-AMSAA, los resultados muestran que la herramienta informática es en su totalidad mucho más eficaz y versátil utilizando el modelo de Weibull.

8.2.Recomendaciones

Se recomienda que la empresa tome todos los datos de funcionamiento de las flotas hasta antes de la falla o mantenimiento con la finalidad de que al aplicar la herramienta informática sea lo más precisa posible con los datos ingresados.

También es recomendable una capacitación sobre el uso de la herramienta informática con el fin de garantizar el uso adecuado de la misma, además de capacitar al personal sobre la interpretación de los resultados obtenidos con el software para poder programar mantenimientos a tiempo y con esto evitar tiempos de paro innecesarios.

9. ANEXOS

9.1. Anexo 1

Tabla 24

Horas de Trabajo y Mantenimiento Realizado en el Tractor 3 KOMATSU D85A-12

TRACTOR 3		KOMATSU D85A-12
HORAS DE TRABAJO	MANTENIMIENTO REALIZADO	
1 HRS	Cambio de pernos rotos en carrileras	
1 HRS	Cambio de filtro de aceite, by pass, 13 gal de aceite 40	
1 HRS	Revisión de fugas de aceite y combustible, instalación de horómetro	
1 HRS	Revisión del sistema de combustible/fuga, construcción de una manguera s/m, reconstrucción de base de la boya de combustible	
140 HRS	Construcción de dos mangueras s/m, revisión y arreglo de pin master y refuerzos de bases del planchón, construcción de una manguera del hidráulico s/m	
170 HRS	Cambio de aceites y filtros	
560 HRS	Construcción de una manguera del hidráulico s/m	
800 HRS	Cambio de aceite motor	
800 HRS	Cambio de aceite general	
2021 HRS	Sueldas varias, refuerzo de la base del planchón, extracción de cañería rota	
1068 HRS	Revisión de acople de base de bomba de transmisión	
1500 HRS	Revisión eléctrica	
1500 HRS	Revisión y arreglo de chasis	
1750 HRS	Revisión del consumo de motor	
1750 HRS	Revisión de bandas	
1750 HRS	Cambio de aceite y filtros de motor	
2000 HRS	Cambio de aceite y filtros de motor	
2268 HRS	Revisión del consumo de motor	
2268 HRS	Revisión del servo transmisión, revisión de fugas de aceite general, desmontaje del tanque de combustible para lavado, construcción de manguera, revisión de bornes de batería	
2268 HRS	Revisión y mantenimiento de turbo	
2500 HRS	Lavado de tanque de combustible	
2569 HRS	Revisión de los mandos finales y corrección de aceite de la transmisión, construcción de chaveta según muestra, construcción de seguro según muestra, reparación de espejo de mandos finales, retapizado de asiento de operador, arreglo de agujeros de espejos, construcción de manguera según muestra	
2569 HRS	Construcción de una manguera según muestra, cambio de baterías, reparación de acople de la bomba de transmisión	

2569 HRS	Cambio de la bomba de dirección, reparación de chasis, reparación de acople de la bomba de transmisión, construcción de seguro para amarre, construcción de una manguera según muestra, cambio de baterías
2569 HRS	Revisión y comprobación de cabezotes, revisión y calibración de inyectores, revisión de la bomba de inyección, cambio de aceite y filtros de motor
2569 HRS	Construcción de ángulo de válvula en el cabezote nuevo
2569 HRS	Revisión y comprobación de árbol de levas
2569 HRS	Construcción de mangueras según muestra, arreglo de guía de cigüeñal para volante motor, construcción de alza para base de cañería, limpieza de enfriador de aceite de motor, cambio de: capsulas de inyectores, bujes de brazo de biela, bujes de árbol de levas, revisión de cabezotes

9.2.Anexo 2

Tabla 25

Horas de Trabajo y Mantenimiento Realizado en la Retroexcavadora 2 John Deere 410 E

RETROEXCAVADORA 2		JOHN DEERE 410 E
HORAS DE TRABAJO	MANTENIMIENTO REALIZADO	
1310 HRS	Reparación fugas de aceite	
750 HRS	Mantenimiento preventivo, cambio de aceite y filtros de motor	
1750 HRS	ABC motor	
1000 HRS	Mantenimiento preventivo, cambio de aceite y filtros de motor	
1250 HRS	Mantenimiento preventivo, cambio de aceite y filtros de motor	
1500 HRS	Mantenimiento preventivo, cambio de aceite y filtros de motor	
1750 HRS	Mantenimiento preventivo, cambio de aceite y filtros de motor	
2000 HRS	Mantenimiento preventivo, cambio de aceite y filtros de motor	
2250 HRS	Mantenimiento preventivo, cambio de aceite y filtros de motor	
2500 HRS	Mantenimiento preventivo, cambio de aceite y filtros de motor, reemplazo de cucharón por desgaste	
2750 HRS	Mantenimiento preventivo, cambio de aceite y filtros de motor, cambio de llantas delanteras	
3000 HRS	Mantenimiento preventivo, cambio de aceite y filtros de motor	
3250 HRS	Mantenimiento preventivo, cambio de aceite y filtros de motor	
3500 HRS	Mantenimiento preventivo, cambio de aceite y filtros de motor	
3750 HRS	Mantenimiento preventivo, cambio de aceite y filtros de motor	
4000 HRS	Mantenimiento preventivo, cambio de aceite y filtros de motor	
68 HRS	Construcción de dos pasadores según muestra	
250 HRS	Mantenimiento preventivo, cambio de aceite y filtros de motor	
3750 HRS	Revisión del horómetro, tablero, luces, pito de retro	
235 HRS	Cambio de terminales de dirección, sueldas varias en el brazo extensible	
500 HRS	Mantenimiento preventivo, cambio de aceite y filtros de motor	
525 HRS	Cambio de crucetas de las manzanas de las ruedas delanteras	

654 HRS	Construcción de dos mangueras hidráulicas s/m, revisión de mangueras rotas
654 HRS	Reemplazo de manguera hidráulica
750 HRS	Mantenimiento preventivo, cambio de aceite y filtros de motor
1000 HRS	Mantenimiento preventivo, cambio de aceite y filtros de motor, cambio de filtros y aceite general
966 HRS	Retapizado de asiento de operador, revisión de fugas de aceite
1250 HRS	Mantenimiento preventivo, cambio de aceite y filtros de motor
1320 HRS	Cambio de filtro de combustible
1421 HRS	Engrasado de la maquina
1430 HRS	Reparación pin de gato estabilizador
1500 HRS	Cambio de aceite del motor, filtro de aceite, combustible, tanque
23170 HRS	Reparación neumática
23158 HRS	Reparación neumática
23158 HRS	Cambio de aceite motor, transmisión, diferenciales, filtros aceite, combustible, transmisión, hidráulico, racor, aire 1 y 2, respiradero

9.3.Anexo 3

Tabla 26

Horas de Trabajo y Mantenimiento Realizado en el Rodillo 14 Ingersoll Rand DD90

RODILLO 14		INGERSOLL RAND DD90
HORAS DE TRABAJO		MANTENIMIENTO REALIZADO
3500 HRS	Cambio de aceite y filtro de motor	
20300 HRS	Mantenimiento preventivo de 250 horas. (filtro de aceite, combustible, separador, 2,5 gal aceite 15w40)	
20700 HRS	Mantenimiento preventivo 250 horas (filtro de aceite, diesel separador, hidráulico, aire primario y secundario, 2,5 gal de aceite 15w40, 15 gal de aceite 10 hidráulico, 4 gal de aceite 80w90 coronas, 1,5 gal de aceite 15w40 maza)	
20960 HRS	Revisión de fugas de aceite	
21000 HRS	Mantenimiento preventivo de 250 horas. (filtro de aceite, combustible, separador, 2,5 gal aceite 15w40)	
21500 HRS	La masa se encuentra baja	
2045 HRS	Revisión de consumo de aceite de motor, corrección de fuga de refrigerante del motor, revisión de vibración alta	
21650 HRS	Mantenimiento del motor	
21650 HRS	Mantenimiento preventivo de 250 horas. (filtro de aceite, combustible, separador, 2,5 gal aceite 15w40)	
21901 HRS	Arreglo de manguera hidráulica, nivelación de aceite hidráulico	

9.4.Anexo 4

Tabla 27

Horas de Trabajo y Mantenimiento Realizado en el Tractor 25 Caterpillar D7R

TRACTOR 25		CATERPILLAR D7R
HORAS DE TRABAJO	MANTENIMIENTO REALIZADO	
15250 HRS	Mantenimiento preventivo, cambio de aceite y filtros de motor	
15500 HRS	Mantenimiento preventivo, cambio de aceite y filtros de motor	
15750 HRS	Mantenimiento preventivo, cambio de aceite y filtros de motor	
16000 HRS	Mantenimiento preventivo, cambio de aceite y filtros de motor	
16250 HRS	Mantenimiento preventivo, cambio de aceite y filtros de motor	
16672 HRS	Construcción de platina de refuerzo de planchón s/m, construcción de cañería de paso de combustible	
16500 HRS	Mantenimiento preventivo, cambio de aceite y filtros de motor	
16725 HRS	Mantenimiento preventivo, cambio de aceite y filtros de motor, revisión del tren de rodaje y templador de cadenas	
17290 HRS	Extracción de pernos rotos, cambio de pernos y bujes de las carrileras, sueldas del planchón, construcción de 12 pernos y tubos de carrilera s/m	
17250 HRS	Mantenimiento preventivo, cambio de aceite y filtros de motor	
17520 HRS	Instalación de cañería de paso de combustible	
17500 HRS	Mantenimiento preventivo, cambio de aceite y filtros de motor	
17550 HRS	Cambio de cuchillas, cambio de esquineros, cambio de brazos y dientes de ripper	
17750 HRS	Mantenimiento preventivo, cambio de aceite y filtros de motor	
18048 HRS	Construcción de una manguera s/m	
18000 HRS	Mantenimiento preventivo, cambio de aceite y filtros de motor	
18250 HRS	ABC motor	
18250 HRS	Mantenimiento preventivo, cambio de aceite y filtros de motor	
18425 HRS	Arreglos de la u, sueldas varias	
18715 HRS	Cambio de aceite motor, filtros aceite y combustible	

9.5.Anexo 5

Tabla 28

Horas de Trabajo y Mantenimiento Realizado en el Tractor 28 Caterpillar D6R

TRACTOR 28		CATERPILLAR D6R
HORAS DE TRABAJO	MANTENIMIENTO REALIZADO	

14996 HRS	Revisión de luces y pito
15000 HRS	Mantenimiento preventivo, cambio de aceite y filtros de motor, calibración de válvulas de admisión y escape
15300 HRS	Limpieza de respiradero del cárter del motor
15250 HRS	Mantenimiento preventivo, cambio de aceite y filtros de motor, calibración de válvulas de admisión y escape
15500 HRS	Mantenimiento preventivo, cambio de aceite y filtros de motor, calibración de válvulas de admisión y escape
16177 HRS	Construcción de una manguera s/m
16000 HRS	Mantenimiento preventivo, cambio de aceite y filtros de motor, calibración de válvulas de admisión y escape
16250 HRS	Mantenimiento preventivo, cambio de aceite y filtros de motor, calibración de válvulas de admisión y escape
16500 HRS	Mantenimiento preventivo, cambio de aceite y filtros de motor, calibración de válvulas de admisión y escape
16812 HRS	Cambio de manguera de paso de agua del radiador
16750 HRS	Mantenimiento preventivo, cambio de aceite y filtros de motor, calibración de válvulas de admisión y escape
17000 HRS	Construcción de una manguera s/m, reparación de la u, corrección de fuga de refrigerante del motor, construcción de seis arandelas según muestra
17000 HRS	Mantenimiento preventivo, cambio de aceite y filtros de motor, mantenimiento general
17250 HRS	Mantenimiento preventivo, cambio de aceite y filtros de motor, mantenimiento general
17682 HRS	Arreglo de una manguera hidráulica
17750 HRS	Mantenimiento preventivo, cambio de aceite y filtros de motor, calibración de válvulas de admisión y escape
17750 HRS	ABC motor, cambio de aceite de motor
17763 HRS	Construcción de una manguera s/m
18088 HRS	Soldadura pin de viga
18164 HRS	Arreglo sistema eléctrico

9.6.Anexo 6

Tabla 29

Comparación Confiabilidad Método Weibull y Crow-AMSAA para el Tractor 3 Caterpillar D7R

N(t)	t[Horas]	R(t) - Weibull	R(t) – Crow-AMSAA
1	1	94,572%	46,480%
2	1	94,572%	46,480%
3	1	94,572%	46,480%
4	1	94,572%	46,480%
5	140	69,802%	0,718%
6	170	67,922%	0,494%

7	560	54,537%	0,024%
8	800	49,980%	0,007%
9	800	49,980%	0,007%
10	1068	46,147%	0,002%
11	1500	41,520%	0,001%
12	1500	41,520%	0,001%
13	1750	39,393%	0,000%
14	1750	39,393%	0,000%
15	1750	39,393%	0,000%
16	2000	37,543%	0,000%
17	2021	37,398%	0,000%
18	2268	35,799%	0,000%
19	2268	35,799%	0,000%
20	2500	34,450%	0,000%
21	2569	34,073%	0,000%
22	2569	34,073%	0,000%
23	2569	34,073%	0,000%
24	2569	34,073%	0,000%
25	2569	34,073%	0,000%
26	2569	34,073%	0,000%
27	2569	34,073%	0,000%

10. BIBLIOGRAFÍA

- Agualongo, L. (2019). *Análisis de fiabilidad de máquinas y equipos por la ley de Weibull en el área de extrusión de la empresa HLVIPLAS S.A. y su incidencia en la disponibilidad*. Ambato: COHORTE.
- Alvarez, I. (2017). *Implementación de la Metodología RCM para los Vehículos de Emergencia del Benemérito Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Cuenca*. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana.
- Arbelaez, M. (2006). *Pronóstico de Fallas de Sistemas Reparables Utilizando Redes Neuronales Artificiales*. Pereira: Scientia et Technica.
- Barberá, L., González, V., Stegmaier, R., & Viveros, P. (2010). *Análisis del gráfico Nelson Aalen Modificado como soporte a la toma de decisiones en la gestión global del mantenimiento*. Industria Farmacéutica.
- Barrenechea, L. (2018). *Técnicas no paramétricas y modelos de regresión para datos de tiempo de vida*. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- Bolaños, R. (2019). *Diagrama de Pareto*. Estado de Hidalgo : UAEH.
- Campbell, J., & Reyes, J. (2016). *Strategies for Excellence in Maintenance Management*. New York: CRC Press.
- Campbell, J., Jardine , A., & McGlynn, J. (2011). *Asset Management Excellence*. New York: CRC Press.
- Chávez, M., Jiménez, J., & Cucuri , M. (2019). *Análisis de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad (CMD) del sistema de reinyección de agua de formación*. Orellana: KOINONIA.
- Echeverría, A. (1996). *Guía para la Elaboración de Diagramas de Flujo*. Instituto Latinoamericano de Investigación y Capacitación Administrativa.
- Fernandez, J. (2016). *Introducción a la gestión de flotas de vehículos*. Madrid: Advanced Fleet Management Consulting.
- INEN. (2016). *Normativa Técnica Ecuatoriana NTE*. Quito: INEN 2656.
- Izar, J., & González , J. (01 de 06 de 2022). *Researchgate*. Obtenido de CAPÍTULO IV 4.1 Diagrama de Pareto:
https://www.researchgate.net/publication/303876853_CAPITULO_IV_41_Diagrama_de_Pareto
- Jardine, A., & Tsang, A. (2013). Component Replacement Decisions. En A. Jardine, & A. Tsang, *Maintenance, Replacement and Reliability Theory and Applications* (págs. 67-68). London: CRC Press.
- Jardine, A., & Tsang, A. (2013). Weibull Analysis. En A. Jardine, & A. Tsang, *Maintenance, Replacement and Reliability* (págs. 262-266). London: CRC Press.
- Montoya , J., & Martínez, G. (2015). *Comparación de estimadores no paramétricos frente a los paramétricos para la función de confiabilidad*. Cádiz: Departamento de Matemáticas y Física GINESA.

- Pascual, R. (2009). Análisis de confiabilidad. En R. Pascual, *El Arte de Mantener* (págs. 138-166). Santiago: Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Salazar, R., Fitz, E., López, I., & Rojano, A. (2017). Confiabilidad y Análisis de Fallas Utilizando la Distribución Weibull. En R. Salazar, E. Fitz, I. López, & A. Rojano, *Sexto Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas 21 y 22 de Septiembre de 2017* (págs. 6-16). Texcoco: Edo México CP.
- Tang, Z., Yu, J., Zhou, W., & Zhou, C. (2012). *Comparison of Weibull Distribution and Crow-Amsaa Model used in Cable Failure Analysis*. Wuhan: Spring World Congress on Engineering and Technology. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/261259165_Comparison_of_Weibull_Distribution_and_Crow-AMSAA_Model_Used_in_Cable_Failure_Analysis
- Valera, R., & Valsdsher, R. (2016). *Gestión de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad para una Máquina Papelera*. Naguanagua: Facultad de ingeniería UDC.