

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ  
ESCUELA DE POSGRADO  
UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE  
INGENIERÍA MECÁNICA**



**TESIS:**

**ANÁLISIS CUANTITATIVO DE FALLAS PARA DETERMINAR LA  
CONFIABILIDAD Y ETAPA DE VIDA DE COMPONENTES DEL  
SCOOP R1600H EN MINA ARGENTUM**

**Presentado por:**

**EUGENIO PACHECO CASO**

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN  
INGENIERÍA MECÁNICA CON LA MENCIÓN DE:**

**GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO Y LA SOSTENIBILIDAD**

**Huancayo – Perú**

**2023**



**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 001-2024/UPG-FIME  
PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN INGENIERÍA MECÁNICA, MENCIÓN  
EN GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO Y LA SOSTENIBILIDAD**

En las instalaciones de la Unidad de posgrado, aula 307, pabellón “B” de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Nacional del Centro del Perú, siendo las 12:30 horas del día 22 de enero del año 2024, se reúnen los integrantes del Jurado de Sustentación de Tesis conformado por:

- Dr. CIRO ABELARDO ESPINOZA MONTES : Presidente
- Dr. WUILBER CLEMENTE DE LA CRUZ : Secretario
- Dr. ARTURO HUBER GAMARRA MORENO : Jurado
- Dr. WUILBER CLEMENTE DE LA CRUZ : Jurado
- Dr. OSCAR PAUL HUARI VILA : Jurado

Se reunieron para la sustentación oral y pública de la Tesis, para optar el grado Académico de Maestro en Ingeniería Mecánica, mención en Gestión del Mantenimiento y la Sostenibilidad, que solicito el egresado Don: **EUGENIO PACHECO CASO**.

El acto de sustentación comenzó con la lectura de RESOLUCIÓN N° 001- 2024 - DUPG FIM/EPG - UNCP, de fecha 19 de enero del año 2024 por parte del secretario; asimismo se hizo la presentación respectiva de la tesis titulada: “**ANÁLISIS CUANTITATIVO DE FALLAS PARA DETERMINAR LA CONFIABILIDAD Y ETAPA DE VIDA DE COMPONENTES DEL SCOOP R1600H EN MINA ARGENTUM**”, por parte del asesor **Dr. WUILBER CLEMENTE DE LA CRUZ**.

Acto seguido, se invitó al sustentante para su exposición y defensa de dicha tesis, concluida esta se formuló las preguntas, los mismos que fueron defendidas y absueltas por el graduando. Finalmente, luego de la deliberación del jurado evaluador se dio como resultado lo siguiente.

CALIFICATIVO CUANTITATIVO

**16**

RESULTADO CUALITATIVO

**BUENO**

Siendo las: 13:45 horas se da por culminada el acto de sustentación.

Se expide la presente acta en Huancayo a los 22 días del mes de enero del año 2024.



Dr. CIRO ABELARDO ESPINOZA MONTES  
**Presidente**



Dr. WUILBER CLEMENTE DE LA CRUZ  
**Secretario**



Dr. ARTURO HUBER GAMARRA MORENO  
**Miembro del Jurado**



Dr. WUILBER CLEMENTE DE LA CRUZ  
**Miembro del Jurado**



Dr. OSCAR PAUL HUARI VILA  
**Miembro del Jurado**



**INFORME N° 049 - 2023-WCD-DA-UPG/FIME-UNCP**

A : Dr. CIRO ABELARDO ESPINOZA MONTES  
DIRECTOR DE LA UPG FIME  
DE : Dr. WUILBER CLEMENTE DE LA CRUZ  
Docente Asesor de Tesis  
ASUNTO : Originalidad del informe final de Tesis  
FECHA : Huancayo, 11 de diciembre de 2023

Mediante el presente me dirijo a usted, con la finalidad de informarle sobre la originalidad del informe final de tesis titulado: "ANÁLISIS CUANTITATIVO DE FALLAS PARA DETERMINAR LA CONFIABILIDAD Y ETAPA DE VIDA DE COMPONENTES DEL SCOOP R1600H EN MINA ARGENTUM", presentado por el egresado EUGENIO PACHECO CASO, el mismo que posee 85% de originalidad y 15% de similitud, tal como indica el reporte adjunto, al cual refrendo bajo responsabilidad.

Es cuanto informo a usted, para los fines pertinentes.

Atentamente;

---

Dr. WUILBER CLEMENTE DE LA CRUZ  
Docente Asesor

# ANÁLISIS CUANTITATIVO DE FALLAS PARA DETERMINAR LA CONFIABILIDAD Y ETAPA DE VIDA DE COMPONENTES DEL SCOOP R1600H EN MINA ARGENTUM

## INFORME DE ORIGINALIDAD

15%

INDICE DE SIMILITUD

15%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

8%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="http://repositorio.unsa.edu.pe">repositorio.unsa.edu.pe</a> Fuente de Internet	2%
2	<a href="http://repositorio.uncp.edu.pe">repositorio.uncp.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
3	Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru Trabajo del estudiante	1%
4	<a href="http://es.slideshare.net">es.slideshare.net</a> Fuente de Internet	1%
5	<a href="http://bdigital.unal.edu.co">bdigital.unal.edu.co</a> Fuente de Internet	1%
6	<a href="http://somoshalcones.com">somoshalcones.com</a> Fuente de Internet	1%
7	<a href="http://elvisjgblog.files.wordpress.com">elvisjgblog.files.wordpress.com</a> Fuente de Internet	1%
8	<a href="http://www.riaa.uaem.mx">www.riaa.uaem.mx</a> Fuente de Internet	1%



Trabajo del estudiante

<1 %

43

repositorio.uap.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

44

Submitted to tec

Trabajo del estudiante

<1 %

45

www.clubensayos.com

Fuente de Internet

<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 15 words

Excluir bibliografía

Activo

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Quilante'.

**ASESOR:**

**Mg. WUILBER CLEMENTE DE LA CRUZ**

**DNI: 20021012**

**Código ORCID:000-0002-2634-7737**

## **AGRADECIMIENTO**

A mi esposa e hijos por el apoyo permanente y motivación para el logro de mis objetivos y metas.

## **DEDICATORIA**

A la memoria de mi padre por brindarnos sus enseñanzas y valores los cuales perduraran por siempre como pilar para nuestra familia.



## INDICE GENERAL

ASESOR: .....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
DEDICATORIA.....	v
INDICE GENERAL .....	vi
INDICE DE FIGURAS .....	viii
INDICE DE TABLAS .....	ix
RESUMEN .....	xiv
ABSTRAC .....	xv
INTRODUCCIÓN .....	xvi
Capítulo 1: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO .....	1
1.1 FUNDAMENTACIÓN DEL PROBLEMA .....	1
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	5
1.3 OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN .....	5
1.4 JUSTIFICACION .....	6
Capítulo 2: MARCO TEORICO .....	7
2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN .....	7
2.2 BASES TEÓRICAS .....	10
2.3 DEFINICIONES CONCEPTUALES Y OPERACIONALES.....	35

2.4 SISTEMA DE HIPÓTESIS .....	37
Capítulo 3: DISEÑO METODOLÓGICO.....	38
3.1 MÉTODO DE INVESTIGACIÓN .....	38
3.2 TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACION .....	39
3.3 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN .....	39
3.4 UNIDAD DE OBSERVACIÓN .....	39
3.5 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS.....	40
3.6 PROCESAMIENTO DE DATOS .....	41
Capítulo 4: RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	42
4.1 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS .....	42
4.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS .....	88
4.3 PRUEBA DE HIPÓTESIS .....	93
4.4 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....	125
4.5 DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	127
CONCLUSIONES.....	129
RECOMENDACIONES .....	131
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	133
ANEXOS .....	136

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mapa del distrito minero de Morococha

Figura 2: Scoop R1600H

Figura 3: Expectativas del mantenimiento

Figura 4: Cambios en los puntos de vista sobre la falla de equipos

Figura 5: Cambios en los técnicos de mantenimiento

Figura 6: Patrones de falla para diferentes componentes

Figura 7: Curva de la bañera o de Davis

Figura 8: Curva confiabilidad

Figura 9: Secuencia del modelo de confiabilidad

Figura 10 Distribución para estimar confiabilidad

Figura 11: Unidad observación

Figura 12: Reporte Orden Trabajo

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Producción UEA Argentum

Tabla 2: Significancia para distribuciones

Tabla 3: Tiempo entre fallas Weibull Motor Diésel

Tabla 4: Probabilidad acumulada de falla Weibull Motor Diésel

Tabla 5: Aproximación de la confiabilidad Weibull Motor Diésel

Tabla 6: Valores de la Abscisa X Weibull Motor Diésel

Tabla 7: Valores de la Ordenada Y Weibull Motor Diésel

Tabla 8 Parámetros Distribución Weibull Motor Diésel

Tabla 9 Valores de confiabilidad Weibull Motor Diésel

Tabla 10 Tiempo medio entre fallas Normal Motor Diésel

Tabla 11: Probabilidad acumulada de falla Normal Motor Diésel

Tabla 12: Valores de la abscisa X Normal Motor Diésel

Tabla 13: Valores de la ordenada Y Normal Motor Diésel

Tabla 14: Parámetros Distribución Normal Motor Diésel

Tabla 15: Valores de la confiabilidad Normal Motor Diésel

Tabla 16: Tiempo medio entre fallas Exponencial Motor Diésel

Tabla 17: Probabilidad acumulada de falla Exponencial Motor Diésel

Tabla 18: Aproximación de la confiabilidad Exponencial Motor Diésel

Tabla 19: Valores de la abscisa X Exponencial Motor Diésel

Tabla 20: Valores de la ordenada Y Exponencial Motor Diésel

Tabla 21: Parámetros Distribución Exponencial Motor Diésel

Tabla 22: Valores de confiabilidad Exponencial Motor Diésel

Tabla 23: Valores de la Abscisa X y Ordenada Y Weibull Caja Transmisión

Tabla 24: Parámetros Distribución Weibull Caja Transmisión

Tabla 25: Valores de confiabilidad Weibull Caja Transmisión

Tabla 26: Valores de la Abscisa X y Ordenada Y Normal Caja Transmisión

Tabla 27: Parámetros Distribución Normal Caja Transmisión

Tabla 28: Valores de confiabilidad Normal Caja Transmisión

Tabla 29: Valores de la Abscisa X y Ordenada Y Exponencial Caja Transmisión

Tabla 30: Parámetros Distribución Exponencial Caja Transmisión

Tabla 31: Valores de confiabilidad Exponencial Caja Transmisión

Tabla 32: Valores de la Abscisa X y Ordenada Y Weibull Eje Delantero

Tabla 33: Parámetros Distribución Weibull Eje Delantero

Tabla 34: Valores de confiabilidad Weibull Eje Delantero

Tabla 35: Valores de la Abscisa X y Ordenada Y Normal Eje Delantero

Tabla 36: Parámetros Distribución Normal Eje Delantero

Tabla 37: Valores de confiabilidad Normal Eje Delantero

Tabla 38: Valores de la Abscisa X y Ordenada Y Exponencial Eje Delantero

Tabla 39: Parámetros Distribución Exponencial Eje Delantero

Tabla 40: Valores de confiabilidad Exponencial Eje Delantero

Tabla 41: Valores de la Abscisa X y Ordenada Y Weibull Eje Posterior

Tabla 42: Parámetros Distribución Weibull Eje Posterior

Tabla 43: Valores de confiabilidad Weibull Eje Posterior

Tabla 44: Valores de la Abscisa X y Ordenada Y Normal Eje Posterior

Tabla 45: Parámetros Distribución Normal Eje Posterior

Tabla 46: Valores de confiabilidad Normal Eje Posterior

Tabla 47: Valores de la Abscisa X y Ordenada Y Exponencial Eje Posterior

Tabla 48: Parámetros Distribución Exponencial Eje Posterior

Tabla 49: Valores de confiabilidad Exponencial Eje Posterior

Tabla 50: Indicadores y parámetros de confiabilidad del Motor Diésel.

Tabla 51: Indicadores y parámetros de confiabilidad de la Caja Transmisión.

Tabla 52: Indicadores y parámetros de confiabilidad del Eje Delantero

Tabla 53: Indicadores y parámetros de confiabilidad del Eje Posterior

Tabla 54: Datos de E1 y E2 Weibull Motor Diésel

- Tabla 55: Prueba de bondad distribución Weibull Motor Diésel
- Tabla 56: Datos de E1 y E2 Normal Motor Diésel
- Tabla 57: Prueba de bondad distribución Normal Motor Diésel
- Tabla 58: Datos de E1 y E2 Exponencial Motor Diésel
- Tabla 59: Prueba de bondad distribución Exponencial Motor Diésel
- Tabla 60: Datos de E1 y E2 Weibull Caja Transmisión
- Tabla 61: Prueba de bondad distribución Weibull Caja Transmisión
- Tabla 62: Datos de E1 y E2 Normal Caja Transmisión
- Tabla 63: Prueba de bondad distribución Normal Caja Transmisión
- Tabla 64: Datos de E1 y E2 Exponencial Caja Transmisión
- Tabla 65: Prueba de bondad distribución Exponencial Caja Transmisión
- Tabla 66: Datos de E1 y E2 Weibull Eje Delantero
- Tabla 67: Prueba de bondad distribución Weibull Eje Delantero
- Tabla 68: Datos de E1 y E2 Normal Eje Delantero
- Tabla 69: Prueba de bondad distribución Normal Eje Delantero
- Tabla 70: Datos de E1 y E2 Exponencial Eje Delantero
- Tabla 71: Prueba de bondad distribución Exponencial Eje Delantero
- Tabla 72: Datos de E1 y E2 Weibull Eje Posterior
- Tabla 73: Prueba de bondad distribución Weibull Eje Posterior
- Tabla 74: Datos de E1 y E2 Normal Eje Posterior
- Tabla 75: Prueba de bondad distribución Normal Eje Posterior

Tabla 76: Datos de E1 y E2 Exponencial Eje Posterior

Tabla 77: Prueba de bondad distribución Exponencial Eje Posterior

Tabla 78: Resumen de distribuciones de componentes

Tabla 79: Confiabilidad componentes Scoop R1600H

Tabla 80: Resumen de parámetros Beta y etapa de vida componentes



## RESUMEN

### **ANÁLISIS CUANTITATIVO DE FALLAS PARA DETERMINAR LA CONFIABILIDAD Y ETAPA DE VIDA DE COMPONENTES DEL SCOOP R1600H EN MINA ARGENTUM**

La investigación que se realizó es del tipo básica y de nivel explicativo, se ha utilizado el pensamiento sistémico para el entendimiento de las leyes fundamentales y análisis de la causa y efecto del estudio.

El objetivo de esta investigación es realizar el análisis cuantitativo de fallas mediante un modelo matemático para determinar la confiabilidad y etapa de vida componentes del scoop R1600H en la mina Argentum; para lo cual se ha utilizado la distribución weibull.

Para la ejecución de la investigación se utilizó el diseño causal ya que se recolectaron muestras de datos de falla para observar el comportamiento de la variable confiabilidad. De los resultados obtenidos se identificó los modelos matemáticos que describen la confiabilidad, también la etapa de vida útil en que se encuentran los componentes del scoop R1600H. Se dio a conocer la aplicación de la distribución Weibull para modelar los datos de falla y así determinar la confiabilidad de los componentes del equipo scoop R1600H.

Autor: Eugenio Pacheco Caso

**Palabras claves:** Análisis de datos, modos de falla, distribución weibull, confiabilidad y modelamiento.

## **ABSTRAC**

### **QUANTITATIVE ANALYSIS OF FAILURES TO ESTIMATE THE RELIABILITY AND LIFE STAGE OF THE SCOOP R1600H COMPONENTS IN MINA ARGENTUM**

The research that was carried out is of the basic type and of an explanatory level, systemic thinking has been used to understand the fundamental laws and analysis of the cause and effect of the study.

The objective of this research is to perform the quantitative failure analysis using a mathematical model to estimate the reliability and life stage of the R1600H scoop components at the Argentum mine; for which the weibull distribution has been used.

For the execution of the research, the causal design was used since samples of failure data were collected to observe the behavior of the reliability variable. From the results obtained, the mathematical models that describe the reliability were identified, as well as the useful life stage of the components of the R1600H scoop. The application of the Weibull distribution was announced to model the failure data and thus determine the reliability of the components of the scoop R1600H equipment.

**Author:** Eugenio Pacheco Caso

**Key words:** Data analysis, failure modes, weibull distribution, reliability and modeling.

## INTRODUCCIÓN

La producción de una mina de socavón esta en función de la cantidad de mineral que puede ser movilizado por los equipos de acarreo “scoops”, esta producción se ve afectada cuando el equipo pierde su funcionabilidad producto de fallas en los equipos. Es así que surge la necesidad de estudiar a profundidad los mecanismos a través de las cuales se produce una falla para si evitar su aparición o minimizar los efectos si es que llega a producirse.

Para el estudio de fallas de los equipos en confiabilidad se utiliza la estimación basada en el historial de fallas mediante el análisis de distribuciones Weibull, Normal y Exponencial con las que nos permiten obtener el valor numérico de la confiabilidad, etapa de vida de los componentes y analizar el desenvolvimiento de la confiabilidad a lo largo del periodo de vida útil del equipo.

La presente tesis consta de cuatro capítulos, en el primer capítulo se describe el planteamiento del estudio donde se fundamenta el problema y se plantean los objetivos; en el segundo capítulo se desarrolla los conceptos del

mantenimiento e ingeniería de confiabilidad, su evolución, patrones de falla, tipos de distribuciones y estimación de parámetros de confiabilidad. En el tercer capítulo se describe el diseño metodológico de la investigación; en el cuarto capítulo se realiza el análisis de los datos de falla del tren de fuerza del scoop R1600H, la validación de la distribución correcta que determine la confiabilidad y la etapa de vida de los componentes del scoop R1600H.

EL AUTOR

## **Capítulo 1:**

### **PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO**

#### **1.1 FUNDAMENTACIÓN DEL PROBLEMA**

La compañía minera Argentum se encuentra ubicada en el distrito de Morococha, provincia de Yauli, departamento de Junín; a una altitud de aproximadamente 4,500 m s. n. m.; se accede por la carretera central a la altura del km 142.

El distrito minero de Morococha está ubicado en el flanco este de la Cordillera Occidental de los Andes del Centro del Perú, a 142 Kilómetros al este de Lima y a 8 kilómetros al este de la divisoria continental, conocida con el nombre de Ticlio. El clima de la región es frígido durante todo el año; marcado por dos estaciones: la húmeda, de noviembre a abril con precipitaciones de nevada y granizo; y la seca, durante el resto del año, con frío más intenso y

precipitaciones esporádicas. La temperatura de verano varía de 3° a 20° C y en invierno de -4 °C a 14 °C, la velocidad de los vientos alcanza a 45 a 50 Km/h.

Las coordenadas geográficas que corresponden a la zona son:

76° 08' Longitud Oeste. 11° 36' Latitud Sur

**Figura 1: Mapa del distrito minero Morococha**



Nota: Tomado de la Facultad Geología UNSA, 2017

Argentum, es una empresa minera subterránea; dedicada a las actividades de explotación, extracción, tratamiento y venta de minerales; produce concentrados de plomo, cobre, zinc y plata, tal como se aprecia en la tabla 1. Se ubica en la categoría de mediana minería con una producción promedio anual en los últimos cinco años de cerca de 2.5 millones de onzas de plata, más de 15 mil TM de zinc, 5 mil TM de plomo, 3 mil TM de cobre.

**Tabla 1: Producción UEA ARGENTUM**

Mineral	2017	2018	2019	2020	2021 <sup>U</sup>
Ag (Miles de Oz)	2,854	3,123	2,661	1,271	2,169
Zn (TM)	17,484	24,032	24,386	10,688	15,394
Pb (TM)	3,754	5,086	7,109	3,753	5,047
Cu (TM)	7,196	3,580	1,982	959	2,100
Au (Oz)	3,822	2,264	1,505	635	1,048

Nota: Elaboración propia

Para la actividad de explotación se utilizan equipos de bajo perfil, dentro de los cuales se encuentra el equipo scoop R1600H el cual cumple la función de carga, transporte y descarga de mineral estos equipos son un pilar fundamental en el ciclo de minado ya que la producción del día está en función a la cantidad de mineral que movilizan estos equipos.

**Figura 2: Scoop R1600H**

Nota: Elaboración propia

Con la exigencia del sistema productivo de la mina y la inadecuada gestión del mantenimiento en el análisis de falla de los equipos scoops se origina la inoperatividad de estos equipos, afectando directamente en la producción de la compañía. La presencia de fallas en el scoops R1600H es frecuente, tal es así, que en el año 2021 la disponibilidad promedio de la flota de scoop solo alcanzo el 80%.

En la compañía minera Argentum, en el área de mantenimiento los datos de fallas que presentan los equipos, no están siendo analizados adecuadamente, debido a que se desconoce las herramientas que brinda la ingeniería de la confiabilidad para realizar este tipo de análisis de datos de fallas.

Para resolver este problema, se ha acudido a diversas investigaciones que abordaron temas similares en otra realidad, tal como “Análisis de Datos de Falla”, en las que se analizan los sistemas reparables y no reparables aplicando distribuciones matemáticas para pronosticar el comportamiento futuro de los sistemas del equipo.

Para resolver este problema se ha realizado el análisis cuantitativo de fallas con la aplicación de la estadística y probabilidades mediante modelos matemáticos que brinda la ingeniería de la confiabilidad; para identificar la etapa de vida en que se encuentra los componentes del equipo y también modelar los datos de falla y determinar la confiabilidad de estos componentes.



## **1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.2.1 Problema general**

En base a los fundamentos mencionados, se establece la siguiente interrogante:

¿Cómo realizar el análisis cuantitativo de fallas para determinar la confiabilidad y etapa de vida de componentes del equipo scoop R1600H en la compañía minera Argentum?

## **1.3 OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN**

### **1.3.1 Objetivo general**

Realizar el análisis cuantitativo de fallas mediante un modelo matemático para determinar la confiabilidad y etapa de vida de componentes del scoop R1600H en la compañía minera Argentum.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Identificar y determinar el modelo matemático más preciso que describa la confiabilidad del scoop R1600H.
- Aplicar la distribución Weibull para modelar los datos de falla y así, determinar la confiabilidad de los componentes del scoop R1600H.
- Determinar la etapa de vida útil en que se encuentran los componentes del equipo R1600H.

## **1.4 JUSTIFICACION**

### **1.4.1 Razones que motivaron la investigación**

Los datos de falla que se presentan en los equipos scoop R1600H, no están siendo analizados ni procesados debido a que se desconoce el procedimiento más eficiente y adecuado para pronosticar el comportamiento futuro del equipo.

Para resolver este problema es absolutamente necesario determinar el procedimiento correcto, selección de la distribución estadística más adecuada que modele más eficientemente los datos de falla. Esta predicción va a permitir la toma de decisiones en la previsión del mantenimiento del equipo y su impacto en la productividad de la compañía.

### **1.4.2 Importancia de la investigación**

La investigación es importante ya que, del análisis de las distribuciones matemáticas se determinó la distribución que mejor modele los datos de falla del equipo scoop R1600H, también se identificó la etapa de vida en que se encuentran los componentes del equipo, utilizando enfoques actuales de predicción, metodologías de análisis pertinentes al proceso y su aplicación es favorable para la compañía.

## **Capítulo 2:**

### **MARCO TEORICO**

#### **2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN**

En la tesis, “evaluación de métodos para determinar la confiabilidad mediante la distribución Weibull”, el autor, plantea como problema ¿Cuál es el método más conveniente para determinar la confiabilidad mediante la distribución Weibull? y establece como objetivo la evaluación de esos métodos, presentando como resultado; los métodos para el cálculo de la confiabilidad, se puede ver una variación en los resultados de los parámetros de weibull, esto debido en que algunos métodos, se realizan con tanteos e iteraciones y en otros se requieren una mayor cantidad de datos. Autor (Hildebrando Rosado, 2017).

En la tesis “análisis de datos de falla”, el autor plantea como problema ¿Cuál sería el procedimiento más eficiente y adecuado para pronosticar el

comportamiento futuro, de un sistema basado en el análisis de datos de falla? y establece como objetivo desarrollar un análisis en los datos de falla tanto en sistemas no reparables como reparables, empleando el método gráfico y comprobando los resultados. Presentando como resultado que con la distribución weibull se puede modelar todos los periodos de vida operativa de un componente o sistema: periodo de arranque, periodo de vida útil y periodo de desgaste, lo que resulta de gran utilidad para el análisis de los datos de falla. Autor (Ramírez Castaño, 2014).

En el artículo científico “Programación de mantenimiento basada en confiabilidad del sistema hidráulico de máquinas perforadoras rotativas” el autor plantea como problema ¿Cuál es el intervalo para la programación del mantenimiento del sistema hidráulico de máquinas perforadoras basado en la confiabilidad? y establece como objetivo la elaboración del programa de mantenimiento del sistema hidráulico de máquinas perforadoras basado en la confiabilidad. Presentado como resultado que el intervalo de mantenimiento para un nivel de confiabilidad del 80% es de 10h. Esto significa que el sistema hidráulico de las máquinas debe ser revisado e inspeccionado cada 10 h. Autor (Javad Rahimdel, 2013).

En el artículo científico “Análisis de confiabilidad de equipos de minería: un estudio de caso de una planta trituradora en la mina de bauxita Jajarm en Irán” el autor plantea como problema ¿Cómo mejorar la confiabilidad de los equipos de minería de la planta de trituradora? y establece como objetivo la mejora de los equipos de la planta de trituración desde el punto de vista de la confiabilidad. Presentando como resultado para mejorar la confiabilidad de las

máquinas mineras, las medidas más importantes que requieren atención inmediata son captar y eliminar los factores que causan problemas en todos los pasos del ciclo de vida, como planificación, diseño, construcción y mantenimiento, y evaluar cuantitativamente el modelo de confiabilidad basado en el historial de fallas datos. Autor (Javad Barabady, 2008).

En la tesis titulada “Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad a motores a gas de dos tiempos en pozos de alta producción”, el autor plantea como problema ¿es posible calcular y mejorar los parámetros de confiabilidad que afectan a los motores de dos tiempos que funcionan en pozos de alta producción, con la aplicación del MCC? y establece como objetivo calcular e identificar los valores numéricos de los parámetros característicos de los motores de combustión interna de dos tiempos , determinando así la etapa de vida útil en que se encuentra cada equipo. Presentando como resultado de los 17 equipo estudiados, 8 presentan un  $\beta < 1$  se encuentran en la etapa infantil de fallas; 5 presentan un  $\beta = 1$  se encuentran en el periodo de vida útil y 4 presentan un  $\beta > 1$  encontrándose en una etapa de envejecimiento. Autor (Da Costa Burga, 2010).

En la tesis titulada “Análisis de confiabilidad utilizando modelos de componentes genéricos y matrices de propagación de fallas”, el autor plantea como problema ¿cómo realizar el análisis sistemático de confiabilidad a través del estudio de riesgos y fallas? y establece como objetivo realizar un análisis sistemático de confiabilidad a través del estudio de riesgos y fallas de un compresor de una unidad Turbo-gas que sirva de base para el diseño de un sistema de diagnóstico. Presentando como resultado que los beneficios de un

análisis como el FMEA aumentan notablemente, si se utiliza una metodología que maneje de forma adecuada los datos obtenidos. Autor (Méndez Gamboa, 2008).

## **2.2 BASES TEÓRICAS**

### **2.2.1 Mantenimiento**

“Durante los últimos veinte años, el mantenimiento ha cambiado, quizás más que cualquier otra disciplina gerencial, estos cambios se deben principalmente al enorme aumento en número y en variedad de los activos físicos que deben ser mantenidos” (Moubray, 2000). “El Mantenimiento también está respondiendo a expectativas cambiantes, estas incluyen una creciente toma de conciencia para evaluar hasta qué punto las fallas en los equipos afectan a la seguridad y al medio ambiente” (Moubray, 2000).

“Estos cambios están llevando al límite las actitudes y habilidades en todas las ramas de la industria, el personal de mantenimiento se ve obligado a adoptar maneras de pensar completamente nuevas, y actuar como ingenieros y como gerentes” (Moubray, 2000).

## **2.2.2 Evolución del Mantenimiento**

Desde la década del 30 se puede seguir el rastro de la evolución del mantenimiento a través de tres generaciones.

### **2.2.2.1 La Primera Generación:**

“La Primera Generación cubre el período que se extiende hasta la Segunda Guerra Mundial, en esos días la industria no estaba altamente mecanizada, por lo que el tiempo de parada de máquina no era de mayor importancia” (Moubray 2000). “Esto significaba que la prevención de las fallas en los equipos no era una prioridad, a su vez la mayor parte de los equipos eran simples, y la gran mayoría estaban sobredimensionados, esto los hacía confiables y fáciles de reparar” (Moubray 2000). “Como resultado no había necesidad de un mantenimiento sistemático más allá de una simple rutina de limpieza, servicio y lubricación, se necesitaban menos habilidades para realizar el mantenimiento que hoy en día” (Moubray 2000).

### **2.2.2.2 La Segunda Generación:**

“Durante la Segunda Guerra Mundial todo cambió drásticamente, la presión de los tiempos de guerra aumentó la demanda de todo tipo de bienes, al mismo tiempo que decaía abruptamente el número de trabajadores industriales” (Moubray 2000). “Ya en los años 50 había aumentado la cantidad y complejidad se toma importancia al tiempo de parada de máquina, esto llevó a la idea de que las fallas en los equipos podían y debían ser prevenidas” (Moubray 2000).

### 2.2.2.3 La Tercera Generación:

Desde mediados de la década del setenta el proceso de cambio en la industria ha adquirido aún más impulso. Los cambios han sido clasificados en:

- Nuevas expectativas.
- Nuevas investigaciones.
- Nuevas técnicas.

#### Nuevas Expectativas:

“La figura 3 muestra la evolución de las expectativas de mantenimiento, el tiempo de parada de la máquina afecta la capacidad de producción de los activos físicos al reducir la producción, aumentar los costos operacionales” (Moubray 2000). “En las décadas del sesenta y setenta los efectos del tiempo de parada de máquina fueron agravados por la tendencia mundial hacia just-in-time, actualmente el crecimiento en automatización ha tomado a la confiabilidad y a la disponibilidad en factores claves”. (Moubray 2000).

**Figura 3: Expectativas del Mantenimiento**

			<b>Tercera Generación</b>				
			Mayor disponibilidad y confiabilidad de planta				
			Mayor seguridad				
			Mejor calidad de producto				
			Ningun daño al medio ambiente				
			Mayor vida de los equipos				
			Mayor costo-eficacia				
<b>Primera Generación</b>			<b>Segunda Generación</b>				
Reparar cuando se rompe			Mayor disponibilidad de la planta				
			Mayor vida de los equipos				
			Menor costo				
1940	1950	1960	1970	1980	1990	2000	2010

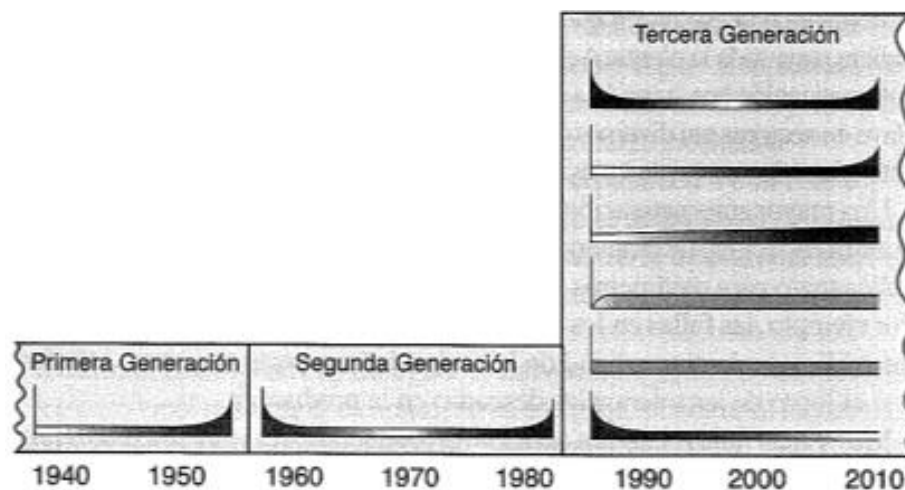
Nota: Moubray, 2000



## Nuevas Investigaciones

“Las nuevas investigaciones están cambiando muchas de nuestras creencias referidas a la edad y las fallas, la figura 4 muestra como en un principio la idea era simplemente que a medida que los elementos envejecían eran más propensos a fallar” (Moubray 2000). “Investigaciones en la Tercera Generación revelan no uno ni dos sino seis patrones de falla que realmente ocurren en la práctica” (Moubray 2000).

**Figura 4: Cambios en los puntos de vista sobre la falla de equipos**



Nota: Moubray, 2000

## Nuevas Técnicas

“Ha habido un crecimiento explosivo de nuevos conceptos y técnicas de mantenimiento, que han sido desarrollados en los últimos veinte años, la figura 5 muestra cómo ha crecido el énfasis en los clásicos sistemas administrativos y de control” (Moubray 2000).

- Herramientas de soporte para la toma de decisiones, tales como el estudio de riesgo, análisis de modos de falla y sus efectos, y sistemas expertos.
- Nuevos métodos de mantenimiento, tal como el monitoreo de condición.
- Diseño de equipos, con un mayor énfasis en la confiabilidad y facilidad para el mantenimiento.
- Un drástico cambio en el modo de pensar la organización hacia la participación, trabajo en grupo y flexibilidad.

**Figura 5: Cambios en las técnicas de Mantenimiento**

					<b>Tercera Generación</b>			
					Monitoreo de condición	Diseño direccionado a la confiabilidad y factibilidad para el mantenimiento		
					Estudio de riesgos	Computadoras pequeñas y rápidas		
					Reparaciones programadas	Análisis de modos de de falla y sus efectos		
<b>Primera Generación</b>					Sistema de planeamiento y control de trabajo	Sistemas expertos		
Reparar cuando falla					Computadoras grandes y lentas	Trabajo multifacético y en grupos		
1940	1950	1960	1970	1980	1990	2000	2010	

Nota: Moubray, 2000

**2.2.3 Análisis de fallas:**

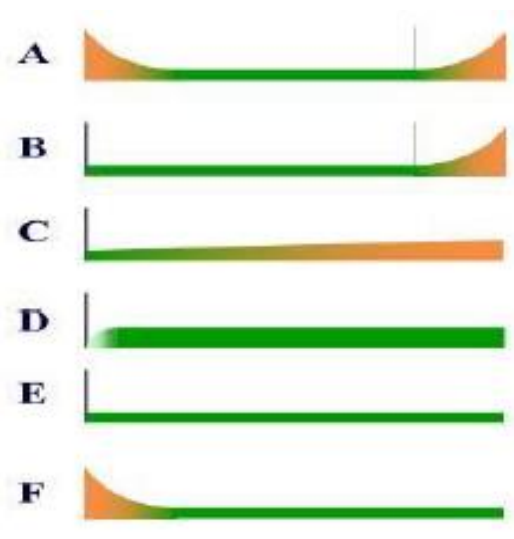
**2.2.3.1 Falla:** “Significa que un componente o un sistema no satisfacen o no funciona de acuerdo con las especificaciones dadas o preestablecidas” (Ramírez, 2014). Las condiciones insatisfactorias están determinadas por:

- Imposibilidad absoluta del sistema o componentes para funcionar.

- Imposibilidad de sistemas o componentes para funcionar dentro de unos límites de actuación especificados.
- Lubricación insuficiente, corrosión e ineficiencia en la operación.

**2.2.3.2 Patrones de falla:** “Debido a que los equipos son mucho más complejos los patrones de falla van cambiando con referencia a la edad operacional para una variedad de elementos mecánicos y eléctricos; tal como se indica en la siguiente figura 6” (Moubray, 2000).

**Figura 6: Patrones de falla para diferentes componentes**



Nota: Moubray, 2000

**El patrón A (curva de la bañera):** Alta mortalidad infantil, seguida de un bajo nivel de fallos aleatorios, terminado en una zona de desgaste. Aplicable a equipos mecánicos.

**El patrón B:** Muestra una creciente probabilidad de falla al término de la vida útil, termina en una zona de desgaste.

**El patrón C:** Muestra un incremento constante de la probabilidad de fallos a largo de la vida de los componentes.

**El patrón D:** Muestra baja probabilidad de falla a un punto de empezar con un rápido incremento o un nivel constante, seguido de un comportamiento aleatorio.

**El patrón E:** Muestra una probabilidad constante de falla en todas las edades. No hay relación entre la edad funcional de los equipos y la probabilidad de que fallen.

**El patrón F:** Inicia con una alta mortalidad infantil y cae en una constante o muy lentamente creciente probabilidad de falla.

**2.2.3.3 Curva de la Bañera o de Davis:** “Las diferentes acciones que se deciden sobre las tareas que se deben realizar por parte de mantenimiento, dependen de la curva de la bañera” (Ebeling, 2005). “En la figura 8 se muestra la evolución en el tiempo frente a la tasa de fallas  $\lambda(t)$  y el valor del parámetro de forma Beta del equipo que se evalúa” (Ebeling, 2005). “De acuerdo con el valor del equipo para ese momento, se selecciona si las tareas de mantenimiento deben ser correctivas, modificativas, preventivas o predictivas, al tener en cuenta la fase en que se encuentre el elemento o sistema (Ebeling, 2005).

**La Fase I;** “el comportamiento de la tasa de fallas es decreciente, pues en la medida en que pasa el tiempo, la probabilidad de que ocurra una falla disminuye. Las operaciones que se sugieren en esta fase son las de tipo correctivo y modificativo” (Mora 2009).

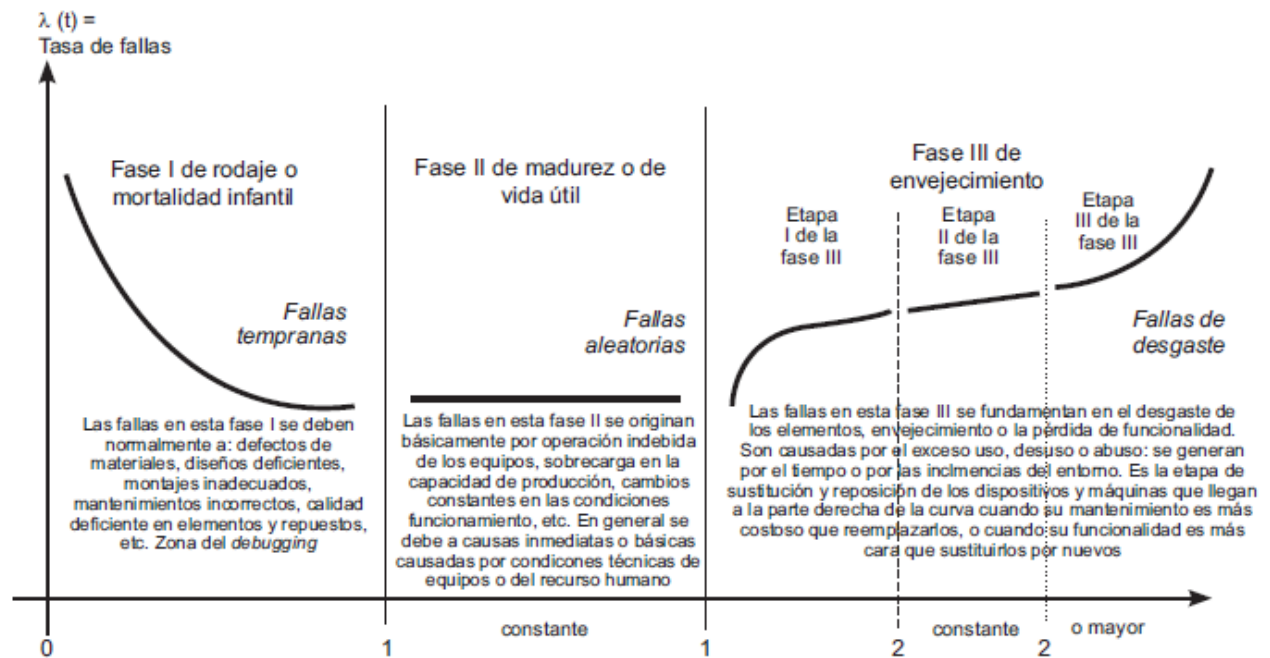
**La Fase II;** “son fallas enmarcadas en origen técnico, ya sea de procedimientos humanos o de equipos las acciones que más se adaptan a esta etapa son de la modificativas, la probabilidad de falla en la fase II es constante” (Mora 2009).

**La Fase III;** “se observa un incremento paulatino de la tasa de fallas en la medida en que aumenta el tiempo hacia la derecha, en esta sección se presentan varias etapas” (Mora 2009). “En el ciclo I de la fase III la tasa de fallas empieza a aumentar en forma suave; es decir su incremento es bajo y crece hacia la derecha en forma leve” (Mora 2009). “Las fallas que aparecen se deben a los efectos por el tiempo de uso, en esta fase ya se pueden utilizar las acciones planeadas preventivas ya que las fallas se conocen” (Mora 2009).

“En la etapa II de la fase III se incrementa la tasa de fallas en forma constante con pendiente positiva en forma rectilínea, en esta sección se inicia la transición de acciones preventivas hacia acciones predictivas y el comportamiento” (Mora 2009).

“En la zona III de la fase III de envejecimiento puro en que la vida útil del elemento se acelera y la tasa de fallas se incrementa aceleradamente, en esta etapa normalmente se estabiliza el uso de acciones predictivas” (Mora 2009). “Cuando no mejora la mantenibilidad de la maquina con acciones predictivas se usa la reposición o la sustitución como única alternativa, en esta etapa aún se continua con el uso de técnicas preventivas y eventualmente correctivas y modificativas” (Mora 2009).

Figura 7: Curva de la Bañera o de Davis



Nota: Mora, 2009

#### 2.2.4 Confiabilidad:

“Se define como la probabilidad de que un equipo desempeñe satisfactoriamente las funciones para las cuales se diseña durante un periodo de tiempo específico y condiciones normales, las características de su estructura son probabilidad, desempeño satisfactorio, periodo y condiciones específicas” (Mora 2009).

**Probabilidad;** “Las mediciones de confiabilidad se hacen en términos de probabilidad, la cual se define como el resultado de dividir el número de veces de los casos estudiados entre el número total posible de casos” (Blanchard 1994).

**Desempeño Satisfactorio;** “Una combinación de factores cualitativos y cuantitativos definen las funciones que el sistema debe lograr y que usualmente son las especificaciones del sistema” (Blanchard 1994).

**Periodo;** “Es la variable aleatoria de la definición de confiabilidad y se refiere a la duración del funcionamiento de la longitud de vida, el análisis de dicha variable aleatoria implica el uso de las distribuciones de probabilidad” (Nachlas 1995).

**Condiciones de operación;** “Son las circunstancias en las que se espera que el equipo funcione, y constituyen el cuarto elemento relevante de la definición básica de confiabilidad” (Ramakumar, 1996).

#### **2.2.4.1 Curva de la confiabilidad:**

La forma gráfica como se expresa la confiabilidad depende de su formulación matemática.

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

Donde:

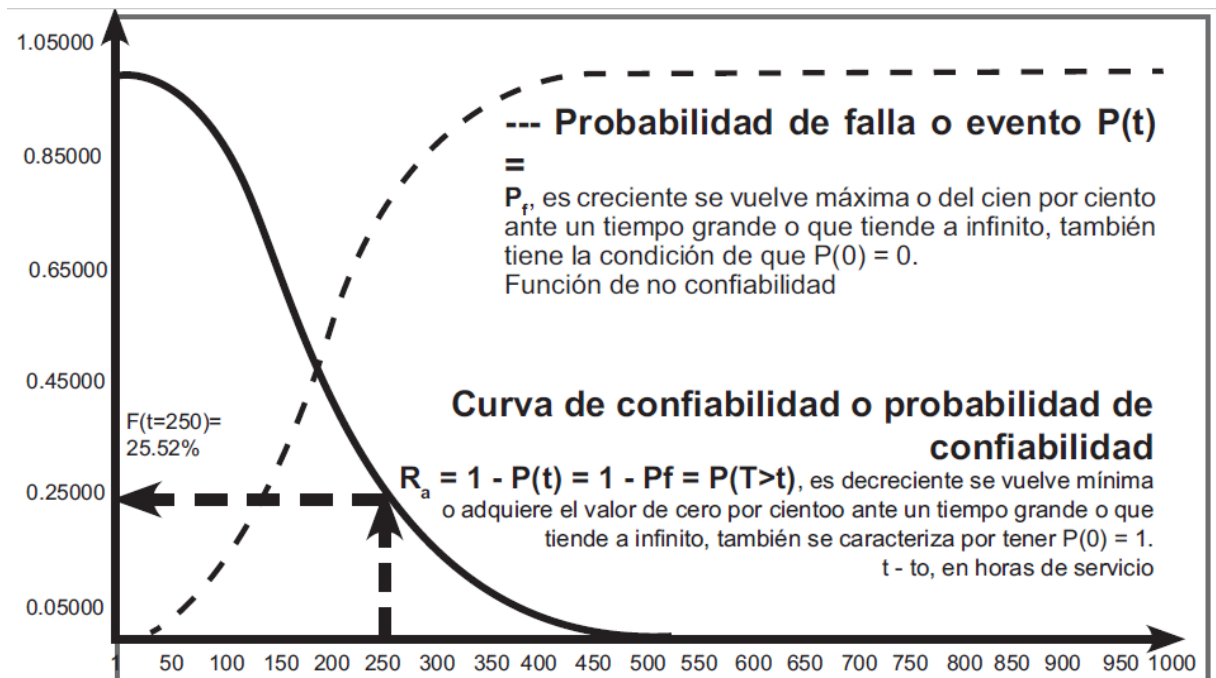
$R(t)$ = Probabilidad de Confiabilidad

$F(t)$ = Probabilidad de Falla

La curva de confiabilidad (Figura 8) es la representación gráfica del funcionamiento después de que transcurre un tiempo  $t$  en un periodo  $T$  total, se puede entender que consiste en la representación de la probabilidad de confiabilidad o supervivencia que tiene un elemento, maquina o sistema

después de que transcurre un determinado tiempo  $t$ . La función de confiabilidad o supervivencia  $R(t)$  decrece en la medida en que se incrementa el tiempo. (Leemis 1995).

**Figura 8: Curva de la confiabilidad**



Nota: Mora 2009

## 2.2.5 Ingeniería de la confiabilidad

“Caracteriza el estado actual a través de metodologías y técnicas para predecir el comportamiento futuro de equipos y sistemas, analiza el historial de fallas para identificar acciones correctivas y proactivas para reducir la ocurrencia de fallas usando modelamiento de datos” (Tecsop 2020)

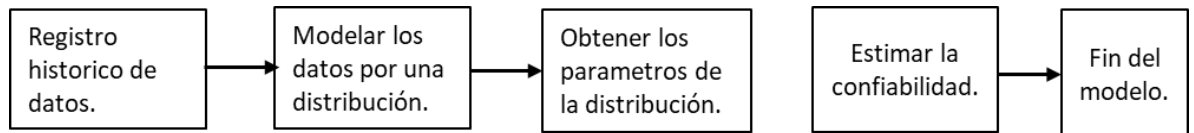
### 2.2.5.1 Modelamiento de datos de falla:

Los modelos son representaciones matemáticas de los datos, entregan la estimación de la tasa de falla del equipo en función al tiempo; predice el



comportamiento de las fallas en el tiempo. El modelo de confiabilidad de vida en uso de un componente está determinado por la siguiente secuencia (Figura 9).

**Figura 9: Secuencia del modelo de confiabilidad**



Nota: Elaboración propia

Los modelos matemáticos están basados en distribuciones estadísticas, tales como:

- Distribución Weibull
- Distribución Exponencial
- Distribución Normal

#### **2.2.5.2 Estimación de parámetros mediante distribuciones:**

“Los datos analizados mediante distribuciones pueden responder a diferentes características de acuerdo al tipo y evento de estudio, como el tiempo de medio entre fallas o el tiempo medio para reparar” (O’Connor, 2002). “Estos tiempos de vida pueden medirse en horas, millas, ciclos de fracaso, ciclos de tensión, o cualquier otra medida con que se puedan evaluar la vida o la exposición del ítem” (O’Connor, 2002).

“En análisis de datos de vida y en ingeniería de confiabilidad se deben estimar valores de la probabilidad de falla, confiabilidad, vida media, los

parámetros de una distribución porque son los instrumentos que permiten desarrollar estrategias y acciones de mantenimiento” (Reliasoft@, 2008).

“La estimación de parámetros de la distribución se realiza luego de seleccionar la distribución (Figura 10) para lo cual existen dos tipos de estimación puntual e intervalo; a mayor cantidad de datos la estimación es más cercana al valor verdadero” (Lewis, 1995).

**Figura 10: Distribuciones para estimar la confiabilidad**

DISTRIBUCION	PARAMETRO	CRITERIO
Weibull	$\beta$ (parámetro de forma) $\eta$ (parámetro escala) $\gamma$ (parámetro de ubicación)	* Es la única función de probabilidad que puede utilizarse para representar cualquier tipo de distribución. * Representa la vida de los componentes
Normal	$\mu$ (media) $\sigma$ (desviación estándar)	* Describe fenómenos de envejecimiento de equipos. * Describe fenómenos de modelos de fatiga. * Los componentes son afectados desde un comienzo por el desgaste.
Exponencial	$\lambda$ (tasa de fallas)	* Fallas aleatorias y que no dependen del tiempo que lleve en funcionamiento. * Describe situaciones de función de tasa de falla constante. * El componente usado que aún no a fallado, es estadísticamente tan bueno como un componente nuevo.

Nota: Mora, 2009

### 2.2.6 Distribución de Weibull:

“La distribución de Weibull fue establecida por el físico suizo Waloddi Weibull, quien demostró, que el esfuerzo al que se someten los materiales puede modelarse de manera adecuada mediante el empleo de esta distribución” (Ramírez 2014). “La distribución de Weibull permite encontrar la distribución de fallas de un componente que se pretende controlar y que a través del registro de fallas se observa que estos varían a lo largo del tiempo normal de uso” (Ramírez 2014). “La distribución Weibull facilita la identificación

de variables que influyen en la tasa de fallos y su consideración además de disponer de una herramienta de predicción del comportamiento futuro, metodología bastante útil para empresas que desarrollan programas de mantenimiento preventivo” (Ramírez 2014).

Esta función de probabilidad de confiabilidad  $R(t)$ , viene dada por:

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

Donde  $\beta$ ,  $\eta$  y  $\gamma$  son parámetros que definen la función:

$t$ : Tiempo entre fallas

$\beta$ : Es el parámetro de forma (Adimensional).

$\eta$ : Es el parámetro de escala o tiempo característico (En unidades de tiempo).

$\gamma$ : Es el parámetro de localización (En unidades de tiempo).

La función distribución acumulativa  $F(t)$  es el complemento de la función confiabilidad, la función distribución acumulativa se puede interpretar como la Probabilidad de Falla y se define de la siguiente manera:

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

“Una de las ventajas significativas que ofrece la distribución Weibull consiste en que es muy manejable y se acomoda a las tres zonas (infancia o rodaje, madurez o vida útil y envejecimiento) de la curva de la bañera” (Rojas, 1975). “La distribución de Weibull posee en su forma general tres parámetros, lo que le da una gran flexibilidad y cuya selección y ajuste adecuado permiten obtener mejores ajustes, que con otras distribuciones” (Rojas, 1975).

Estos parámetros son:

**Gamma;** parámetro de posición ( $\gamma$ ): El más difícil de estimar y por este motivo se asume con demasiada frecuencia que vale cero. Indica el lapso en el cual la probabilidad de falla es nula (Forcadas, 1983).

**Eta;** parámetro de escala o característica de vida útil ( $\eta$ ): Su valor es determinante para fijar la vida útil del producto o del sistema. Cuanto más alto, las maquinas pueden ser más robustas o de trabajos de mayor duración.

**Beta;** parámetro de forma ( $\beta$ ): Refleja la dispersión de los datos y determina la forma que toma la distribución.

El parámetro Beta permite a la distribución de Weibull tomar diversas formas:

**Cuando  $\beta$  es inferior a 1 ( $\beta$  menor 1)** se le denomina a esta fase como de mortalidad infantil (tasa de falla decreciente).

**Cuando toma valores cercanos a 1 ( $\beta$  igual a 1)** se describe la fase con el nombre de vida útil (tasa de falla constante y aleatoria).

**Cuando  $\beta$  tomar valores mayores de 1 ( $\beta$  mayor a 1), se conoce la fase como de envejecimiento o de desgaste (tasa de falla creciente) (Díaz, 1992).**

La distribución Weibull de 2 parámetros ( $\beta$  y  $\eta$ ) se define solo para variables positivas mayores que cero. La distribución Weibull de 3 parámetros ( $\beta, \eta, \gamma$ ) puede funcionar con ceros y datos negativos. (Minitab 2019)

### **Deducción de la ecuación lineal de regresión Weibull:**

Debido a que se desconoce los valores  $\beta$ ,  $\eta$  e  $\gamma$ , se debe linealizar las curvas, es decir usar el método de regresión lineal, este método permitirá obtener un polinomio que linealizará la distribución de Weibull y permitirá estimar los parámetros  $\beta$ ,  $\eta$  e  $\gamma$ , siguiendo los siguientes pasos.

La Función acumulativa de Weibull:

$$\boxed{F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}} \quad (3)$$

Seguidamente se realiza el despeje de la función exponencial:

$$F(t) = 1 - \frac{1}{e^{\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}} \quad \rightarrow \quad 1 - F(t) = \frac{1}{e^{\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}}$$

$$\rightarrow \boxed{\frac{1}{1 - F(t)} = e^{\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}} \quad (4)$$

Se aplica logaritmos naturales a ambos miembros

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

Nuevamente se aplicará logaritmos naturales a ambos miembros:

$$\ln\left[\ln\left[\frac{1}{1-F(t)}\right]\right] = \ln\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta = \beta \ln\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)$$

Se tendrá la ecuación linealizada:

$$\boxed{\ln\left[\ln\left[\frac{1}{1-F(t)}\right]\right] = \beta \cdot \ln(t-\gamma) - \beta \cdot \ln(\eta)}$$
(5)

La expresión representara una ecuación lineal de la forma:

$$y = ax - b$$
(6)

Se realiza la comparación y se tiene:

$$\underbrace{\ln\left[\ln\left[\frac{1}{1-F(t)}\right]\right]}_y = \underbrace{\beta}_a \cdot \underbrace{\ln(t-\gamma)}_x - \underbrace{\beta \cdot \ln(\eta)}_b$$

$$\boxed{y = \ln\left[\ln\left[\frac{1}{1-F(t)}\right]\right]} \quad \boxed{a = \beta} \quad \boxed{x = \ln(t-\gamma)} \quad \boxed{b = -\beta \cdot \ln(\eta)}$$

Despejando se tendrá que:

$$b = -\beta \cdot \ln(\eta) \rightarrow \ln(\eta) = -\frac{b}{\beta} \rightarrow \eta = e^{-\frac{b}{\beta}} \quad (7)$$

### Funciones de la distribución Weibull:

Tiempo medio entre fallas: (MTBF)

$$MTBF = \eta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad (8)$$

Mediana:

$$Mediana = \eta \text{Ln}(2)^{\frac{1}{\beta}} \quad (9)$$

Moda:

$$Moda = \eta \left(1 + \frac{1}{\beta}\right)^{\frac{1}{\beta}} \quad (10)$$

Desviación estándar:

$$Desviación\ estandar = \eta \sqrt{\Gamma\left(1 + \frac{2}{\beta}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)} \quad (11)$$

### 2.2.7 Distribución de Normal:

“La Distribución Normal también conocida como la distribución de Gauss o Laplace, es desarrollada por varios matemáticos, entre ellos Abraham de Moivre y Karl Gauss; el cual se usa en los campos experimentales” (Levin 1996).

“La Distribución Normal es discreta que se presenta con frecuencia, cuando la vida útil de los componentes se ve afectada desde un comienzo por el desgaste, las fallas tienden a distribuirse de una forma simétrica alrededor de la vida media” (Lewis 1995).

La distribución normal responde a los parámetros  $(\mu, \sigma)$ , que representan la mediana y la desviación estándar de la distribución respectivamente, y esta dada por la función (Mora 2009).

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad (12)$$

**Donde:**

$f(x)$ = Función de densidad de probabilidad normal (pdf).

$\mu$ = Media de los tiempos de falla

$\sigma$ = Desviación estándar de los tiempos de falla

$x$ = Variable aleatoria que representa al tiempo (t).

$\pi$ = 3.1415

$e$ = 2.7182



Características de la distribución normal:

- La función de densidad de probabilidad tiene el mismo valor de la media, mediana y moda.
- La función de densidad tiene la forma de una campana y es simétrica en relación a la media.
- La función de densidad de la probabilidad no tiene parámetro de forma, esto significa que tiene forma única.
- La desviación estándar  $\sigma$  es el parámetro de escala de la pdf.

**Funciones de la distribución normal:**

Confiabilidad distribución normal:  $R(t)$

$$R(t) = \int_T^{\infty} f(t) dt \quad (13)$$

Tiempo medio entre fallas: MTBF

$$MTBF = \mu \quad (14)$$

### 2.2.7 Distribución de Exponencial:

Esta distribución modela la tasa de falla constante o vida útil de los equipos. Es la única que posee una intensidad constante de fallas y es apropiada cuando un componente usado que aún no falla, es estadísticamente tan bueno como un componente nuevo. (Mora 2009)

La distribución exponencial está representada por la siguiente función:

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda.t} \quad (15)$$

Donde:

$f(t)$ =Función de densidad de probabilidad exponencial

$t$ = Variable aleatoria que representa al tiempo ( $t$ ).

$\lambda$ =Tasa de fallas constante

Características de la distribución exponencial:

- La función de densidad de probabilidad exponencial no tiene parámetro de forma porque solo tiene una forma.
- La función de densidad de probabilidad exponencial es convexa y se prolonga a la derecha con el valor de decrecimiento  $\lambda$ .
- El valor de la función de densidad de la probabilidad exponencial es igual al valor de  $\lambda$  en un tiempo  $T=0$ .

### Funciones de la distribución exponencial:

Confiabilidad distribución exponencial:  $R(t)$

$$R(t) = e^{-\lambda.t} \quad (16)$$

Tiempo medio entre fallas: MTBF

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} \quad (17)$$

### 2.2.9 Prueba de hipótesis “Test de Kolmogorov Smirnov:

La prueba de ajuste de bondad de Kolmogorov Smirnov, es utilizada para determinar si una distribución hipotética representa adecuadamente a un conjunto de datos. La prueba de Kolmogorov Smirnov, es una medida definida como el máximo valor de la diferencia absoluta entre dos funciones de distribución acumulada.

Se basa al cálculo del estadístico de prueba máximo:

$$d = \max((F(t_i) - \hat{F}(t_i)), (F(t_i) - \hat{F}(t_{i-1}))) \quad (18)$$

Se acepta la hipótesis si:

$$d < d_{crit} \quad (19)$$

Donde, **dcrit** es el estadístico para contraste:

$$d_{crit} = \frac{C}{Kn} \quad (20)$$

C= Significancia; Kn=Contraste

**Valores de Significancia para distribuciones:**

**Tabla 2: Significancia para distribuciones**

Modelo	C $\alpha$ =10%	C $\alpha$ =5%	C $\alpha$ =1%
Normal	0.819	0.895	1.035
Exponencial	0.990	1.094	1.308
Weibull (n $\leq$ 10)	0.760	0.819	0.944
Weibull (n $\leq$ 20)	0.779	0.843	0.973
Weibull (n $\leq$ 50)	0.790	0.856	0.988
Weibull (n >50)	0.803	0.874	1.007

Nota: Mora, 2009

**Fórmulas para el cálculo del contraste “Kn” para distribuciones:**

Distribución Weibull :  $Kn = \sqrt{n}$  (21)

Distribución Normal :  $Kn = \sqrt{n} - 0.01 + 0.85/\sqrt{n}$  (22)

Distribución Exponencial :  $Kn = \sqrt{n} + 0.12 + 0.11/\sqrt{n}$  (23)

### 2.2.10 Aproximación de Bernard:

Se utiliza para aproximar la probabilidad de falla acumulada  $F(t)$  y esta representada por la siguiente formula:

$$F(t) = \frac{i-0.3}{N+0.4} \quad (24)$$

Donde:

$F(t)$ =Probabilidad de la falla

$i$ =Numero de orden (posición falla)

$N$ =Tamaño muestra

### 2.2.11 Scoop R1600H:

Es un cargador de bajo perfil de capacidad de 6yaradas cubicas para minería subterránea, cumple la función de carga, acarreo y descarga, diseñado específicamente para la extracción y acarreo de minerales de roca dura. Su sistema de tren de fuerza esta conformado por el motor diésel, caja de transmisión, ejes de transmisión. Para los equipos scoop R1600H, se realiza el mantenimiento preventivo programado cada 250h de operación (recomendación del fabricante).

Especificaciones técnicas de los componentes del tren de fuerza:

**Motor Diésel:**

- Es del modelo del motor es Cat C11 de 6 cilindros; proporciona el rendimiento máximo de carga y desplazamiento en las aplicaciones de minería más exigentes. El motor posee un sistema de inyección unitaria electrónica accionada mecánicamente (MEUI™, Mechanically Actuated, Electronic Unit Injection) es un sistema de combustible de inyección directa a alta presión que monitorea electrónicamente las demandas del operador y las entradas de los sensores para optimizar el rendimiento del motor.

- **Caja Transmisión:**

- La transmisión de control electrónico proporciona servotransmisión completa de cuatro velocidades de avance y cuatro de retroceso estándar (4F/4R). El convertidor de par de alta capacidad suministra más potencia a las ruedas para una eficiencia superior del tren de fuerza. La transmisión electrónica automática aumenta la eficiencia de los operadores y optimiza el rendimiento de la máquina.

**Ejes de transmisión:**

- Los mandos finales Cat trabajan como un sistema con la servotransmisión planetaria para proporcionar la máxima potencia sobre el suelo. Los frenos son del tipo de discos múltiples sumergidos en aceite completamente hidráulicos y cerrados (SAFR). El sistema de freno de servicio que se activa con presión hidráulica modulada y la función del freno de estacionamiento accionada por resorte y liberada

por fluidos garantizan el frenado en caso de una falla de pérdida de presión hidráulica. El eje trasero cuenta con un oscilante el cual proporciona mayor estabilidad a la máquina, donde una rueda trasera puede bajar o subir mientras todas las ruedas permanecen en el suelo para obtener una tracción máxima.

## **2.3 DEFINICIONES CONCEPTUALES Y OPERACIONALES**

### **2.3.1 Definiciones conceptuales**

El presente trabajo de investigación se compone de una variable independiente que es; **análisis cuantitativo** y la variable dependiente que es; **confiabilidad y etapa de vida de componentes.**

- **VI: análisis cuantitativo**
- Consiste en procesamiento de datos de falla mediante un modelo matemático que estime el comportamiento futuro del equipo. Sus dimensiones son: pendiente e intercepto.
- **VD: confiabilidad y etapa de vida componente**

**Confiabilidad:** Es la probabilidad de que un equipo desempeñe satisfactoriamente la función para la cual se diseña, durante un periodo de tiempo específico y bajo condiciones normales de operación, ambientales y del entorno. Sus dimensiones son: Tiempo entre fallas, parámetros de forma, escala y localización.

**Etapa de vida de componente:** Es la etapa en la que se encuentra un componente de un equipo, pudiendo ser esta la etapa infantil, etapa de madurez o etapa de envejecimiento.

### 2.3.2 Definiciones operacionales

- **VI: análisis cuantitativo**

Variable que permite recopilar, organizar y analizar los datos relacionados a través del método de regresión lineal para linealizar la curva de confiabilidad en una recta, identificando el intercepto, pendiente y variables:

- **VD: confiabilidad y etapa de vida**

**Confiabilidad:** Variable que expresa el proceso de medición de la confiabilidad del equipo de acarreo a través de los parámetros  $\gamma$ ,  $\beta$ ,  $\eta$ , y  $t$ , siendo operacionalizada mediante la fórmula matemática:

**Etapa de vida:** Determinado por el parámetro de forma  $\beta$ . Si beta  $\beta < 1$  el componente se encuentra en la etapa infantil. Si beta  $\beta = 1$  el componente se encuentra en la etapa de madurez. Y si  $\beta > 1$  el componente se encuentra en la etapa de envejecimiento.



## **2.4 SISTEMA DE HIPÓTESIS**

### **2.4.1 Hipótesis general**

Si se realiza el análisis cuantitativo de fallas utilizando un modelo matemático entonces se podrá determinar de manera más precisa la confiabilidad y la etapa de vida de componentes del equipo R1600H en la mina Argentum

## **Capítulo 3:**

### **DISEÑO METODOLÓGICO**

#### **3.1 MÉTODO DE INVESTIGACIÓN**

EL método que se utilizo es el sistémico el cual plantea la posibilidad de estudiar y entender todo fenómeno en su integridad. En todo sistema es fundamental la participación de las personas, ya que ellas son las que hacen que el sistema exista, y son las que le dan ese carácter real. Indudablemente, el mantenimiento es un sistema mental que se construye de forma intelectual por el ser humano. El enfoque sistémico puro cuando se utiliza en mantenimiento admite el reconocimiento de tres elementos fundamentales: mantenedores (personas), maquinas (equipos industriales) y sitios físicos donde se prestan los servicios de mantenimiento (entorno). (Mora 2009).

### 3.2 TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACION

La presente investigación es del tipo básica y de nivel explicativo, porque el interés de esta investigación es el análisis cuantitativo de fallas para observar el comportamiento de la confiabilidad mediante un modelo matemático. Espinoza 2014 plantea el uso de diseños causales, causales comparativos y longitudinales. Ya que las evidencias relacionadas con las causas deben ser claras.

### 3.3 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Para la ejecución de esta investigación se utilizó el diseño causal.

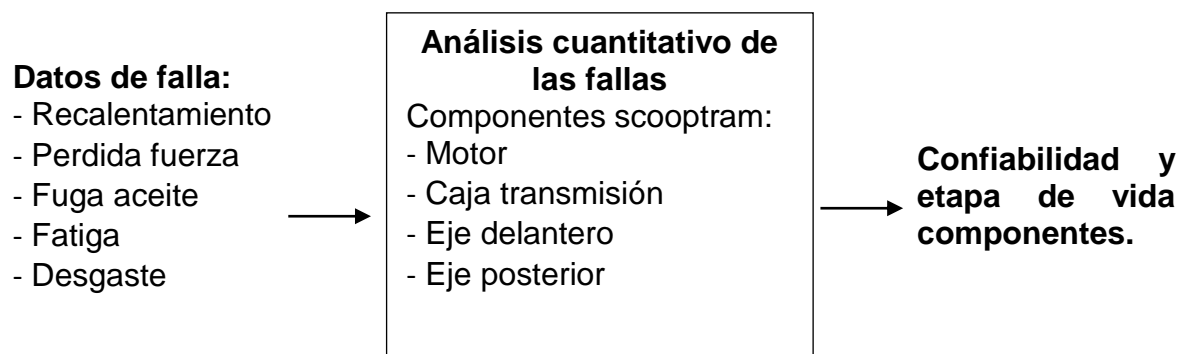
CAUSA (C) → EFECTO (E)

C: Causa

E: Efecto.

### 3.4 UNIDAD DE OBSERVACIÓN:

**Figura 11: Unidad de Observación**



Nota: Elaboración propia

### 3.5 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS

La técnica de investigación que se ha utilizado fue la documental y empírica mediante la observación y recolección de datos con formatos que ya están establecidos en el departamento de mantenimiento.

Figura 12: Reporte de orden de trabajo

PAN AMERICAN — SILVER —		ORDEN DE TRABAJO				OT N°
SOLICITADO POR: Plasmamiento Mantenimiento		Fecha:		Hora:		
TRABAJO PROGRAMADO		TRABAJO DE EMERGENCIA		TIPO DE MANTENIMIENTO		
SUPERVISOR:				PREVENTIVO		
EQUIPO:		MARCA:		CORRECTIVO		
CÓDIGO DE EQUIPO:		MODELO:		OTROS:		
ÁREA:		UBICACIÓN:		HCR PERF:		
ESTADO DEL EQUIPO		TIEMPOS DE EJECUCIÓN		FECHA INICIO:		
OPERATIVO		FECHA FINAL:		HORA INICIO:		
OPERATIVO		FECHA FINAL:		HORA FINAL:		
COMPONENTES	UNIDAD DE POTENCIA	MOTOR DIESEL	SISTEMA ADMISIÓN	SISTEMA LUBRICACIÓN	SISTEMA DE COMBUSTIBLE	
		MOTOR ELÉCTRICO	SISTEMA ELÉCTRICO	SISTEMA RETRAGACIÓN	ESPECIFICAR:	
	SISTEMA HIDRÁULICO	BOMBA HIDRÁULICA	FILTROS HYD	SOLINOIDES HIDRÁULICOS	ESPECIFICAR:	
		MOTOR HIDRÁULICO	VALVULAS HYD	MANGUERAS HYD		
	TREN DE POTENCIA	CONVERTIDOR PWA	BOMBAS TRANSM	VALVULAS TRANSM	CARBAN / CRUCETAS / CROMACROA	
		CAJA TRANSICIÓN	FILTROS TRANSM	MANGUERAS TRANSM	ESPECIFICAR:	
		C/L DELANTERIOR	CAJA TRANSFERENCIA	COXINA / MAND FANJES		
	LLANTAS / AROS	LLANT DELANT DEX	LLANT POST DEX/IZQ	AROS	SECCION PERSONAL ARRO	
		LLANT DELANT IZQ	LLANT POST IZQ/DER	PISTONES Y DISCOS	PROCESO NORMAL PWA	
	PERFORADORA	SISTEMA PULCICIÓN	SISTEMA LUBRICACIÓN	MANGUERAS HYD	ADJUSTADORES	
COMPRESORA	SISTEMA ADMISIÓN	SISTEMA LUBRICACIÓN	SISTEMA ELÉCTRICO			
SISTEMA ELÉCTRICO	MOTOR ELÉCTRICO	ALTERN / ABRANC	BATERIA / CABLEADO	RETRINENTACIÓN		
ESTRUCTURA	CHASSI DELANTERO	CHASSI POSTERIOR	APLICACIÓN CENTRAL	ESPECIFICAR:		
DETALLE DEL TRABAJO REALIZADO:						
PERSONAL QUE EJECUTA						
COD. EMPLEADO	CATEGORIA	APellidos y Nombres			FECHA	HRS TOTAL
MATERIALES Y REPUESTOS USADOS						
COD. ALMACEN	N° PARTE	DESCRIPCIÓN	FECHA USADA	CANT. USADA	UNIDAD	
OBSERVACIONES						
TÉCNICO RESPONSABLE		JEFATURA E.R.		PLASMAMIENTO		

Nota: Tomado del departamento de mantenimiento Argentum

Los instrumentos de investigación que se utilizaron son los registros de fallas y performance de equipos, reporte de intervención de técnicos, hojas de ruta, manuales, revistas científicas y normas.

### **3.6 PROCESAMIENTO DE DATOS**

Por la naturaleza del estudio, en esta investigación se emplearán las técnicas de estadística tanto descriptivo como inferencial, aplicando la distribución de Weibull, normal y exponencial.

Para la constatación de hipótesis se aplicó la prueba de bondad de ajuste “Test de kolgoromorov- Smirnov”, con un nivel de significancia  $\alpha=0.05$ .

## **Capítulo 4:**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **4.1 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS**

##### **4.1.1 Cálculo de indicadores de confiabilidad:**

Considerando el tren de fuerza como el sistema donde se origina la principal falla funcional del scoop R1600H se procede a calcular los indicadores de confiabilidad utilizando las distribuciones de Weibull, Normal y Exponencial de cada componente mayor del equipo tales como: el motor diésel, transmisión, eje delantero y eje posterior. Para el cálculo de indicadores de confiabilidad se considera un nivel de confianza del 95%.

##### **4.1.2 Cálculo de indicadores de confiabilidad para el Motor Diésel:**

Se analizó las principales fallas del componente desde el inicio de su operación, se toma como referencia 20 eventos de falla más representativos en el motor diésel.

#### 4.1.2.1 Análisis de la distribución Weibull para el Motor diésel:

A continuación, se detallan los pasos a seguir para la aplicación de la distribución Weibull:

A) Describir los datos de falla del componente de menor a mayor (t):

**Tabla 3: Tiempo medio entre fallas Weibull Motor Diésel**

ORDEN (i)	TIEMPO ENTRE FALLAS (t) (horas)
1	1267.7
2	1547.2
3	1562.2
4	2984.8
5	3406.9
6	5498.7
7	6526.3
8	6650.2
9	7645.8
10	8603.3
11	10240
12	12385.6
13	14696
14	15278.5
15	15343.3
16	15441
17	15460
18	15488.5
19	15496
20	16142

Nota: Elaboración propia

B) Calcular la probabilidad acumulada de falla  $F(t)$ , utilizando la fórmula de Bernard.

**Tabla 4: Probabilidad acumulada de falla Weibull Motor Diésel**

ORDEN (i)	TIEMPO ENTRE FALLAS (t)	PROBABILIDAD DE FALLA ACUMULADO F(t) $F(t)=(i-0.3)/(n+0.4)$
1	1267.7	3.43%
2	1547.2	8.33%
3	1562.2	13.24%
4	2984.8	18.14%
5	3406.9	23.04%
6	5498.7	27.94%
7	6526.3	32.84%
8	6650.2	37.75%
9	7645.8	42.65%
10	8603.3	47.55%
11	10240	52.45%
12	12385.6	57.35%
13	14696	62.25%
14	15278.5	67.16%
15	15343.3	72.06%
16	15441	76.96%
17	15460	81.86%
18	15488.5	86.76%
19	15496	91.67%
20	16142	96.57%

Nota: Elaboración propia



C) Cálculo de la aproximación de la confiabilidad  $R(t)$  para cada evento:

**Tabla 5: Aproximación de la confiabilidad Weibull Motor Diésel**

ORDEN (i)	TIEMPO ENTRE FALLAS (t)	PROBABILIDAD DE FALLA ACUMULADO F(t)	R(t)
		$F(t)=(i-0.3)/(n+0.4)$	$R(t)=1-F(t)$
1	1267.7	3.43%	96.57%
2	1547.2	8.33%	91.67%
3	1562.2	13.24%	86.76%
4	2984.8	18.14%	81.86%
5	3406.9	23.04%	76.96%
6	5498.7	27.94%	72.06%
7	6526.3	32.84%	67.16%
8	6650.2	37.75%	62.25%
9	7645.8	42.65%	57.35%
10	8603.3	47.55%	52.45%
11	10240	52.45%	47.55%
12	12385.6	57.35%	42.65%
13	14696	62.25%	37.75%
14	15278.5	67.16%	32.84%
15	15343.3	72.06%	27.94%
16	15441	76.96%	23.04%
17	15460	81.86%	18.14%
18	15488.5	86.76%	13.24%
19	15496	91.67%	8.33%
20	16142	96.57%	3.43%

Nota: Elaboración propia

D) Cálculo del logaritmo natural del tiempo medio entre fallas, valores de la abscisa X:

**Tabla 6: Valores de la Abscisa X Weibull Motor Diésel**

ORDEN (i)	TIEMPO ENTRE FALLAS (t)	PROBABILIDAD DE FALLA ACUMULADO F(t) $F(t)=(i-0.3)/(n+0.4)$	R(t) $R(t)=1-F(t)$	X $X=Ln(t)$
1	1267.7	3.43%	96.57%	7.1450
2	1547.2	8.33%	91.67%	7.3442
3	1562.2	13.24%	86.76%	7.3539
4	2984.8	18.14%	81.86%	8.0013
5	3406.9	23.04%	76.96%	8.1336
6	5498.7	27.94%	72.06%	8.6123
7	6526.3	32.84%	67.16%	8.7836
8	6650.2	37.75%	62.25%	8.8024
9	7645.8	42.65%	57.35%	8.9419
10	8603.3	47.55%	52.45%	9.0599
11	10240	52.45%	47.55%	9.2341
12	12385.6	57.35%	42.65%	9.4243
13	14696	62.25%	37.75%	9.5953
14	15278.5	67.16%	32.84%	9.6342
15	15343.3	72.06%	27.94%	9.6384
16	15441	76.96%	23.04%	9.6448
17	15460	81.86%	18.14%	9.6460
18	15488.5	86.76%	13.24%	9.6479
19	15496	91.67%	8.33%	9.6483
20	16142	96.57%	3.43%	9.6892

Nota: Elaboración propia

E) Cálculo del valor de la ordenada Y (logaritmo del logaritmo del inverso de la aproximación de la confiabilidad).

**Tabla 7: Valores de la Ordenada Y Weibull Motor Diésel**

ORDEN (i)	TIEMPO ENTRE FALLAS (t)	PROBABILIDAD DE FALLA ACUMULADO F(t) $F(t)=(i-0.3)/(n+0.4)$	R(t) $R(t)=1-F(t)$	X $X=Ln(t)$	Y $Y=Ln(-Ln(R(t)))$
1	1267.7	3.43%	96.57%	7.1450	-3.3548
2	1547.2	8.33%	91.67%	7.3442	-2.4417
3	1562.2	13.24%	86.76%	7.3539	-1.9521
4	2984.8	18.14%	81.86%	8.0013	-1.6088
5	3406.9	23.04%	76.96%	8.1336	-1.3399
6	5498.7	27.94%	72.06%	8.6123	-1.1157
7	6526.3	32.84%	67.16%	8.7836	-0.9210
8	6650.2	37.75%	62.25%	8.8024	-0.7467
9	7645.8	42.65%	57.35%	8.9419	-0.5871
10	8603.3	47.55%	52.45%	9.0599	-0.4381
11	10240	52.45%	47.55%	9.2341	-0.2965
12	12385.6	57.35%	42.65%	9.4243	-0.1599
13	14696	62.25%	37.75%	9.5953	-0.0260
14	15278.5	67.16%	32.84%	9.6342	0.1074
15	15343.3	72.06%	27.94%	9.6384	0.2430
16	15441	76.96%	23.04%	9.6448	0.3839
17	15460	81.86%	18.14%	9.6460	0.5349
18	15488.5	86.76%	13.24%	9.6479	0.7042
19	15496	91.67%	8.33%	9.6483	0.9102
20	16142	96.57%	3.43%	9.6892	1.2156

Nota: Elaboración propia

F) Cálculo de los parámetros de la distribución Weibull:

- Parámetro Beta ( $\beta$ ); se empleara la función; “pendiente(Y;X)”, para estimar la pendiente de la recta.
- Parámetro Eta ( $\eta$ ): se empleara la función “interseccion.eje(Y;X)”, para estimar el intercepto de la recta.

- Tiempo medio entre fallas: se empleará la función gamma y el parámetro eta.

**Tabla 8 Parámetros Distribución Weibull Motor Diésel**

PARAMETROS DISTRIBUCION WEIBULL		
Beta ( $\beta$ ) $\beta = \text{Pendiente}(Y;X)$	Eta ( $\eta$ ) $\eta = \exp(\text{abs}(\text{interseccion.eje}(Y;X))/\beta)$	Tiempo medio entre fallas $MTBF = \eta * \text{GAMMA}(1 + (1/\beta))$
1.2991	11137.939	10288.136

Nota: Elaboración propia

- G) Cálculo de la confiabilidad de la distribución Weibull considerando los parámetros Beta y Eta.

**Tabla 9 Valores de confiabilidad Weibull Motor Diésel**

ORDEN (i)	TIEMPO ENTRE FALLAS (t)	WEIBULL
		CONFIABILIDAD R(t) $R(t) = e - (t/\eta)^\beta$
1	1267.7	94.23%
2	1547.2	92.59%
3	1562.2	92.50%
4	2984.8	83.47%
5	3406.9	80.68%
6	5498.7	67.05%
7	6526.3	60.69%
8	6650.2	59.95%
9	7645.8	54.15%
10	8603.3	48.92%
11	10240	40.80%
12	12385.6	31.73%
13	14696	23.85%
14	15278.5	22.14%
15	15343.3	21.96%
16	15441	21.68%
17	15460	21.63%
18	15488.5	21.55%
19	15496	21.53%
20	16142	19.80%

Nota: Elaboración propia

#### 4.1.2.2 Análisis de la distribución Normal en el Motor diésel:

A continuación, se detallan los pasos a seguir para la aplicación de la distribución Normal.

A) Describir los datos de falla del componente de menor a mayor (t):

**Tabla 10 Tiempo medio entre fallas Normal Motor Diésel**

ORDEN (i)	TIEMPO ENTRE FALLAS (t) (horas)
1	1267.7
2	1547.2
3	1562.2
4	2984.8
5	3406.9
6	5498.7
7	6526.3
8	6650.2
9	7645.8
10	8603.3
11	10240
12	12385.6
13	14696
14	15278.5
15	15343.3
16	15441
17	15460
18	15488.5
19	15496
20	16142

Nota: Elaboración propia

B) Calculo la probabilidad acumulada de falla  $F(t)$ , utilizando la fórmula de Bernard.

**Tabla 11: Probabilidad acumulada de falla Normal Motor Diésel**

ORDEN (i)	TIEMPO ENTRE FALLAS (t)	PROBABILIDAD DE FALLA ACUMULADO F(t) $F(t)=(i-0.3)/(n+0.4)$
1	1267.7	3.43%
2	1547.2	8.33%
3	1562.2	13.24%
4	2984.8	18.14%
5	3406.9	23.04%
6	5498.7	27.94%
7	6526.3	32.84%
8	6650.2	37.75%
9	7645.8	42.65%
10	8603.3	47.55%
11	10240	52.45%
12	12385.6	57.35%
13	14696	62.25%
14	15278.5	67.16%
15	15343.3	72.06%
16	15441	76.96%
17	15460	81.86%
18	15488.5	86.76%
19	15496	91.67%
20	16142	96.57%

Nota: Elaboración propia

C) Cálculo de los valores de la abscisa X el cual es igual a los valores de los datos de falla según la expresión lineal de la recta.

**Tabla 12: Valores de la abscisa X Normal Motor Diésel**

ORDEN (i)	TIEMPO ENTRE FALLAS (t)	PROBABILIDAD DE FALLA ACUMULADO F(t) $F(t)=(i-0.3)/(n+0.4)$	X X=t
1	1267.7	3.43%	1267.7
2	1547.2	8.33%	1547.2
3	1562.2	13.24%	1562.2
4	2984.8	18.14%	2984.8
5	3406.9	23.04%	3406.9
6	5498.7	27.94%	5498.7
7	6526.3	32.84%	6526.3
8	6650.2	37.75%	6650.2
9	7645.8	42.65%	7645.8
10	8603.3	47.55%	8603.3
11	10240	52.45%	12240
12	12385.6	57.35%	12385.6
13	14696	62.25%	14696
14	15278.5	67.16%	15278.5
15	15343.3	72.06%	15343.3
16	15441	76.96%	15441
17	15460	81.86%	15460
18	15488.5	86.76%	15488.5
19	15496	91.67%	15496
20	16142	96.57%	16142

Nota: Elaboración propia

D) Cálculo de los valores de la ordenada Y para lo cual se utilizará la función de la distribución normal estándar inversa de la probabilidad de falla F(t).

**Tabla 13: Valores de la ordenada Y Normal Motor Diésel**

ORDEN (i)	TIEMPO ENTRE FALLAS (t)	PROBABILIDAD DE FALLA ACUMULADO F(t) $F(t)=(i-0.3)/(n+0.4)$	X X=t	Y Y=DISTR.NORM.E STAND.INV(F(t))
1	1267.7	3.43%	1267.7	-1.8209
2	1547.2	8.33%	1547.2	-1.3830
3	1562.2	13.24%	1562.2	-1.1153
4	2984.8	18.14%	2984.8	-0.9101
5	3406.9	23.04%	3406.9	-0.7376
6	5498.7	27.94%	5498.7	-0.5846
7	6526.3	32.84%	6526.3	-0.4442
8	6650.2	37.75%	6650.2	-0.3122
9	7645.8	42.65%	7645.8	-0.1854
10	8603.3	47.55%	8603.3	-0.0615
11	10240	52.45%	12240	0.0615
12	12385.6	57.35%	12385.6	0.1854
13	14696	62.25%	14696	0.3122
14	15278.5	67.16%	15278.5	0.4442
15	15343.3	72.06%	15343.3	0.5846
16	15441	76.96%	15441	0.7376
17	15460	81.86%	15460	0.9101
18	15488.5	86.76%	15488.5	1.1153
19	15496	91.67%	15496	1.3830
20	16142	96.57%	16142	1.8209

Nota: Elaboración propia



E) Cálculo de los parámetros de la distribución Normal:

- Para el calculo de la desviación estándar se utilizará la función pendiente(Y;X).
- Para el calculo de la media, se utilizará la función intersección.eje(Y;X) y la desviación estándar.
- Para el cálculo del tiempo medio entre fallas MTBF es igual a la media.

**Tabla 14: Parámetros Distribución Normal Motor Diésel**

<b>PARAMETROS DISTRIBUCION NORMAL</b>		
Desviación estandar ( $\sigma$ ) $\sigma=1/\text{pendiente}(Y;X)$	Media ( $\mu$ ) $\mu=\text{abs}(\text{interseccion.eje}(Y;X))*\sigma$	Tiempo medio entre fallas MTBF= $\mu$
6365.757	9593.1	9593.078

Nota: Elaboración propia

F) Cálculo de la confiabilidad de la distribución Normal considerando los parámetros de la media y desviación estándar y la función DIST.NORMA.

**Tabla 15: Valores de la confiabilidad Normal Motor Diésel**

ORDEN (i)	TIEMPO ENTRE FALLAS (t)	NORMAL
		CONFIABILIDAD R(t) $R(t)=1-DISTR.NORM(X;\mu;\sigma;1)$
1	1267.7	90.63%
2	1547.2	89.87%
3	1562.2	89.83%
4	2984.8	85.23%
5	3406.9	83.63%
6	5498.7	74.14%
7	6526.3	68.61%
8	6650.2	67.91%
9	7645.8	62.07%
10	8603.3	56.17%
11	10240	45.85%
12	12385.6	32.84%
13	14696	20.88%
14	15278.5	18.32%
15	15343.3	18.05%
16	15441	17.65%
17	15460	17.57%
18	15488.5	17.45%
19	15496	17.42%
20	16142	14.92%

Nota: Elaboración propia

#### 4.1.2.3 Análisis de la distribución Exponencial en el Motor diésel:

A continuación, se detallan los pasos a seguir para la aplicación de la distribución Exponencial.

A) Describir los datos de falla del componente de menor a mayor (t):

**Tabla 16: Tiempo medio entre fallas Exponencial Motor Diésel**

ORDEN (i)	TIEMPO ENTRE FALLAS (t) (horas)
1	1267.7
2	1547.2
3	1562.2
4	2984.8
5	3406.9
6	5498.7
7	6526.3
8	6650.2
9	7645.8
10	8603.3
11	10240
12	12385.6
13	14696
14	15278.5
15	15343.3
16	15441
17	15460
18	15488.5
19	15496
20	16142

Nota: Elaboración propia

B) Calcular la probabilidad acumulada de falla  $F(t)$ , utilizando la fórmula de Bernard.

**Tabla 17: Probabilidad acumulada de falla Exponencial Motor Diésel**

ORDEN (i)	TIEMPO ENTRE FALLAS (t)	PROBABILIDAD DE FALLA ACUMULADO F(t) $F(t)=(i-0.3)/(n+0.4)$
1	1267.7	3.43%
2	1547.2	8.33%
3	1562.2	13.24%
4	2984.8	18.14%
5	3406.9	23.04%
6	5498.7	27.94%
7	6526.3	32.84%
8	6650.2	37.75%
9	7645.8	42.65%
10	8603.3	47.55%
11	10240	52.45%
12	12385.6	57.35%
13	14696	62.25%
14	15278.5	67.16%
15	15343.3	72.06%
16	15441	76.96%
17	15460	81.86%
18	15488.5	86.76%
19	15496	91.67%
20	16142	96.57%

Nota: Elaboración propia

C) Cálculo de la aproximación de la confiabilidad  $R(t)$  para cada evento:

**Tabla 18: Aproximación de la confiabilidad Exponencial Motor Diésel**

ORDEN (i)	TIEMPO ENTRE FALLAS (t)	PROBABILIDAD DE FALLA ACUMULADO F(t)	R(t) R(t)=1-F(t)
		$F(t)=(i-0.3)/(n+0.4)$	
1	1267.7	3.43%	96.57%
2	1547.2	8.33%	91.67%
3	1562.2	13.24%	86.76%
4	2984.8	18.14%	81.86%
5	3406.9	23.04%	76.96%
6	5498.7	27.94%	72.06%
7	6526.3	32.84%	67.16%
8	6650.2	37.75%	62.25%
9	7645.8	42.65%	57.35%
10	8603.3	47.55%	52.45%
11	10240	52.45%	47.55%
12	12385.6	57.35%	42.65%
13	14696	62.25%	37.75%
14	15278.5	67.16%	32.84%
15	15343.3	72.06%	27.94%
16	15441	76.96%	23.04%
17	15460	81.86%	18.14%
18	15488.5	86.76%	13.24%
19	15496	91.67%	8.33%
20	16142	96.57%	3.43%

Nota: Elaboración propia

D) Cálculo de los valores de la abscisa X el cual es igual a los valores de los datos de falla según la expresión lineal de la recta.

**Tabla 19: Valores de la abscisa X Exponencial Motor Diésel**

ORDEN (i)	TIEMPO ENTRE FALLAS (t)	PROBABILIDAD DE FALLA ACUMULADO F(t) $F(t)=(i-0.3)/(n+0.4)$	R(t) $R(t)=1-F(t)$	X $X=t$
1	1267.7	3.43%	96.57%	1267.7
2	1547.2	8.33%	91.67%	1547.2
3	1562.2	13.24%	86.76%	1562.2
4	2984.8	18.14%	81.86%	2984.8
5	3406.9	23.04%	76.96%	3406.9
6	5498.7	27.94%	72.06%	5498.7
7	6526.3	32.84%	67.16%	6526.3
8	6650.2	37.75%	62.25%	6650.2
9	7645.8	42.65%	57.35%	7645.8
10	8603.3	47.55%	52.45%	8603.3
11	10240	52.45%	47.55%	12240
12	12385.6	57.35%	42.65%	12385.6
13	14696	62.25%	37.75%	14696
14	15278.5	67.16%	32.84%	15278.5
15	15343.3	72.06%	27.94%	15343.3
16	15441	76.96%	23.04%	15441
17	15460	81.86%	18.14%	15460
18	15488.5	86.76%	13.24%	15488.5
19	15496	91.67%	8.33%	15496
20	16142	96.57%	3.43%	16142

Nota: Elaboración propia

E) Cálculo de los valores de la ordenada Y para lo cual se utilizará el logaritmo natural de la aproximación de la confiabilidad.

**Tabla 20: Valores de la ordenada Y Exponencial Motor Diésel**

ORDEN (i)	TIEMPO ENTRE FALLAS (t)	PROBABILIDAD DE FALLA ACUMULADO F(t) $F(t)=(i-0.3)/(n+0.4)$	R(t) $R(t)=1-F(t)$	X $X=t$	Y $Y=-\ln(R(t))$
1	1267.7	3.43%	96.57%	1267.7	0.0349
2	1547.2	8.33%	91.67%	1547.2	0.0870
3	1562.2	13.24%	86.76%	1562.2	0.1420
4	2984.8	18.14%	81.86%	2984.8	0.2001
5	3406.9	23.04%	76.96%	3406.9	0.2619
6	5498.7	27.94%	72.06%	5498.7	0.3277
7	6526.3	32.84%	67.16%	6526.3	0.3981
8	6650.2	37.75%	62.25%	6650.2	0.4739
9	7645.8	42.65%	57.35%	7645.8	0.5559
10	8603.3	47.55%	52.45%	8603.3	0.6453
11	10240	52.45%	47.55%	12240	0.7434
12	12385.6	57.35%	42.65%	12385.6	0.8522
13	14696	62.25%	37.75%	14696	0.9743
14	15278.5	67.16%	32.84%	15278.5	1.1134
15	15343.3	72.06%	27.94%	15343.3	1.2751
16	15441	76.96%	23.04%	15441	1.4680
17	15460	81.86%	18.14%	15460	1.7072
18	15488.5	86.76%	13.24%	15488.5	2.0223
19	15496	91.67%	8.33%	15496	2.4849
20	16142	96.57%	3.43%	16142	3.3722

Nota: Elaboración propia

F) Cálculo de los parámetros de la distribución Exponencial:

- Para el cálculo de la Tasa de falla ( $\lambda$ ), se utilizará la función pendiente (Y;X)
- Para el cálculo del tiempo medio entre fallas MTBF, se utilizará la tasa de falla.

**Tabla 21: Parámetros Distribución Exponencial Motor Diésel**

<b>PARAMETROS DISTRIBUCION EXPONENCIAL</b>	
Tasa de falla ( $\lambda$ ) $\lambda = \text{pendiente}(Y;X)$	Tiempo medio entre fallas MTBF = $1/\lambda$
0.000128083	7807.418269

Nota: Elaboración propia

G) Cálculo de la confiabilidad de la distribución Exponencial considerando los parámetros de la tasa de falla.

**Tabla 22: Valores de confiabilidad Exponencial Motor Diésel**

ORDEN (i)	TIEMPO ENTRE FALLAS (t)	EXPONENCIAL
		CONFIABILIDAD R(t) $R(t) = e^{-(\lambda * t)}$
1	1267.7	85.01%
2	1547.2	82.02%
3	1562.2	81.87%
4	2984.8	68.23%
5	3406.9	64.64%
6	5498.7	49.45%
7	6526.3	43.35%
8	6650.2	42.67%
9	7645.8	37.56%
10	8603.3	33.22%
11	10240	20.85%
12	12385.6	20.47%
13	14696	15.22%
14	15278.5	14.13%
15	15343.3	14.01%
16	15441	13.84%
17	15460	13.80%
18	15488.5	13.75%
19	15496	13.74%
20	16142	12.65%

Nota: Elaboración propia



#### **4.1.3 Cálculo de indicadores de confiabilidad para la Caja Transmisión:**

Se analizaron las principales fallas de la Caja de Transmisión desde el inicio de su operación, se toma como referencia 20 eventos de falla más representativos del componente.

##### **4.1.3.1 Análisis de la distribución Weibull para la Caja de Transmisión:**

A continuación, se detallan los pasos a seguir para la aplicación de la distribución Weibull:

- A) Describir los datos de falla del componente de menor a mayor (t):
- B) Calcular la probabilidad acumulada de falla  $F(t)$ , utilizando la fórmula de Bernard.
- C) Cálculo de la aproximación de la confiabilidad  $R(t)$  para cada evento:
- D) Cálculo del logaritmo natural del tiempo medio entre fallas, valores de la abscisa  $X$ :
- E) Cálculo del valor de la ordenada  $Y$  (logaritmo del logaritmo del inverso de la aproximación de la confiabilidad).

**Tabla 23 Valores de la Abscisa X y Ordenada Y Weibull Caja Transmisión**

ORDEN (i)	TIEMPO ENTRE FALLAS (t) (horas)	PROBABILIDAD DE FALLA ACUMULADO F(t) F(t)=(i-0.3)/(n+0.4)	R(t) R(t)=1-F(t)	WEIBULL	
				X X=Ln(t)	Y Y=Ln(-Ln(R(t)))
1	1010	3.43%	96.57%	6.9177	-3.3548
2	1606	8.33%	91.67%	7.3815	-2.4417
3	2145.2	13.24%	86.76%	7.6710	-1.9521
4	3167	18.14%	81.86%	8.0605	-1.6088
5	3500	23.04%	76.96%	8.1605	-1.3399
6	3900	27.94%	72.06%	8.2687	-1.1157
7	5567	32.84%	67.16%	8.6246	-0.9210
8	7010	37.75%	62.25%	8.8551	-0.7467
9	8345	42.65%	57.35%	9.0294	-0.5871
10	9984.7	47.55%	52.45%	9.2088	-0.4381
11	10543	52.45%	47.55%	9.2632	-0.2965
12	11500	57.35%	42.65%	9.3501	-0.1599
13	12098	62.25%	37.75%	9.4008	-0.0260
14	12500	67.16%	32.84%	9.4335	0.1074
15	13335	72.06%	27.94%	9.4981	0.2430
16	14075.5	76.96%	23.04%	9.5522	0.3839
17	15100	81.86%	18.14%	9.6225	0.5349
18	15983	86.76%	13.24%	9.6793	0.7042
19	16269.5	91.67%	8.33%	9.6970	0.9102
20	16381	96.57%	3.43%	9.7039	1.2156

Nota: Elaboración propia

F) Cálculo de los parámetros de la distribución Weibull:

- Parámetro Beta ( $\beta$ ); se empleara la función; “pendiente(Y;X)”, para estimar la pendiente de la recta.
- Parámetro Eta ( $\eta$ ): se empleara la función “interseccion.eje(Y;X)”, para estimar el intercepto de la recta.
- Tiempo medio entre fallas: se empleará la función gamma y el parámetro eta.

**Tabla 24: Parámetros Distribución Weibull Caja Transmisión**

PARAMETROS DISTRIBUCION WEIBULL		
Beta ( $\beta$ ) $\beta = \text{Pendiente}(Y;X)$	Eta ( $\eta$ ) $\eta = \exp(\text{abs}(\text{interseccio n.eje}(Y;X))/\beta)$	Tiempo medio entre fallas MTBF = $\eta * \text{GAMMA}(1+(1/\beta))$
1.3528	10629.624	9743.712

Nota: Elaboración propia

G) Cálculo de la confiabilidad de la distribución Weibull considerando los parámetros Beta y Eta.

**Tabla 25: Valores de confiabilidad Weibull Caja Transmisión**

ORDEN (i)	TIEMPO ENTRE FALLAS (t)	WEIBULL
		CONFIABILIDAD R(t) $R(t) = e^{-(t/\eta)^\beta}$
1	1010	95.94%
2	1606	92.54%
3	2145.2	89.16%
4	3167	82.34%
5	3500	80.05%
6	3900	77.29%
7	5567	65.91%
8	7010	56.59%
9	8345	48.63%
10	9984.7	39.90%
11	10543	37.20%
12	11500	32.88%
13	12098	30.38%
14	12500	28.79%
15	13335	25.69%
16	14075.5	23.18%
17	15100	20.03%
18	15983	17.62%
19	16269.5	16.89%
20	16381	16.61%

Nota: Elaboración propia

#### **4.1.3.2 Análisis de la distribución Normal para la Caja de Transmisión:**

A continuación, se detallan los pasos a seguir para la aplicación de la distribución Normal.

- A) Describir los datos de falla del componente de menor a mayor (t):
- B) Calcular la probabilidad acumulada de falla  $F(t)$ , utilizando la fórmula de Bernard.
- C) Cálculo de los valores de la abscisa  $X$  el cual es igual a los valores de los datos de falla según la expresión lineal de la recta.
- D) Cálculo de los valores de la ordenada  $Y$  para lo cual se utilizará la función de la distribución normal estándar inversa de la probabilidad de falla  $F(t)$ .

**Tabla 26: Valores de la Abscisa X y Ordenada Y Normal Caja Transmisión**

ORDEN (i)	TIEMPO ENTRE FALLAS (t)	PROBABILIDAD DE FALLA ACUMULADO F(t) $F(t)=(i-0.3)/(n+0.4)$	NORMAL	
			X X=t	Y Y=DISTR.NORM.E STAND.INV(F(t))
1	1010	3.43%	1010	-1.8209
2	1606	8.33%	1606	-1.3830
3	2145.2	13.24%	2145.2	-1.1153
4	3167	18.14%	3167	-0.9101
5	3500	23.04%	3500	-0.7376
6	3900	27.94%	3900	-0.5846
7	5567	32.84%	5567	-0.4442
8	7010	37.75%	7010	-0.3122
9	8345	42.65%	8345	-0.1854
10	9984.7	47.55%	9984.7	-0.0615
11	10543	52.45%	10543	0.0615
12	11500	57.35%	11500	0.1854
13	12098	62.25%	12098	0.3122
14	12500	67.16%	12500	0.4442
15	13335	72.06%	13335	0.5846
16	14075.5	76.96%	14075.5	0.7376
17	15100	81.86%	15100	0.9101
18	15983	86.76%	15983	1.1153
19	16269.5	91.67%	16269.5	1.3830
20	16381	96.57%	16381	1.8209

Nota: Elaboración propia

E) Cálculo de los parámetros de la distribución Normal:

- Para el cálculo de la desviación estándar se utilizará la función pendiente(Y;X).
- Para el cálculo de la media, se utilizará la función intersección.eje(Y;X) y la desviación estándar.
- Para el cálculo del tiempo medio entre fallas MTBF es igual a la media.

**Tabla 27: Parámetros Distribución Normal Caja Transmisión**

<b>PARAMETROS DISTRIBUCION NORMAL</b>		
Desviación estandar ( $\sigma$ ) $\sigma=1/\text{pendiente}(Y;X)$	Media ( $\mu$ ) $\mu=\text{abs}(\text{interseccion.eje}(Y;X))*\sigma$	Tiempo medio entre fallas MTBF= $\mu$
5800.930	9201.0	9200.995

Nota: Elaboración propia

F) Cálculo de la confiabilidad de la distribución Normal considerando los parámetros de la media y desviación estándar y la función DIST.NORMA.

**Tabla 28: Valores de confiabilidad Normal Caja Transmisión**

ORDEN (i)	TIEMPO ENTRE FALLAS (t)	NORMAL
		CONFIABILIDAD R(t) $R(t)=1-\text{DISTR.NORM}(X;\mu;\sigma;1)$
1	1010	92.10%
2	1606	90.48%
3	2145.2	88.81%
4	3167	85.09%
5	3500	83.71%
6	3900	81.96%
7	5567	73.45%
8	7010	64.72%
9	8345	55.87%
10	9984.7	44.63%
11	10543	40.85%
12	11500	34.59%
13	12098	30.87%
14	12500	28.48%
15	13335	23.80%
16	14075.5	20.04%
17	15100	15.46%
18	15983	12.12%
19	16269.5	11.15%
20	16381	10.79%

Nota: Elaboración propia

#### **4.1.3.3 Análisis de la distribución Exponencial para la Caja de Transmisión:**

A continuación, se detallan los pasos a seguir para la aplicación de la distribución Exponencial.

- A) Describir los datos de falla del componente de menor a mayor (t):
- B) Calcular la probabilidad acumulada de falla  $F(t)$ , utilizando la fórmula de Bernard.
- C) Cálculo de la aproximación de la confiabilidad  $R(t)$  para cada evento:
- D) Cálculo de los valores de la abscisa  $X$  el cual es igual a los valores de los datos de falla según la expresión lineal de la recta.
- E) Cálculo de los valores de la ordenada  $Y$  para lo cual se utilizará el logaritmo natural de la aproximación de la confiabilidad.

**Tabla 29: Valores de la Abscisa X y Ordenada Y Exponencial Caja Transmisión**

ORDEN (i)	TIEMPO ENTRE FALLAS (t)	PROBABILIDAD DE FALLA ACUMULADO F(t) $F(t)=(i-0.3)/(n+0.4)$	R(t) $R(t)=1-F(t)$	EXPONENCIAL	
				X X=t	Y $Y=-\ln(R(t))$
1	1010	3.43%	96.57%	1010	0.0349
2	1606	8.33%	91.67%	1606	0.0870
3	2145.2	13.24%	86.76%	2145.2	0.1420
4	3167	18.14%	81.86%	3167	0.2001
5	3500	23.04%	76.96%	3500	0.2619
6	3900	27.94%	72.06%	3900	0.3277
7	5567	32.84%	67.16%	5567	0.3981
8	7010	37.75%	62.25%	7010	0.4739
9	8345	42.65%	57.35%	8345	0.5559
10	9984.7	47.55%	52.45%	9984.7	0.6453
11	10543	52.45%	47.55%	10543	0.7434
12	11500	57.35%	42.65%	11500	0.8522
13	12098	62.25%	37.75%	12098	0.9743
14	12500	67.16%	32.84%	12500	1.1134
15	13335	72.06%	27.94%	13335	1.2751
16	14075.5	76.96%	23.04%	14075.5	1.4680
17	15100	81.86%	18.14%	15100	1.7072
18	15983	86.76%	13.24%	15983	2.0223
19	16269.5	91.67%	8.33%	16269.5	2.4849
20	16381	96.57%	3.43%	16381	3.3722

Nota: Elaboración propia

F) Cálculo de los parámetros de la distribución Exponencial:

- Para el cálculo de la Tasa de falla ( $\lambda$ ), se utilizará la función pendiente (Y;X)
- Para el cálculo del tiempo medio entre fallas MTBF, se utilizará la tasa de falla.



**Tabla 30: Parámetros Distribución Exponencial Caja Transmisión**

<b>PARAMETROS DISTRIBUCION EXPONENCIAL</b>	
Tasa de falla ( $\lambda$ ) $\lambda = \text{pendiente}(Y;X)$	Tiempo medio entre fallas MTBF = $1/\lambda$
0.000145437	6875.849934

Nota: Elaboración propia

G) Cálculo de la confiabilidad de la distribución Exponencial considerando los parámetros de la tasa de falla.

**Tabla 31: Valores de confiabilidad Exponencial Caja Transmisión**

ORDEN (i)	TIEMPO ENTRE FALLAS (t)	EXPONENCIAL
		CONFIABILIDAD R(t) $R(t) = e^{-(\lambda * t)}$
1	1010	86.34%
2	1606	79.17%
3	2145.2	73.20%
4	3167	63.09%
5	3500	60.11%
6	3900	56.71%
7	5567	44.50%
8	7010	36.08%
9	8345	29.71%
10	9984.7	23.41%
11	10543	21.58%
12	11500	18.78%
13	12098	17.21%
14	12500	16.24%
15	13335	14.38%
16	14075.5	12.91%
17	15100	11.12%
18	15983	9.78%
19	16269.5	9.38%
20	16381	9.23%

Nota: Elaboración propia

#### **4.1.4 Cálculo de indicadores de confiabilidad para Eje delantero**

Se analizaron las principales fallas del Eje Delantero desde el inicio de su operación, se toma como referencia 20 eventos de falla más representativos del componente.

##### **4.1.4.1 Análisis de la distribución Weibull para el Eje Delantero:**

A continuación, se detallan los pasos a seguir para la aplicación de la distribución Weibull:

- A) Describir los datos de falla del componente de menor a mayor (t):
- B) Calcular la probabilidad acumulada de falla  $F(t)$ , utilizando la fórmula de Bernard.
- C) Cálculo de la aproximación de la confiabilidad  $R(t)$  para cada evento:
- D) Cálculo del logaritmo natural del tiempo medio entre fallas, valores de la abscisa  $X$ :
- E) Cálculo del valor de la ordenada  $Y$  (logaritmo del logaritmo del inverso de la aproximación de la confiabilidad).

**Tabla 32: Valores de la Abscisa X y Ordenada Y Weibull Eje Delantero**

ORDEN (i)	TIEMPO ENTRE FALLAS (t) (horas)	PROBABILIDAD DE FALLA ACUMULADO F(t) $F(t)=(i-0.3)/(n+0.4)$	R(t) $R(t)=1-F(t)$	WEIBULL	
				X $X=Ln(t)$	Y $Y=Ln(-Ln(R(t)))$
1	1210.9	3.43%	96.57%	7.0991	-3.3548
2	1893.2	8.33%	91.67%	7.5460	-2.4417
3	2179.9	13.24%	86.76%	7.6870	-1.9521
4	3465.6	18.14%	81.86%	8.1506	-1.6088
5	4906.2	23.04%	76.96%	8.4983	-1.3399
6	5392.5	27.94%	72.06%	8.5928	-1.1157
7	6115.6	32.84%	67.16%	8.7186	-0.9210
8	6658.7	37.75%	62.25%	8.8037	-0.7467
9	7500.5	42.65%	57.35%	8.9227	-0.5871
10	7796.9	47.55%	52.45%	8.9615	-0.4381
11	8543.9	52.45%	47.55%	9.0530	-0.2965
12	9879.3	57.35%	42.65%	9.1982	-0.1599
13	10145.5	62.25%	37.75%	9.2248	-0.0260
14	11482.4	67.16%	32.84%	9.3486	0.1074
15	12462	72.06%	27.94%	9.4304	0.2430
16	13919	76.96%	23.04%	9.5410	0.3839
17	14126	81.86%	18.14%	9.5558	0.5349
18	14430.5	86.76%	13.24%	9.5771	0.7042
19	14664	91.67%	8.33%	9.5932	0.9102
20	15268	96.57%	3.43%	9.6335	1.2156

Nota: Elaboración propia

F) Cálculo de los parámetros de la distribución Weibull:

- Parámetro Beta ( $\beta$ ); se empleara la función; “pendiente(Y;X)”, para estimar la pendiente de la recta.
- Parámetro Eta ( $\eta$ ): se empleara la función “interseccion.eje(Y;X)”, para estimar el intercepto de la recta.
- Tiempo medio entre fallas: se empleará la función gamma y el parámetro eta.

**Tabla 33: Parámetros Distribución Weibull Eje Delantero**

PARAMETROS DISTRIBUCION WEIBULL		
Beta ( $\beta$ ) $\beta = \text{Pendiente}(Y;X)$	Eta ( $\eta$ ) $\eta = \exp(\text{abs}(\text{interseccio n.eje}(Y;X))/\beta)$	Tiempo medio entre fallas $\text{MTBF} = \eta * \text{GAMMA}(1+(1/\beta))$
1.5590	9956.863	8949.701

Nota: Elaboración propia

G) Cálculo de la confiabilidad de la distribución Weibull considerando los parámetros Beta y Eta.

**Tabla 34: Valores de confiabilidad Weibull Eje Delantero**

ORDEN (i)	TIEMPO ENTRE FALLAS (t)	WEIBULL
		CONFIABILIDAD R(t) $R(t) = e^{-(t/n)^\beta}$
1	1210.9	96.32%
2	1893.2	92.76%
3	2179.9	91.06%
4	3465.6	82.45%
5	4906.2	71.77%
6	5392.5	68.09%
7	6115.6	62.64%
8	6658.7	58.62%
9	7500.5	52.57%
10	7796.9	50.51%
11	8543.9	45.49%
12	9879.3	37.24%
13	10145.5	35.71%
14	11482.4	28.68%
15	12462	24.20%
16	13919	18.53%
17	14126	17.82%
18	14430.5	16.81%
19	14664	16.06%
20	15268	14.26%

Nota: Elaboración propia

#### 4.1.4.2 Análisis de la distribución Normal para el Eje Delantero:

A continuación, se detallan los pasos a seguir para la aplicación de la distribución Normal.

- A) Describir los datos de falla del componente de menor a mayor (t):
- B) Calcular la probabilidad acumulada de falla  $F(t)$ , utilizando la fórmula de Bernard.
- C) Cálculo de los valores de la abscisa  $X$  el cual es igual a los valores de los datos de falla según la expresión lineal de la recta.
- D) Cálculo de los valores de la ordenada  $Y$  para lo cual se utilizará la función de la distribución normal estándar inversa de la probabilidad de falla  $F(t)$ .

**Tabla 35: Valores de la Abscisa X y Ordenada Y Normal Eje Delantero**

ORDEN (i)	TIEMPO ENTRE FALLAS (t)	PROBABILIDAD DE FALLA ACUMULADO F(t) $F(t)=(i-0.3)/(n+0.4)$	NORMAL	
			X X=t	Y Y=DISTR.NORM.E STAND.INV(F(t))
1	1210.9	3.43%	1210.9	-1.8209
2	1893.2	8.33%	1893.2	-1.3830
3	2179.9	13.24%	2179.9	-1.1153
4	3465.6	18.14%	3465.6	-0.9101
5	4906.2	23.04%	4906.2	-0.7376
6	5392.5	27.94%	5392.5	-0.5846
7	6115.6	32.84%	6115.6	-0.4442
8	6658.7	37.75%	6658.7	-0.3122
9	7500.5	42.65%	7500.5	-0.1854
10	7796.9	47.55%	7796.9	-0.0615
11	8543.9	52.45%	8543.9	0.0615
12	9879.3	57.35%	9879.3	0.1854
13	10145.5	62.25%	10145.5	0.3122
14	11482.4	67.16%	11482.4	0.4442
15	12462	72.06%	12462	0.5846
16	13919	76.96%	13919	0.7376
17	14126	81.86%	14126	0.9101
18	14430.5	86.76%	14430.5	1.1153
19	14664	91.67%	14664	1.3830
20	15268	96.57%	15268	1.8209

Nota: Elaboración propia

E) Cálculo de los parámetros de la distribución Normal:

- Para el cálculo de la desviación estándar se utilizará la función pendiente(Y;X).
- Para el cálculo de la media, se utilizará la función intersección.eje(Y;X) y la desviación estándar.
- Para el cálculo del tiempo medio entre fallas MTBF es igual a la media.

**Tabla 36: Parámetros Distribución Normal Eje Delantero**

PARAMETROS DISTRIBUCION NORMAL		
Desviación estandar ( $\sigma$ ) $\sigma=1/\text{pendiente}(Y;X)$	Media ( $\mu$ ) $\mu=\text{abs}(\text{interseccion.eje}(Y;X))*\sigma$	Tiempo medio entre fallas MTBF= $\mu$
4967.753	8602.0	8602.030

Nota: Elaboración propia

F) Cálculo de la confiabilidad de la distribución Normal considerando los parámetros de la media y desviación estándar y la función DIST.NORMA.

**Tabla 37: Valores de confiabilidad Normal Eje Delantero**

ORDEN (i)	TIEMPO ENTRE FALLAS (t)	NORMAL
		CONFIABILIDAD R(t) $R(t)=1-\text{DISTR.NORM}(X;\mu;\sigma;1)$
1	1210.9	93.16%
2	1893.2	91.16%
3	2179.9	90.20%
4	3465.6	84.94%
5	4906.2	77.16%
6	5392.5	74.09%
7	6115.6	69.16%
8	6658.7	65.22%
9	7500.5	58.77%
10	7796.9	56.44%
11	8543.9	50.47%
12	9879.3	39.85%
13	10145.5	37.80%
14	11482.4	28.10%
15	12462	21.86%
16	13919	14.22%
17	14126	13.31%
18	14430.5	12.03%
19	14664	11.12%
20	15268	8.98%

Nota: Elaboración propia

#### 4.1.4.3 Análisis de la distribución Exponencial para el Eje Delantero:

A continuación, se detallan los pasos a seguir para la aplicación de la distribución Exponencial.

- A) Describir los datos de falla del componente de menor a mayor (t):
- B) Calcular la probabilidad acumulada de falla  $F(t)$ , utilizando la fórmula de Bernard.
- C) Cálculo de la aproximación de la confiabilidad  $R(t)$  para cada evento:
- D) Cálculo de los valores de la abscisa  $X$  el cual es igual a los valores de los datos de falla según la expresión lineal de la recta.
- E) Cálculo de los valores de la ordenada  $Y$  para lo cual se utilizará el logaritmo natural de la aproximación de la confiabilidad.



**Tabla 38: Valores de la Abscisa X y Ordenada Y Exponencial Eje Delantero**

ORDEN (i)	TIEMPO ENTRE FALLAS (t)	PROBABILIDAD DE FALLA ACUMULADO F(t) $F(t)=(i-0.3)/(n+0.4)$	R(t) $R(t)=1-F(t)$	EXPONENCIAL	
				X X=t	Y $Y=-Ln(R(t))$
1	1210.9	3.43%	96.57%	1210.9	0.0349
2	1893.2	8.33%	91.67%	1893.2	0.0870
3	2179.9	13.24%	86.76%	2179.9	0.1420
4	3465.6	18.14%	81.86%	3465.6	0.2001
5	4906.2	23.04%	76.96%	4906.2	0.2619
6	5392.5	27.94%	72.06%	5392.5	0.3277
7	6115.6	32.84%	67.16%	6115.6	0.3981
8	6658.7	37.75%	62.25%	6658.7	0.4739
9	7500.5	42.65%	57.35%	7500.5	0.5559
10	7796.9	47.55%	52.45%	7796.9	0.6453
11	8543.9	52.45%	47.55%	8543.9	0.7434
12	9879.3	57.35%	42.65%	9879.3	0.8522
13	10145.5	62.25%	37.75%	10145.5	0.9743
14	11482.4	67.16%	32.84%	11482.4	1.1134
15	12462	72.06%	27.94%	12462	1.2751
16	13919	76.96%	23.04%	13919	1.4680
17	14126	81.86%	18.14%	14126	1.7072
18	14430.5	86.76%	13.24%	14430.5	2.0223
19	14664	91.67%	8.33%	14664	2.4849
20	15268	96.57%	3.43%	15268	3.3722

Nota: Elaboración propia

F) Cálculo de los parámetros de la distribución Exponencial:

- Para el cálculo de la Tasa de falla ( $\lambda$ ), se utilizará la función pendiente (Y;X)
- Para el cálculo del tiempo medio entre fallas MTBF, se utilizará la tasa de falla.

**Tabla 39: Parámetros Distribución Exponencial Eje Delantero**

<b>PARAMETROS DISTRIBUCION EXPONENCIAL</b>	
Tasa de falla ( $\lambda$ ) $\lambda = \text{pendiente}(Y;X)$	Tiempo medio entre fallas MTBF = $1/\lambda$
0.000171696	5824.232162

Nota: Elaboración propia

G) Cálculo de la confiabilidad de la distribución Exponencial considerando los parámetros de la tasa de falla.

**Tabla 40: Valores de confiabilidad Exponencial Eje Delantero**

ORDEN (i)	TIEMPO ENTRE FALLAS (t)	EXPONENCIAL
		CONFIABILIDAD R(t) $R(t) = e^{-(\lambda * t)}$
1	1210.9	81.23%
2	1893.2	72.25%
3	2179.9	68.78%
4	3465.6	55.15%
5	4906.2	43.07%
6	5392.5	39.62%
7	6115.6	34.99%
8	6658.7	31.88%
9	7500.5	27.59%
10	7796.9	26.22%
11	8543.9	23.06%
12	9879.3	18.34%
13	10145.5	17.52%
14	11482.4	13.92%
15	12462	11.77%
16	13919	9.16%
17	14126	8.84%
18	14430.5	8.39%
19	14664	8.06%
20	15268	7.27%

Nota: Elaboración propia

#### **4.1.5 Cálculo de indicadores de confiabilidad para Eje posterior**

Se analizaron las principales fallas del Eje Posterior desde el inicio de su operación, se toma como referencia 20 eventos de falla más representativos del componente.

##### **4.1.5.1 Análisis de la distribución Weibull para el Eje Posterior:**

A continuación, se detallan los pasos a seguir para la aplicación de la distribución Weibull:

- A) Describir los datos de falla del componente de menor a mayor (t):
- B) Calcular la probabilidad acumulada de falla  $F(t)$ , utilizando la fórmula de Bernard.
- C) Cálculo de la aproximación de la confiabilidad  $R(t)$  para cada evento:
- D) Cálculo del logaritmo natural del tiempo medio entre fallas, valores de la abscisa  $X$ :
- E) Cálculo del valor de la ordenada  $Y$  (logaritmo del logaritmo del inverso de la aproximación de la confiabilidad).

**Tabla 41: Valores de la Abscisa X y Ordenada Y Weibull Eje Posterior**

ORDEN (i)	TIEMPO ENTRE FALLAS (t) (horas)	PROBABILIDAD DE FALLA ACUMULADO F(t) $F(t)=(i-0.3)/(n+0.4)$	R(t) $R(t)=1-F(t)$	WEIBULL	
				X $X=\ln(t)$	Y $Y=\ln(-\ln(R(t)))$
1	1509.3	3.43%	96.57%	7.3194	-3.3548
2	1895	8.33%	91.67%	7.5470	-2.4417
3	3167.1	13.24%	86.76%	8.0606	-1.9521
4	3678	18.14%	81.86%	8.2101	-1.6088
5	4156.4	23.04%	76.96%	8.3324	-1.3399
6	4906.2	27.94%	72.06%	8.4983	-1.1157
7	5958.8	32.84%	67.16%	8.6926	-0.9210
8	6056.2	37.75%	62.25%	8.7088	-0.7467
9	6634	42.65%	57.35%	8.8000	-0.5871
10	7029.4	47.55%	52.45%	8.8579	-0.4381
11	7526.3	52.45%	47.55%	8.9262	-0.2965
12	8363.6	57.35%	42.65%	9.0316	-0.1599
13	9952.9	62.25%	37.75%	9.2056	-0.0260
14	10961.7	67.16%	32.84%	9.3022	0.1074
15	11001.6	72.06%	27.94%	9.3058	0.2430
16	12482.4	76.96%	23.04%	9.4321	0.3839
17	13309.2	81.86%	18.14%	9.4962	0.5349
18	14373.5	86.76%	13.24%	9.5731	0.7042
19	15038	91.67%	8.33%	9.6183	0.9102
20	16096.5	96.57%	3.43%	9.6864	1.2156

Nota: Elaboración propia

F) Cálculo de los parámetros de la distribución Weibull:

- Parámetro Beta ( $\beta$ ); se empleara la función; “pendiente(Y;X)”, para estimar la pendiente de la recta.
- Parámetro Eta ( $\eta$ ): se empleara la función “interseccion.eje(Y;X)”, para estimar el intercepto de la recta.
- Tiempo medio entre fallas: se empleará la función gamma y el parámetro eta.

**Tabla 42: Parámetros Distribución Weibull Eje Posterior**

<b>PARAMETROS DISTRIBUCION WEIBULL</b>		
Beta ( $\beta$ ) $\beta = \text{Pendiente}(Y;X)$	Eta ( $\eta$ ) $\eta = \exp(\text{abs}(\text{interseccion.eje}(Y;X))/\beta)$	Tiempo medio entre fallas MTBF = $\eta * \text{GAMMA}(1 + (1/\beta))$
1.7254	9374.701	8356.394

Nota: Elaboración propia

G) Cálculo de la confiabilidad de la distribución Weibull considerando los parámetros Beta y Eta.

**Tabla 43: Valores de confiabilidad Weibull Eje Posterior**

ORDEN (i)	TIEMPO ENTRE FALLAS (t)	WEIBULL
		CONFIABILIDAD R(t) $R(t) = e - (t/n)^{\beta}$
1	1509.3	95.81%
2	1895	93.86%
3	3167.1	85.75%
4	3678	81.95%
5	4156.4	78.21%
6	4906.2	72.10%
7	5958.8	63.28%
8	6056.2	62.47%
9	6634	57.66%
10	7029.4	54.42%
11	7526.3	50.43%
12	8363.6	43.99%
13	9952.9	33.00%
14	10961.7	26.99%
15	11001.6	26.77%
16	12482.4	19.42%
17	13309.2	16.03%
18	14373.5	12.36%
19	15038	10.43%
20	16096.5	7.87%

Nota: Elaboración propia

#### **4.1.5.2 Análisis de la distribución Normal para el Eje Posterior:**

A continuación, se detallan los pasos a seguir para la aplicación de la distribución Normal.

- A) Describir los datos de falla del componente de menor a mayor (t):
- B) Calcular la probabilidad acumulada de falla  $F(t)$ , utilizando la fórmula de Bernard.
- C) Cálculo de los valores de la abscisa  $X$  el cual es igual a los valores de los datos de falla según la expresión lineal de la recta.
- D) Cálculo de los valores de la ordenada  $Y$  para lo cual se utilizará la función de la distribución normal estándar inversa de la probabilidad de falla  $F(t)$ .

**Tabla 44: Valores de la Abscisa X y Ordenada Y Normal Eje Posterior**

ORDEN (i)	TIEMPO ENTRE FALLAS (t)	PROBABILIDAD DE FALLA ACUMULADO F(t) $F(t)=(i-0.3)/(n+0.4)$	NORMAL	
			X X=t	Y Y=DISTR.NORM. ESTA ND.INV(F(t))
1	1509.3	3.43%	1509.3	-1.8209
2	1895	8.33%	1895	-1.3830
3	3167.1	13.24%	3167.1	-1.1153
4	3678	18.14%	3678	-0.9101
5	4156.4	23.04%	4156.4	-0.7376
6	4906.2	27.94%	4906.2	-0.5846
7	5958.8	32.84%	5958.8	-0.4442
8	6056.2	37.75%	6056.2	-0.3122
9	6634	42.65%	6634	-0.1854
10	7029.4	47.55%	7029.4	-0.0615
11	7526.3	52.45%	7526.3	0.0615
12	8363.6	57.35%	8363.6	0.1854
13	9952.9	62.25%	9952.9	0.3122
14	10961.7	67.16%	10961.7	0.4442
15	11001.6	72.06%	11001.6	0.5846
16	12482.4	76.96%	12482.4	0.7376
17	13309.2	81.86%	13309.2	0.9101
18	14373.5	86.76%	14373.5	1.1153
19	15038	91.67%	15038	1.3830
20	16096.5	96.57%	16096.5	1.8209

Nota: Elaboración propia

E) Cálculo de los parámetros de la distribución Normal:

- Para el cálculo de la desviación estándar se utilizará la función pendiente(Y;X).
- Para el cálculo de la media, se utilizará la función intersección.eje(Y;X) y la desviación estándar.
- Para el cálculo del tiempo medio entre fallas MTBF es igual a la media.

**Tabla 45: Parámetros Distribución Normal Eje Posterior**

<b>PARAMETROS DISTRIBUCION NORMAL</b>		
Desviación estandar ( $\sigma$ ) $\sigma=1/\text{pendiente}(Y;X)$	Media ( $\mu$ ) $\mu=\text{abs}(\text{interseccion.eje}(Y;X))*\sigma$	Tiempo medio entre fallas MTBF= $\mu$
4800.617	8204.8	8204.805

Nota: Elaboración propia

F) Cálculo de la confiabilidad de la distribución Normal considerando los parámetros de la media y desviación estándar y la función DIST.NORMA.

**Tabla 46: Valores de confiabilidad Normal Eje Posterior**

ORDEN (i)	TIEMPO ENTRE FALLAS (t)	NORMAL
		CONFIABILIDAD R(t) $R(t)=1-\text{DISTR.NORM}(X;\mu;\sigma;1)$
1	1509.3	91.84%
2	1895	90.56%
3	3167.1	85.30%
4	3678	82.72%
5	4156.4	80.05%
6	4906.2	75.40%
7	5958.8	68.01%
8	6056.2	67.28%
9	6634	62.82%
10	7029.4	59.67%
11	7526.3	55.62%
12	8363.6	48.68%
13	9952.9	35.79%
14	10961.7	28.29%
15	11001.6	28.01%
16	12482.4	18.65%
17	13309.2	14.38%
18	14373.5	9.94%
19	15038	7.73%
20	16096.5	5.01%

Nota: Elaboración propia



#### **4.1.5.3 Análisis de la distribución Exponencial para el Eje Posterior:**

A continuación, se detallan los pasos a seguir para la aplicación de la distribución Exponencial.

- A) Describir los datos de falla del componente de menor a mayor (t):
- B) Calcular la probabilidad acumulada de falla  $F(t)$ , utilizando la fórmula de Bernard.
- C) Cálculo de la aproximación de la confiabilidad  $R(t)$  para cada evento:
- D) Cálculo de los valores de la abscisa  $X$  el cual es igual a los valores de los datos de falla según la expresión lineal de la recta.
- E) Cálculo de los valores de la ordenada  $Y$  para lo cual se utilizará el logaritmo natural de la aproximación de la confiabilidad.

**Tabla 47: Valores de la Abscisa X y Ordenada Y Exponencial Eje Posterior**

ORDEN (i)	TIEMPO ENTRE FALLAS (t)	PROBABILIDAD DE FALLA ACUMULADO F(t) $F(t)=(i-0.3)/(n+0.4)$	R(t) $R(t)=1-F(t)$	EXPONENCIAL	
				X X=t	Y $Y=-\ln(R(t))$
1	1509.3	3.43%	96.57%	1509.3	0.0349
2	1895	8.33%	91.67%	1895	0.0870
3	3167.1	13.24%	86.76%	3167.1	0.1420
4	3678	18.14%	81.86%	3678	0.2001
5	4156.4	23.04%	76.96%	4156.4	0.2619
6	4906.2	27.94%	72.06%	4906.2	0.3277
7	5958.8	32.84%	67.16%	5958.8	0.3981
8	6056.2	37.75%	62.25%	6056.2	0.4739
9	6634	42.65%	57.35%	6634	0.5559
10	7029.4	47.55%	52.45%	7029.4	0.6453
11	7526.3	52.45%	47.55%	7526.3	0.7434
12	8363.6	57.35%	42.65%	8363.6	0.8522
13	9952.9	62.25%	37.75%	9952.9	0.9743
14	10961.7	67.16%	32.84%	10961.7	1.1134
15	11001.6	72.06%	27.94%	11001.6	1.2751
16	12482.4	76.96%	23.04%	12482.4	1.4680
17	13309.2	81.86%	18.14%	13309.2	1.7072
18	14373.5	86.76%	13.24%	14373.5	2.0223
19	15038	91.67%	8.33%	15038	2.4849
20	16096.5	96.57%	3.43%	16096.5	3.3722

Nota: Elaboración propia

F) Cálculo de los parámetros de la distribución Exponencial:

- Para el cálculo de la Tasa de falla ( $\lambda$ ), se utilizará la función pendiente (Y;X)
- Para el cálculo del tiempo medio entre fallas MTBF, se utilizará la tasa de falla.

**Tabla 48: Parámetros Distribución Exponencial Eje Posterior**

<b>PARAMETROS DISTRIBUCION EXPONENCIAL</b>	
Tasa de falla ( $\lambda$ ) $\lambda = \text{pendiente}(Y;X)$	Tiempo medio entre fallas MTBF = $1/\lambda$
0.000185888	5379.590516

Nota: Elaboración propia

G) Cálculo de la confiabilidad de la distribución Exponencial considerando los parámetros de la tasa de falla.

**Tabla 49: Valores de confiabilidad Exponencial Eje Posterior**

<b>ORDEN (i)</b>	<b>TIEMPO ENTRE FALLAS (t)</b>	<b>EXPONENCIAL</b>
		<b>CONFIABILIDAD R(t) <math>R(t) = e^{-\lambda \cdot t}</math></b>
1	1509.3	75.54%
2	1895	70.31%
3	3167.1	55.50%
4	3678	50.47%
5	4156.4	46.18%
6	4906.2	40.17%
7	5958.8	33.03%
8	6056.2	32.44%
9	6634	29.14%
10	7029.4	27.07%
11	7526.3	24.68%
12	8363.6	21.13%
13	9952.9	15.72%
14	10961.7	13.03%
15	11001.6	12.94%
16	12482.4	9.82%
17	13309.2	8.42%
18	14373.5	6.91%
19	15038	6.11%
20	16096.5	5.02%

Nota: Elaboración propia

## 4.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS

A continuación, se muestra el análisis estadístico consolidado de los indicadores de confiabilidad para cada componente del tren de fuerza del scoop R1600H con sus respectivos parámetros considerando las distribuciones Weibull, Normal y Exponencial.

- Indicadores y parámetros de confiabilidad del motor diésel.
- Indicadores y parámetros de confiabilidad de la caja transmisión.
- Indicadores y parámetros de confiabilidad del eje delantero.
- Indicadores y parámetros de confiabilidad del eje posterior.

**Tabla 50: Indicadores y parámetros de confiabilidad del Motor Diésel.**

ORDEN (i)	TIEMPO ENTRE FALLAS (t)	PROBABILIDAD DE FALLA ACUMULADO F(t) F(t)=(i-0.3)/(n+0.4)	R(t) R(t)=1-F(t)	WEIBULL		WEIBULL	NORMAL		NORMAL	EXPONENCIAL		EXPONENCIAL
				X X=Ln(t)	Y Y=Ln(-Ln(R(t)))	CONFIABILIDAD R(t) R(t)= e <sup>-(t/n)<sup>β</sup></sup>	X X=t	Y Y=DISTR.NORM.E STAND.INV(F(t))	CONFIABILIDAD R(t) R(t)=1-DISTR.NORM(X;μ;σ;1)	X X=t	Y Y=-Ln(R(t))	CONFIABILIDAD R(t) R(t)=e <sup>-λ*t</sup>
1	1267.7	3.43%	96.57%	7.1450	-3.3548	94.23%	1267.7	-1.8209	90.63%	1267.7	0.0349	85.01%
2	1547.2	8.33%	91.67%	7.3442	-2.4417	92.59%	1547.2	-1.3830	89.87%	1547.2	0.0870	82.02%
3	1562.2	13.24%	86.76%	7.3539	-1.9521	92.50%	1562.2	-1.1153	89.83%	1562.2	0.1420	81.87%
4	2984.8	18.14%	81.86%	8.0013	-1.6088	83.47%	2984.8	-0.9101	85.23%	2984.8	0.2001	68.23%
5	3406.9	23.04%	76.96%	8.1336	-1.3399	80.68%	3406.9	-0.7376	83.63%	3406.9	0.2619	64.64%
6	5498.7	27.94%	72.06%	8.6123	-1.1157	67.05%	5498.7	-0.5846	74.14%	5498.7	0.3277	49.45%
7	6526.3	32.84%	67.16%	8.7836	-0.9210	60.69%	6526.3	-0.4442	68.61%	6526.3	0.3981	43.35%
8	6650.2	37.75%	62.25%	8.8024	-0.7467	59.95%	6650.2	-0.3122	67.91%	6650.2	0.4739	42.67%
9	7645.8	42.65%	57.35%	8.9419	-0.5871	54.15%	7645.8	-0.1854	62.07%	7645.8	0.5559	37.56%
10	8603.3	47.55%	52.45%	9.0599	-0.4381	48.92%	8603.3	-0.0615	56.17%	8603.3	0.6453	33.22%
11	10240	52.45%	47.55%	9.2341	-0.2965	40.80%	12240	0.0615	45.85%	12240	0.7434	20.85%
12	12385.6	57.35%	42.65%	9.4243	-0.1599	31.73%	12385.6	0.1854	32.84%	12385.6	0.8522	20.47%
13	14696	62.25%	37.75%	9.5953	-0.0260	23.85%	14696	0.3122	20.88%	14696	0.9743	15.22%
14	15278.5	67.16%	32.84%	9.6342	0.1074	22.14%	15278.5	0.4442	18.32%	15278.5	1.1134	14.13%
15	15343.3	72.06%	27.94%	9.6384	0.2430	21.96%	15343.3	0.5846	18.05%	15343.3	1.2751	14.01%
16	15441	76.96%	23.04%	9.6448	0.3839	21.68%	15441	0.7376	17.65%	15441	1.4680	13.84%
17	15460	81.86%	18.14%	9.6460	0.5349	21.63%	15460	0.9101	17.57%	15460	1.7072	13.80%
18	15488.5	86.76%	13.24%	9.6479	0.7042	21.55%	15488.5	1.1153	17.45%	15488.5	2.0223	13.75%
19	15496	91.67%	8.33%	9.6483	0.9102	21.53%	15496	1.3830	17.42%	15496	2.4849	13.74%
20	16142	96.57%	3.43%	9.6892	1.2156	19.80%	16142	1.8209	14.92%	16142	3.3722	12.65%

PARAMETROS DISTRIBUCION WEIBULL			PARAMETROS DISTRIBUCION NORMAL		
Beta (β) β=Pendiente(Y;X)	Eta (η) η=exp(abs(interseccion.eje(Y;X))/β)	Tiempo medio entre fallas MTBF=η*GAMMA(1+(1/β))	Desviación estandar (σ) σ=1/pendiente(Y;X)	Media (μ) μ=abs(interseccion.eje(Y;X))* σ	Tiempo medio entre fallas MTBF=μ
1.2991	11137.939	10288.136	6365.757	9593.1	9593.078

PARAMETROS DISTRIBUCION EXPONENCIAL	
Tasa de falla (λ) λ=pendiente(Y;X)	Tiempo medio entre fallas MTBF=1/λ
0.000128083	7807.418269

Nota: Elaboración propia

**Tabla 51: Indicadores y parámetros de confiabilidad de la Caja Transmisión.**

ORDEN (i)	TIEMPO ENTRE FALLAS (t)	PROBABILIDAD DE FALLA ACUMULADO F(t) $F(t)=(i-0.3)/(n+0.4)$	R(t) $R(t)=1-F(t)$	WEIBULL		WEIBULL	NORMAL		NORMAL	EXPONENCIAL		EXPONENCIAL
				X $X=Ln(t)$	Y $Y=Ln(-Ln(R(t)))$	CONFIABILIDAD R(t) $R(t)=e^{-(t/n)^\beta}$	X $X=t$	Y $Y=DISTR.NORM.E STAND.INV(F(t))$	CONFIABILIDAD R(t) $R(t)=1-DISTR.NORM(X;\mu;\sigma;1)$	X $X=t$	Y $Y=-Ln(R(t))$	CONFIABILIDAD R(t) $R(t)=e^{-(\lambda*t)}$
1	1010	3.43%	96.57%	6.9177	-3.3548	95.94%	1010	-1.8209	92.10%	1010	0.0349	86.34%
2	1606	8.33%	91.67%	7.3815	-2.4417	92.54%	1606	-1.3830	90.48%	1606	0.0870	79.17%
3	2145.2	13.24%	86.76%	7.6710	-1.9521	89.16%	2145.2	-1.1153	88.81%	2145.2	0.1420	73.20%
4	3167	18.14%	81.86%	8.0605	-1.6088	82.34%	3167	-0.9101	85.09%	3167	0.2001	63.09%
5	3500	23.04%	76.96%	8.1605	-1.3399	80.05%	3500	-0.7376	83.71%	3500	0.2619	60.11%
6	3900	27.94%	72.06%	8.2687	-1.1157	77.29%	3900	-0.5846	81.96%	3900	0.3277	56.71%
7	5567	32.84%	67.16%	8.6246	-0.9210	65.91%	5567	-0.4442	73.45%	5567	0.3981	44.50%
8	7010	37.75%	62.25%	8.8551	-0.7467	56.59%	7010	-0.3122	64.72%	7010	0.4739	36.08%
9	8345	42.65%	57.35%	9.0294	-0.5871	48.63%	8345	-0.1854	55.87%	8345	0.5559	29.71%
10	9984.7	47.55%	52.45%	9.2088	-0.4381	39.90%	9984.7	-0.0615	44.63%	9984.7	0.6453	23.41%
11	10543	52.45%	47.55%	9.2632	-0.2965	37.20%	10543	0.0615	40.85%	10543	0.7434	21.58%
12	11500	57.35%	42.65%	9.3501	-0.1599	32.88%	11500	0.1854	34.59%	11500	0.8522	18.78%
13	12098	62.25%	37.75%	9.4008	-0.0260	30.38%	12098	0.3122	30.87%	12098	0.9743	17.21%
14	12500	67.16%	32.84%	9.4335	0.1074	28.79%	12500	0.4442	28.48%	12500	1.1134	16.24%
15	13335	72.06%	27.94%	9.4981	0.2430	25.69%	13335	0.5846	23.80%	13335	1.2751	14.38%
16	14075.5	76.96%	23.04%	9.5522	0.3839	23.18%	14075.5	0.7376	20.04%	14075.5	1.4680	12.91%
17	15100	81.86%	18.14%	9.6225	0.5349	20.03%	15100	0.9101	15.46%	15100	1.7072	11.12%
18	15983	86.76%	13.24%	9.6793	0.7042	17.62%	15983	1.1153	12.12%	15983	2.0223	9.78%
19	16269.5	91.67%	8.33%	9.6970	0.9102	16.89%	16269.5	1.3830	11.15%	16269.5	2.4849	9.38%
20	16381	96.57%	3.43%	9.7039	1.2156	16.61%	16381	1.8209	10.79%	16381	3.3722	9.23%

PARAMETROS DISTRIBUCION WEIBULL			PARAMETROS DISTRIBUCION NORMAL		
Beta ( $\beta$ ) $\beta=\text{pendiente}(Y;X)$	Eta ( $\eta$ ) $\eta=\exp(\text{abs}(\text{interseccion.eje}(Y;X)/\beta))$	Tiempo medio entre fallas $MTBF=\eta * \text{GAMMA}(1+(1/\beta))$	Desviación estandar ( $\sigma$ ) $\sigma=1/\text{pendiente}(Y;X)$	Media ( $\mu$ ) $\mu=\text{abs}(\text{interseccion.eje}(Y;X)) * \sigma$	Tiempo medio entre fallas $MTBF=\mu$
1.3528	10629.624	9743.712	5800.930	9201.0	9200.995

PARAMETROS DISTRIBUCION EXPONENCIAL	
Tasa de falla ( $\lambda$ ) $\lambda=\text{pendiente}(Y;X)$	Tiempo medio entre fallas $MTBF=1/\lambda$
0.000145437	6875.849934

Nota: Elaboración propia

**Tabla 52: Indicadores y parámetros de confiabilidad del Eje Delantero**

ORDEN (i)	TIEMPO ENTRE FALLAS (t)	PROBABILIDAD DE FALLA ACUMULADO F(t) $F(t)=(i-0.3)/(n+0.4)$	R(t) $R(t)=1-F(t)$	WEIBULL		WEIBULL	NORMAL		NORMAL	EXPONENCIAL		EXPONENCIAL
				X $X=Ln(t)$	Y $Y=Ln(-Ln(R(t)))$	CONFIABILIDAD R(t) $R(t)=e^{-(t/n)^{\beta}}$	X $X=t$	Y $Y=DISTR.NORM.E STAND.INV(F(t))$	CONFIABILIDAD R(t) $R(t)=1-DISTR.NORM(X;\mu;\sigma;1)$	X $X=t$	Y $Y=-Ln(R(t))$	CONFIABILIDAD R(t) $R(t)=e^{-(\lambda*t)}$
1	1210.9	3.43%	96.57%	7.0991	-3.3548	96.32%	1210.9	-1.8209	93.16%	1210.9	0.0349	81.23%
2	1893.2	8.33%	91.67%	7.5460	-2.4417	92.76%	1893.2	-1.3830	91.16%	1893.2	0.0870	72.25%
3	2179.9	13.24%	86.76%	7.6870	-1.9521	91.06%	2179.9	-1.1153	90.20%	2179.9	0.1420	68.78%
4	3465.6	18.14%	81.86%	8.1506	-1.6088	82.45%	3465.6	-0.9101	84.94%	3465.6	0.2001	55.15%
5	4906.2	23.04%	76.96%	8.4983	-1.3399	71.77%	4906.2	-0.7376	77.16%	4906.2	0.2619	43.07%
6	5392.5	27.94%	72.06%	8.5928	-1.1157	68.09%	5392.5	-0.5846	74.09%	5392.5	0.3277	39.62%
7	6115.6	32.84%	67.16%	8.7186	-0.9210	62.64%	6115.6	-0.4442	69.16%	6115.6	0.3981	34.99%
8	6658.7	37.75%	62.25%	8.8037	-0.7467	58.62%	6658.7	-0.3122	65.22%	6658.7	0.4739	31.88%
9	7500.5	42.65%	57.35%	8.9227	-0.5871	52.57%	7500.5	-0.1854	58.77%	7500.5	0.5559	27.59%
10	7796.9	47.55%	52.45%	8.9615	-0.4381	50.51%	7796.9	-0.0615	56.44%	7796.9	0.6453	26.22%
11	8543.9	52.45%	47.55%	9.0530	-0.2965	45.49%	8543.9	0.0615	50.47%	8543.9	0.7434	23.06%
12	9879.3	57.35%	42.65%	9.1982	-0.1599	37.24%	9879.3	0.1854	39.85%	9879.3	0.8522	18.34%
13	10145.5	62.25%	37.75%	9.2248	-0.0260	35.71%	10145.5	0.3122	37.80%	10145.5	0.9743	17.52%
14	11482.4	67.16%	32.84%	9.3486	0.1074	28.68%	11482.4	0.4442	28.10%	11482.4	1.1134	13.92%
15	12462	72.06%	27.94%	9.4304	0.2430	24.20%	12462	0.5846	21.86%	12462	1.2751	11.77%
16	13919	76.96%	23.04%	9.5410	0.3839	18.53%	13919	0.7376	14.22%	13919	1.4680	9.16%
17	14126	81.86%	18.14%	9.5558	0.5349	17.82%	14126	0.9101	13.31%	14126	1.7072	8.84%
18	14430.5	86.76%	13.24%	9.5771	0.7042	16.81%	14430.5	1.1153	12.03%	14430.5	2.0223	8.39%
19	14664	91.67%	8.33%	9.5932	0.9102	16.06%	14664	1.3830	11.12%	14664	2.4849	8.06%
20	15268	96.57%	3.43%	9.6335	1.2156	14.26%	15268	1.8209	8.98%	15268	3.3722	7.27%

PARAMETROS DISTRIBUCION WEIBULL			PARAMETROS DISTRIBUCION NORMAL		
Beta ( $\beta$ ) $\beta = \text{Pendiente}(Y;X)$	Eta ( $\eta$ ) $\eta = \exp(\text{abs}(\text{interseccion.eje}(Y;X))/\beta)$	Tiempo medio entre fallas $MTBF = \eta * \text{GAMMA}(1 + (1/\beta))$	Desviación estandar ( $\sigma$ ) $\sigma = 1/\text{pendiente}(Y;X)$	Media ( $\mu$ ) $\mu = \text{abs}(\text{interseccion.eje}(Y;X)) * \sigma$	Tiempo medio entre fallas $MTBF = \mu$
1.5590	9956.863	8949.701	4967.753	8602.0	8602.030

PARAMETROS DISTRIBUCION EXPONENCIAL	
Tasa de falla ( $\lambda$ ) $\lambda = \text{pendiente}(Y;X)$	Tiempo medio entre fallas $MTBF = 1/\lambda$
0.000171696	5824.232162

Nota: Elaboración propia

**Tabla 53: Indicadores y parámetros de confiabilidad del Eje Posterior**

ORDEN (i)	TIEMPO ENTRE FALLAS (t)	PROBABILIDAD DE FALLA ACUMULADO F(t) F(t)=(i-0.3)/(n+0.4)	R(t) R(t)=1-F(t)	WEIBULL		WEIBULL	NORMAL		NORMAL	EXPONENCIAL		EXPONENCIAL
				X X=Ln(t)	Y Y=Ln(-Ln(R(t)))	CONFIABILIDAD R(t) R(t)= e <sup>-(t/n)^β</sup>	X X=t	Y Y=DISTR.NORM.EST AND.INV(F(t))	CONFIABILIDAD R(t) R(t)=1-DISTR.NORM(X;μ;σ;1)	X X=t	Y Y=-Ln(R(t))	CONFIABILIDAD R(t) R(t)=e <sup>-λ*t</sup>
1	1509.3	3.43%	96.57%	7.3194	-3.3548	95.81%	1509.3	-1.8209	91.84%	1509.3	0.0349	75.54%
2	1895	8.33%	91.67%	7.5470	-2.4417	93.86%	1895	-1.3830	90.56%	1895	0.0870	70.31%
3	3167.1	13.24%	86.76%	8.0606	-1.9521	85.75%	3167.1	-1.1153	85.30%	3167.1	0.1420	55.50%
4	3678	18.14%	81.86%	8.2101	-1.6088	81.95%	3678	-0.9101	82.72%	3678	0.2001	50.47%
5	4156.4	23.04%	76.96%	8.3324	-1.3399	78.21%	4156.4	-0.7376	80.05%	4156.4	0.2619	46.18%
6	4906.2	27.94%	72.06%	8.4983	-1.1157	72.10%	4906.2	-0.5846	75.40%	4906.2	0.3277	40.17%
7	5958.8	32.84%	67.16%	8.6926	-0.9210	63.28%	5958.8	-0.4442	68.01%	5958.8	0.3981	33.03%
8	6056.2	37.75%	62.25%	8.7088	-0.7467	62.47%	6056.2	-0.3122	67.28%	6056.2	0.4739	32.44%
9	6634	42.65%	57.35%	8.8000	-0.5871	57.66%	6634	-0.1854	62.82%	6634	0.5559	29.14%
10	7029.4	47.55%	52.45%	8.8579	-0.4381	54.42%	7029.4	-0.0615	59.67%	7029.4	0.6453	27.07%
11	7526.3	52.45%	47.55%	8.9262	-0.2965	50.43%	7526.3	0.0615	55.62%	7526.3	0.7434	24.68%
12	8363.6	57.35%	42.65%	9.0316	-0.1599	43.99%	8363.6	0.1854	48.68%	8363.6	0.8522	21.13%
13	9952.9	62.25%	37.75%	9.2056	-0.0260	33.00%	9952.9	0.3122	35.79%	9952.9	0.9743	15.72%
14	10961.7	67.16%	32.84%	9.3022	0.1074	26.99%	10961.7	0.4442	28.29%	10961.7	1.1134	13.03%
15	11001.6	72.06%	27.94%	9.3058	0.2430	26.77%	11001.6	0.5846	28.01%	11001.6	1.2751	12.94%
16	12482.4	76.96%	23.04%	9.4321	0.3839	19.42%	12482.4	0.7376	18.65%	12482.4	1.4680	9.82%
17	13309.2	81.86%	18.14%	9.4962	0.5349	16.03%	13309.2	0.9101	14.38%	13309.2	1.7072	8.42%
18	14373.5	86.76%	13.24%	9.5731	0.7042	12.36%	14373.5	1.1153	9.94%	14373.5	2.0223	6.91%
19	15038	91.67%	8.33%	9.6183	0.9102	10.43%	15038	1.3830	7.73%	15038	2.4849	6.11%
20	16096.5	96.57%	3.43%	9.6864	1.2156	7.87%	16096.5	1.8209	5.01%	16096.5	3.3722	5.02%

PARAMETROS DISTRIBUCION WEIBULL			PARAMETROS DISTRIBUCION NORMAL		
Beta (β) β=Pendiente(Y;X)	Eta (η) η=exp(abs(interseccion.eje(Y;X))/β)	Tiempo medio entre fallas MTBF=η*GAMMA(1+(1/β))	Desviación estandar (σ) σ=1/pendiente(Y;X)	Media (μ) μ=abs(interseccion.eje(Y;X))*σ	Tiempo medio entre fallas MTBF=μ
1.7254	9374.701	8356.394	4800.617	8204.8	8204.805

PARAMETROS DISTRIBUCION EXPONENCIAL	
Tasa de falla (λ) λ=pendiente(Y;X)	Tiempo medio entre fallas MTBF=1/λ
0.000185888	5379.590516

Nota: Elaboración propia



## 4.3 PRUEBA DE HIPÓTESIS

Para comprobar la hipótesis, se utilizó la prueba de bondad de ajuste Kolmogorov Smirnov. Esta prueba de bondad nos ayudara a determinar la distribución que mejor representa los datos de falla para los componentes del tren de fuerza del scoop R1600H.

### 4.3.1 Prueba Hipótesis Motor Diésel

#### 4.3.1.1 Prueba de Hipótesis para la distribución Weibull Motor Diésel:

- Describir los datos de falla del componente de menor a mayor, representado por  $(t)$ .
- Calcular la probabilidad acumulada de falla utilizando la fórmula de Bernard y representada por  $F^{\wedge}(t)$  (datos sin corregir).
- Se procede a calcular la probabilidad de falla corregida  $F(t)$ , utilizando los parámetros calculados de Weibull; representada por  $F(t)=1-e^{-(t/n)^{\beta}}$ .
- Cálculo del Error 1 ( $E1$ ), se calcula en base al valor absoluta de la diferencia de la probabilidad de falla corregida menos la probabilidad de falla sin corregir; representada por  $E1=|F(t)-F^{\wedge}(t)|$ .
- Cálculo del Error 2 ( $E2$ ), se calcula en base al valor absoluto de la diferencia de la probabilidad de falla corregida menos la probabilidad de falla sin corregir de un tiempo anterior; representada por  $E2=|F(t)-F^{\wedge}(t-1)|$ .

**Tabla 54: Datos de E1 y E2 Weibull Motor Diésel**

i	t	F^(t)	WEIBULL		
			F(t) F(t)=1-e-(t/n)^β	E1= F(t)-F^(t)	E2= F(t)-F^(t-1)
1	1267.7	3.43%	5.77%	0.0234	0.0577
2	1547.2	8.33%	7.41%	0.0093	0.0398
3	1562.2	13.24%	7.50%	0.0574	0.0084
4	2984.8	18.14%	16.53%	0.0160	0.0330
5	3406.9	23.04%	19.32%	0.0372	0.0118
6	5498.7	27.94%	32.95%	0.0501	0.0991
7	6526.3	32.84%	39.31%	0.0647	0.1137
8	6650.2	37.75%	40.05%	0.0231	0.0721
9	7645.8	42.65%	45.85%	0.0320	0.0810
10	8603.3	47.55%	51.08%	0.0353	0.0843
11	10240	52.45%	59.20%	0.0675	0.1165
12	12385.6	57.35%	68.27%	0.1092	0.1582
13	14696	62.25%	76.15%	0.1390	0.1880
14	15278.5	67.16%	77.86%	0.1070	0.1561
15	15343.3	72.06%	78.04%	0.0598	0.1089
16	15441	76.96%	78.32%	0.0136	0.0626
17	15460	81.86%	78.37%	0.0349	0.0141
18	15488.5	86.76%	78.45%	0.0832	0.0341
19	15496	91.67%	78.47%	0.1320	0.0829
20	16142	96.57%	80.20%	0.1637	0.1147

Nota: Elaboración propia

- Cálculo del error máximo “**dmax**”, se utiliza la función máxima considerando los errores E1 y E2.
- Cálculo de la significancia “**Cα**”; considerando que el nivel de confianza es del 95% y la significancia del 5%, y teniendo como datos de vida n=20 de la tabla N°1 se obtiene el valor Cα=0.843.
- Cálculo del contraste “**Kn**”, el cual esta determinado por la raíz cuadrada de la cantidad de datos de vida que se están analizando.
- Cálculo del estadístico para contraste “**dcrit**”, viene representada por la división de la significancia y el contraste.

- Se va aceptar la hipótesis si “ $d_{max} < d_{crit}$ ”.
- La distribución que tenga mayor grado de confianza mostrara el coeficiente de determinación  $R^2$  lo más cercano a 1.

**Tabla 55: Prueba de bondad distribución Weibull Motor Diésel**

PRUEBA DE BONDAD WEIBULL MOTOR DIESEL		
Error maximo (dmax)	$d_{max} = \text{MAX}(E1; E2)$	0.1880
Significancia ( $C\alpha$ )	$C\alpha$	0.843
Contraste (Kn)	$Kn = \sqrt{n}$	4.4721
Estadístico de contraste (dcrit)	$d_{crit} = C\alpha / Kn$	0.1885
Se acepta hipotesis si (dmax menor dcrit)	$d_{max} < d_{crit}$	$0.1880 < 0.1885$ <b>(CUMPLE)</b>
Coeficiente determinación ( $R^2$ )	$R^2 = \text{COEFICIENTE.R2}(Y; X)$	0.920345

Nota: Elaboración propia

#### 4.3.1.2 Prueba de Hipótesis para la distribución Normal Motor Diésel:

- Describir los datos de falla del componente de menor a mayor, representado por (t).
- Calcular la probabilidad acumulada de falla utilizando la fórmula de Bernard y representada por  $F^{\wedge}(t)$  (datos sin corregir).

- Se procede a calcular la probabilidad de falla corregida  $F(t)$ , utilizando los parámetros calculados de la Normal; representada por  $F(t)=\text{DISTR.NORM}(X;\mu;\sigma;1)$
- . Cálculo del Error 1 (E1), se calcula en base al valor absoluta de la diferencia de la probabilidad de falla corregida menos la probabilidad de falla sin corregir; representada por  $E1=|F(t)-F^\wedge(t)|$ .
- Cálculo del Error 2 (E2), se calcula en base al valor absoluto de la diferencia de la probabilidad de falla corregida menos la probabilidad de falla sin corregir de un tiempo anterior; representada por  $E2=|F(t)-F^\wedge(t-1)|$ .

**Tabla 56: Datos de E1 y E2 Normal Motor Diésel**

i	t	F <sup>^</sup> (t)	NORMAL		
			F(t) F(t)=DISTR.NORM(X;μ;σ;1)	E1= F(t)-F <sup>^</sup> (t)	E2= F(t)-F <sup>^</sup> (t-1)
1	1267.7	3.43%	9.37%	0.0593	0.0937
2	1547.2	8.33%	10.13%	0.0180	0.0670
3	1562.2	13.24%	10.17%	0.0306	0.0184
4	2984.8	18.14%	14.77%	0.0337	0.0154
5	3406.9	23.04%	16.37%	0.0667	0.0177
6	5498.7	27.94%	25.86%	0.0208	0.0282
7	6526.3	32.84%	31.39%	0.0145	0.0345
8	6650.2	37.75%	32.09%	0.0565	0.0075
9	7645.8	42.65%	37.93%	0.0471	0.0019
10	8603.3	47.55%	43.83%	0.0372	0.0118
11	10240	52.45%	54.15%	0.0170	0.0660
12	12385.6	57.35%	67.16%	0.0981	0.1471
13	14696	62.25%	79.12%	0.1687	0.2177
14	15278.5	67.16%	81.68%	0.1452	0.1942
15	15343.3	72.06%	81.95%	0.0989	0.1479
16	15441	76.96%	82.35%	0.0539	0.1029
17	15460	81.86%	82.43%	0.0057	0.0547
18	15488.5	86.76%	82.55%	0.0422	0.0068
19	15496	91.67%	82.58%	0.0909	0.0419
20	16142	96.57%	85.08%	0.1149	0.0658

Nota: Elaboración propia

- Cálculo del error máximo "**dmax**", se utiliza la función máxima considerando los errores E1 y E2.
- Cálculo de la significancia "**C $\alpha$** "; considerando que el nivel de confianza es del 95% y la significancia del 5%, y teniendo como datos de vida n=20 de la tabla N°1 se obtiene el valor  $C\alpha=0.895$ .
- Cálculo del contraste "**Kn**", el cual está determinado por  $Kn=\sqrt{n-0.01}+0.85/\sqrt{n}$ .
- Cálculo del estadístico para contraste "**dcrit**", viene representada por la división de la significancia y el contraste.
- Se va aceptar la hipótesis si "**dmax<dcrit**".
- La distribución que tenga mayor grado de confianza mostrara el coeficiente de determinación **R<sup>2</sup>** lo más cercano a 1.

**Tabla 57: Prueba de bondad distribución Normal Motor Diésel**

<b>PRUEBA DE BONDAD NORMAL MOTOR DIESEL</b>		
Error maximo (dmax)	$d_{max} = \text{MAX}(E1; E2)$	0.2177
Significancia (C $\alpha$ )	C $\alpha$	0.895
Contraste (Kn)	$K_n = \sqrt{n} - 0.01 + 0.85/\sqrt{n}$	4.6522
Estadístico de contraste (dcrit)	$d_{crit} = C\alpha / K_n$	0.1924
Se acepta hipótesis si (dmax menor dcrit)	$d_{max} < d_{crit}$	0.2177 < 0.1924 <b>(NO CUMPLE)</b>
Coeficiente determinación (R <sup>2</sup> )	$R^2 = \text{COEFICIENTE}.R^2(Y; X)$	0.879516

Nota: Elaboración propia

#### 4.3.1.3 Prueba de Hipótesis para la distribución Exponencial Motor

##### Diésel:

- Describir los datos de falla del componente de menor a mayor, representado por (t).
- Calcular la probabilidad acumulada de falla utilizando la fórmula de Bernard y representada por  $F^{\wedge}(t)$  (datos sin corregir).
- Se procede a calcular la probabilidad de falla corregida  $F(t)$ , utilizando los parámetros hallados en la distribución exponencial; representada por  $F(t) = 1 - e^{-(\lambda * t)}$ .

- . Cálculo del Error 1 (E1), se calcula en base al valor absoluta de la diferencia de la probabilidad de falla corregida menos la probabilidad de falla sin corregir; representada por  $E1=|F(t)-F^{\wedge}(t)|$ .
- Cálculo del Error 2 (E2), se calcula en base al valor absoluto de la diferencia de la probabilidad de falla corregida menos la probabilidad de falla sin corregir de un tiempo anterior; representada por  $E2=|F(t)-F^{\wedge}(t-1)|$ .

**Tabla 58: Datos de E1 y E2 Exponencial Motor Diésel**

i	t	F <sup>^</sup> (t)	EXPONENCIAL		
			F(t) F(t)=1-e <sup>-</sup> (λ*t)	E1= F(t)-F <sup>^</sup> (t)	E2= F(t)-F <sup>^</sup> (t-1)
1	1267.7	3.43%	15.21%	0.1178	0.1521
2	1547.2	8.33%	18.24%	0.0991	0.1481
3	1562.2	13.24%	18.40%	0.0516	0.1007
4	2984.8	18.14%	32.19%	0.1406	0.1896
5	3406.9	23.04%	35.82%	0.1278	0.1768
6	5498.7	27.94%	51.12%	0.2318	0.2808
7	6526.3	32.84%	57.24%	0.2439	0.2930
8	6650.2	37.75%	57.92%	0.2018	0.2508
9	7645.8	42.65%	63.04%	0.2039	0.2529
10	8603.3	47.55%	67.37%	0.1982	0.2472
11	10240	52.45%	73.63%	0.2118	0.2608
12	12385.6	57.35%	80.05%	0.2270	0.2760
13	14696	62.25%	85.23%	0.2298	0.2788
14	15278.5	67.16%	86.31%	0.1916	0.2406
15	15343.3	72.06%	86.43%	0.1437	0.1927
16	15441	76.96%	86.60%	0.0964	0.1454
17	15460	81.86%	86.63%	0.0477	0.0967
18	15488.5	86.76%	86.68%	0.0008	0.0482
19	15496	91.67%	86.69%	0.0497	0.0007
20	16142	96.57%	87.77%	0.0880	0.0390

Nota: Elaboración propia

- Cálculo del error máximo “**dmax**”, se utiliza la función máxima considerando los errores E1 y E2.

- Cálculo de la significancia “ $C\alpha$ ”; considerando que el nivel de confianza es del 95% y la significancia del 5%, y teniendo como datos de vida  $n=20$  de la tabla N°1 se obtiene el valor  $C\alpha=1.094$ .
- Cálculo del contraste “ $Kn$ ”, el cual está determinado por  $Kn=\sqrt{n+0.12+0.11/\sqrt{n}}$ .
- Cálculo del estadístico para contraste “ $dcrit$ ”, viene representada por la división de la significancia y el contraste.
- Se va aceptar la hipótesis si “ $dmax < dcrit$ ”.
- La distribución que tenga mayor grado de confianza mostrara el coeficiente de determinación  $R^2$  lo más cercano a 1.

**Tabla 59: Prueba de bondad distribución Exponencial Motor Diésel**

PRUEBA DE BONDAD EXPONENCIAL MOTOR DIESEL		
Error maximo (dmax)	$dmax=MAX(E1;E2)$	0.2930
Significancia ( $C\alpha$ )	$C\alpha$	1.094
Contraste ( $Kn$ )	$Kn=\sqrt{n+0.12+0.11/\sqrt{n}}$	4.6167
Estadístico de contraste (dcrit)	$dcrit=C\alpha/Kn$	0.2370
Se acepta hipótesis si (dmax menor dcrit)	$dmax < dcrit$	0.2930 < 0.2370 <b>(NO CUMPLE)</b>
Coefficiente determinación ( $R^2$ )	$R^2=COEFICIENTE.R2(Y;X)$	0.671489

Nota: Elaboración propia



Luego de haber aplicado la prueba de bondad de ajuste Kolgomorov Smirnov se puede afirmar que la **DISTRIBUCION WEIBULL** es la más precisa y confiable para determinar la confiabilidad del Motor Diésel ya que cumple con la condición  **$d_{max} < d_{crit}$  (0.1880 < 0.1885)** y también su factor de terminación  **$R^2 = 0.920345$**  es el más mayor.

#### 4.3.2 Prueba Hipótesis Caja Transmisión:

##### 4.3.2.1 Prueba de Hipótesis para la distribución Weibull Caja

###### Transmisión:

- Describir los datos de falla del componente de menor a mayor, representado por  $(t)$ .
- Calcular la probabilidad acumulada de falla utilizando la fórmula de Bernard y representada por  $F^{\wedge}(t)$  (datos sin corregir).
- Se procede a calcular la probabilidad de falla corregida  $F(t)$ , utilizando los parámetros calculados de Weibull; representada por  $F(t) = 1 - e^{-(t/n)^{\beta}}$ .
- Cálculo del Error 1 (E1), se calcula en base al valor absoluta de la diferencia de la probabilidad de falla corregida menos la probabilidad de falla sin corregir; representada por  $E1 = |F(t) - F^{\wedge}(t)|$ .
- Cálculo del Error 2 (E2), se calcula en base al valor absoluto de la diferencia de la probabilidad de falla corregida menos la probabilidad de falla sin corregir de un tiempo anterior; representada por  $E2 = |F(t) - F^{\wedge}(t-1)|$ .

**Tabla 60: Datos de E1 y E2 Weibull Caja Transmisión**

i	t	F^(t)	WEIBULL		
			F(t) F(t)=1-e-(t/n)^β	E1= F(t)-F^(t)	E2= F(t)-F^(t-1)
1	1010	3.43%	4.06%	0.0063	0.0406
2	1606	8.33%	7.46%	0.0087	0.0403
3	2145.2	13.24%	10.84%	0.0239	0.0251
4	3167	18.14%	17.66%	0.0047	0.0443
5	3500	23.04%	19.95%	0.0309	0.0181
6	3900	27.94%	22.71%	0.0523	0.0033
7	5567	32.84%	34.09%	0.0125	0.0615
8	7010	37.75%	43.41%	0.0567	0.1057
9	8345	42.65%	51.37%	0.0872	0.1362
10	9984.7	47.55%	60.10%	0.1255	0.1745
11	9240	52.45%	56.28%	0.0383	0.0873
12	11500	57.35%	67.12%	0.0977	0.1467
13	12098	62.25%	69.62%	0.0736	0.1226
14	12500	67.16%	71.21%	0.0405	0.0896
15	13335	72.06%	74.31%	0.0225	0.0715
16	14075.5	76.96%	76.82%	0.0014	0.0477
17	15100	81.86%	79.97%	0.0189	0.0301
18	15983	86.76%	82.38%	0.0438	0.0052
19	16269.5	91.67%	83.11%	0.0855	0.0365
20	16381	96.57%	83.39%	0.1318	0.0828

Nota: Elaboración propia

- Cálculo del error máximo “**dmax**”, se utiliza la función máxima considerando los errores E1 y E2.
- Cálculo de la significancia “**Cα**”; considerando que el nivel de confianza es del 95% y la significancia del 5%, y teniendo como datos de vida n=20 de la tabla N°1 se obtiene el valor Cα=0.843.
- Cálculo del contraste “**Kn**”, el cual está determinado por la raíz cuadrada de la cantidad de datos de vida que se están analizando.
- Cálculo del estadístico para contraste “**dcrit**”, viene representada por la división de la significancia y el contraste.

- Se va aceptar la hipótesis si “ $d_{max} < d_{crit}$ ”.
- La distribución que tenga mayor grado de confianza mostrara el coeficiente de determinación  $R^2$  lo más cercano a 1.

**Tabla 61: Prueba de bondad distribución Weibull Caja Transmisión**

PRUEBA DE BONDAD WEIBULL CAJA TRANSMISION		
Error maximo (dmax)	$d_{max} = \text{MAX}(E1; E2)$	0.1745
Significancia ( $C\alpha$ )	$C\alpha$	0.843
Contraste ( $Kn$ )	$Kn = \sqrt{n}$	4.4721
Estadístico de contraste (dcrit)	$d_{crit} = C\alpha / Kn$	0.1885
Se acepta hipótesis si (dmax menor dcrit)	$d_{max} < d_{crit}$	0.1745 < 0.1885 <b>(CUMPLE)</b>
Coefficiente determinación ( $R^2$ )	$R^2 = \text{COEFICIENTE.R2}(Y; X)$	0.956043

Nota: Elaboración propia

#### 4.3.2.2 Prueba de Hipótesis para la distribución Normal Caja Transmisión:

- Describir los datos de falla del componente de menor a mayor, representado por (t).
- Calcular la probabilidad acumulada de falla utilizando la fórmula de Bernard y representada por  $F^{\wedge}(t)$  (datos sin corregir).

- Se procede a calcular la probabilidad de falla corregida  $F(t)$ , utilizando los parámetros calculados de la Normal; representada por  $F(t)=\text{DISTR.NORM}(X;\mu;\sigma;1)$
- . Cálculo del Error 1 (E1), se calcula en base al valor absoluta de la diferencia de la probabilidad de falla corregida menos la probabilidad de falla sin corregir; representada por  $E1=|F(t)-F^\wedge(t)|$ .
- Cálculo del Error 2 (E2), se calcula en base al valor absoluto de la diferencia de la probabilidad de falla corregida menos la probabilidad de falla sin corregir de un tiempo anterior; representada por  $E2=|F(t)-F^\wedge(t-1)|$ .

**Tabla 62: Datos de E1 y E2 Normal Caja Transmisión**

i	t	F <sup>^</sup> (t)	NORMAL		
			F(t) F(t)=DISTR.NOR M(X;μ;σ;1)	E1= F(t)-F <sup>^</sup> (t)	E2= F(t)-F <sup>^</sup> (t-1)
1	1010	3.43%	7.90%	0.0447	0.0790
2	1606	8.33%	9.52%	0.0119	0.0609
3	2145.2	13.24%	11.19%	0.0204	0.0286
4	3167	18.14%	14.91%	0.0322	0.0168
5	3500	23.04%	16.29%	0.0675	0.0185
6	3900	27.94%	18.04%	0.0990	0.0500
7	5567	32.84%	26.55%	0.0629	0.0139
8	7010	37.75%	35.28%	0.0246	0.0244
9	8345	42.65%	44.13%	0.0149	0.0639
10	9984.7	47.55%	55.37%	0.0782	0.1273
11	9240	52.45%	50.27%	0.0218	0.0272
12	11500	57.35%	65.41%	0.0805	0.1296
13	12098	62.25%	69.13%	0.0687	0.1177
14	12500	67.16%	71.52%	0.0437	0.0927
15	13335	72.06%	76.20%	0.0414	0.0904
16	14075.5	76.96%	79.96%	0.0300	0.0790
17	15100	81.86%	84.54%	0.0268	0.0758
18	15983	86.76%	87.88%	0.0112	0.0602
19	16269.5	91.67%	88.85%	0.0282	0.0208
20	16381	96.57%	89.21%	0.0736	0.0246

Nota: Elaboración propia

- Cálculo del error máximo "**dmax**", se utiliza la función máxima considerando los errores E1 y E2.
- Cálculo de la significancia "**C $\alpha$** "; considerando que el nivel de confianza es del 95% y la significancia del 5%, y teniendo como datos de vida n=20 de la tabla N°1 se obtiene el valor  $C\alpha=0.895$ .
- Cálculo del contraste "**Kn**", el cual está determinado por  $Kn=\sqrt{n-0.01}+0.85/\sqrt{n}$ .
- Cálculo del estadístico para contraste "**dcrit**", viene representada por la división de la significancia y el contraste.
- Se va aceptar la hipótesis si "**dmax<dcrit**".
- La distribución que tenga mayor grado de confianza mostrara el coeficiente de determinación **R<sup>2</sup>** lo más cercano a 1.

**Tabla 63: Prueba de bondad distribución Normal Caja Transmisión**

<b>PRUEBA DE BONDAD NORMAL CAJA TRANSMISION</b>		
Error maximo (dmax)	$d_{max} = \text{MAX}(E1; E2)$	0.1296
Significancia ( $C\alpha$ )	$C\alpha$	0.895
Contraste ( $Kn$ )	$Kn = \sqrt{n-0.01} + 0.85/\sqrt{n}$	4.6522
Estadístico de contraste (dcrit)	$d_{crit} = C\alpha / Kn$	0.1924
Se acepta hipótesis si (dmax menor dcrit)	$d_{max} < d_{crit}$	0.1296 < 0.1924 <b>(CUMPLE)</b>
Coefficiente determinación ( $R^2$ )	$R^2 = \text{COEFICIENTE}.R2(Y;X)$	0.942600

Nota: Elaboración propia

#### 4.3.2.3 Prueba de Hipótesis para la distribución Exponencial Caja

##### Transmisión:

- Describir los datos de falla del componente de menor a mayor, representado por  $(t)$ .
- Calcular la probabilidad acumulada de falla utilizando la fórmula de Bernard y representada por  $F^{\wedge}(t)$  (datos sin corregir).
- Se procede a calcular la probabilidad de falla corregida  $F(t)$ , utilizando los parámetros hallados en la distribución exponencial; representada por  $F(t) = 1 - e^{-\lambda \cdot t}$ .

- . Cálculo del Error 1 (E1), se calcula en base al valor absoluta de la diferencia de la probabilidad de falla corregida menos la probabilidad de falla sin corregir; representada por  $E1=|F(t)-F^{\wedge}(t)|$ .
- Cálculo del Error 2 (E2), se calcula en base al valor absoluto de la diferencia de la probabilidad de falla corregida menos la probabilidad de falla sin corregir de un tiempo anterior; representada por  $E2=|F(t)-F^{\wedge}(t-1)|$ .

**Tabla 64: Datos de E1 y E2 Exponencial Caja Transmisión**

i	t	F <sup>^</sup> (t)	EXPONENCIAL		
			F(t) F(t)=1-e <sup>-</sup> (λ*t)	E1= F(t)-F <sup>^</sup> (t)	E2= F(t)-F <sup>^</sup> (t-1)
1	1010	3.43%	13.66%	0.1023	0.1366
2	1606	8.33%	20.83%	0.1250	0.1740
3	2145.2	13.24%	26.80%	0.1357	0.1847
4	3167	18.14%	36.91%	0.1877	0.2367
5	3500	23.04%	39.89%	0.1685	0.2175
6	3900	27.94%	43.29%	0.1535	0.2025
7	5567	32.84%	55.50%	0.2266	0.2756
8	7010	37.75%	63.92%	0.2618	0.3108
9	8345	42.65%	70.29%	0.2764	0.3254
10	9984.7	47.55%	76.59%	0.2904	0.3395
11	9240	52.45%	73.92%	0.2146	0.2637
12	11500	57.35%	81.22%	0.2387	0.2877
13	12098	62.25%	82.79%	0.2053	0.2543
14	12500	67.16%	83.76%	0.1661	0.2151
15	13335	72.06%	85.62%	0.1356	0.1846
16	14075.5	76.96%	87.09%	0.1013	0.1503
17	15100	81.86%	88.88%	0.0701	0.1192
18	15983	86.76%	90.22%	0.0345	0.0835
19	16269.5	91.67%	90.62%	0.0105	0.0385
20	16381	96.57%	90.77%	0.0580	0.0090

Nota: Elaboración propia

- Cálculo del error máximo “**dmax**”, se utiliza la función máxima considerando los errores E1 y E2.

- Cálculo de la significancia “ $C\alpha$ ”; considerando que el nivel de confianza es del 95% y la significancia del 5%, y teniendo como datos de vida  $n=20$  de la tabla N°1 se obtiene el valor  $C\alpha=1.094$ .
- Cálculo del contraste “ $Kn$ ”, el cual está determinado por  $Kn=\sqrt{n+0.12+0.11/\sqrt{n}}$ .
- Cálculo del estadístico para contraste “ $dcrit$ ”, viene representada por la división de la significancia y el contraste.
- Se va aceptar la hipótesis si “ $dmax < dcrit$ ”.
- La distribución que tenga mayor grado de confianza mostrara el coeficiente de determinación  $R^2$  lo más cercano a 1.

**Tabla 65: Prueba de bondad distribución Exponencial Caja Transmisión**

<b>PRUEBA DE BONDAD EXPONENCIAL CAJA TRANSMISION</b>		
Error maximo (dmax)	$dmax=MAX(E1;E2)$	0.3395
Significancia ( $C\alpha$ )	$C\alpha$	1.094
Contraste ( $Kn$ )	$Kn=\sqrt{n+0.12+0.11/\sqrt{n}}$	4.6167
Estadistico de contraste (dcrit)	$dcrit=C\alpha/Kn$	0.2370
Se acepta hipotesis si (dmax menor dcrit)	$dmax < dcrit$	$0.3395 < 0.2370$ <b>(NO CUMPLE)</b>
Coeficiente determinación ( $R^2$ )	$R^2=COEFICIENTE.R2(Y;X)$	0.770512

Nota: Elaboración propia



Luego de haber aplicado la prueba de bondad de ajuste Kolgomorov Smirnov se puede afirmar que la **DISTRIBUCION WEIBULL** es la más precisa y confiable para determinar la confiabilidad de la Caja de Transmisión ya que cumple con la condición  **$d_{max} < d_{crit}$  (0.1745 < 0.1885)** y también su factor de terminación  **$R^2 = 0.956043$**  es el más mayor.

### 4.3.3 Prueba Hipótesis Eje Delantero:

#### 4.3.3.1 Prueba de Hipótesis para la distribución Weibull Eje Delantero:

- Describir los datos de falla del componente de menor a mayor, representado por  $(t)$ .
- Calcular la probabilidad acumulada de falla utilizando la fórmula de Bernard y representada por  $F^{\wedge}(t)$  (datos sin corregir).
- Se procede a calcular la probabilidad de falla corregida  $F(t)$ , utilizando los parámetros calculados de Weibull; representada por  $F(t) = 1 - e^{-(t/n)^{\beta}}$ .
- Cálculo del Error 1 (E1), se calcula en base al valor absoluta de la diferencia de la probabilidad de falla corregida menos la probabilidad de falla sin corregir; representada por  $E1 = |F(t) - F^{\wedge}(t)|$ .
- Cálculo del Error 2 (E2), se calcula en base al valor absoluto de la diferencia de la probabilidad de falla corregida menos la probabilidad de falla sin corregir de un tiempo anterior; representada por  $E2 = |F(t) - F^{\wedge}(t-1)|$ .

**Tabla 66: Datos de E1 y E2 Weibull Eje Delantero**

i	t	F^(t)	WEIBULL		
			F(t) F(t)=1-e- (t/n)^β	E1= F(t)-F^(t)	E2= F(t)-F^(t-1)
1	1210.9	3.43%	3.68%	0.0024	0.0368
2	1893.2	8.33%	7.24%	0.0109	0.0381
3	2179.9	13.24%	8.94%	0.0430	0.0061
4	3465.6	18.14%	17.55%	0.0059	0.0431
5	4906.2	23.04%	28.23%	0.0519	0.1009
6	5392.5	27.94%	31.91%	0.0397	0.0887
7	6115.6	32.84%	37.36%	0.0451	0.0942
8	6658.7	37.75%	41.38%	0.0363	0.0853
9	7500.5	42.65%	47.43%	0.0478	0.0968
10	7796.9	47.55%	49.49%	0.0194	0.0684
11	9240	52.45%	58.94%	0.0649	0.1139
12	9879.3	57.35%	62.76%	0.0541	0.1031
13	10145.5	62.25%	64.29%	0.0203	0.0694
14	11482.4	67.16%	71.32%	0.0416	0.0906
15	12462	72.06%	75.80%	0.0374	0.0865
16	13919	76.96%	81.47%	0.0451	0.0941
17	14126	81.86%	82.18%	0.0032	0.0522
18	14430.5	86.76%	83.19%	0.0357	0.0133
19	14664	91.67%	83.94%	0.0773	0.0283
20	15268	96.57%	85.74%	0.1083	0.0593

Nota: Elaboración propia

- Cálculo del error máximo “**dmax**”, se utiliza la función máxima considerando los errores E1 y E2.
- Cálculo de la significancia “**Cα**”; considerando que el nivel de confianza es del 95% y la significancia del 5%, y teniendo como datos de vida n=20 de la tabla N°1 se obtiene el valor  $C\alpha=0.843$ .
- Cálculo del contraste “**Kn**”, el cual esta determinado por la raíz cuadrada de la cantidad de datos de vida que se están analizando.
- Cálculo del estadístico para contraste “**dcrit**”, viene representada por la división de la significancia y el contraste.

- Se va aceptar la hipótesis si “ $d_{max} < d_{crit}$ ”.
- La distribución que tenga mayor grado de confianza mostrara el coeficiente de determinación  $R^2$  lo más cercano a 1.

**Tabla 67: Prueba de bondad distribución Weibull Eje Delantero**

PRUEBA DE BONDAD WEIBULL EJE DELANTERO		
Error maximo (dmax)	$d_{max} = \text{MAX}(E1; E2)$	0.1139
Significancia (C $\alpha$ )	C $\alpha$	0.843
Contraste (Kn)	$K_n = \sqrt{n}$	4.4721
Estadístico de contraste (dcrit)	$d_{crit} = C\alpha / K_n$	0.1885
Se acepta hipótesis si (dmax menor dcrit)	$d_{max} < d_{crit}$	0.1139 < 0.1885 <b>(CUMPLE)</b>
Coeficiente determinación (R $^2$ )	$R^2 = \text{COEFICIENTE.R2}(Y; X)$	0.968182

Nota: Elaboración propia

#### 4.3.3.2 Prueba de Hipótesis para la distribución Normal Eje Delantero:

- Describir los datos de falla del componente de menor a mayor, representado por (t).
- Calcular la probabilidad acumulada de falla utilizando la fórmula de Bernard y representada por  $F^{\wedge}(t)$  (datos sin corregir).

- Se procede a calcular la probabilidad de falla corregida  $F(t)$ , utilizando los parámetros calculados de la Normal; representada por  $F(t)=\text{DISTR.NORM}(X;\mu;\sigma;1)$
- . Cálculo del Error 1 (E1), se calcula en base al valor absoluta de la diferencia de la probabilidad de falla corregida menos la probabilidad de falla sin corregir; representada por  $E1=|F(t)-F^\wedge(t)|$ .
- Cálculo del Error 2 (E2), se calcula en base al valor absoluto de la diferencia de la probabilidad de falla corregida menos la probabilidad de falla sin corregir de un tiempo anterior; representada por  $E2=|F(t)-F^\wedge(t-1)|$ .

**Tabla 68: Datos de E1 y E2 Normal Eje Delantero**

i	t	F <sup>^</sup> (t)	NORMAL		
			F(t) F(t)=DISTR.NOR M(X;μ;σ;1)	E1= F(t)-F <sup>^</sup> (t)	E2= F(t)-F <sup>^</sup> (t-1)
1	1210.9	3.43%	6.84%	0.0341	0.0684
2	1893.2	8.33%	8.84%	0.0051	0.0541
3	2179.9	13.24%	9.80%	0.0343	0.0147
4	3465.6	18.14%	15.06%	0.0308	0.0182
5	4906.2	23.04%	22.84%	0.0019	0.0471
6	5392.5	27.94%	25.91%	0.0203	0.0287
7	6115.6	32.84%	30.84%	0.0201	0.0289
8	6658.7	37.75%	34.78%	0.0296	0.0194
9	7500.5	42.65%	41.23%	0.0142	0.0348
10	7796.9	47.55%	43.56%	0.0399	0.0092
11	9240	52.45%	55.11%	0.0266	0.0756
12	9879.3	57.35%	60.15%	0.0279	0.0769
13	10145.5	62.25%	62.20%	0.0006	0.0485
14	11482.4	67.16%	71.90%	0.0474	0.0964
15	12462	72.06%	78.14%	0.0608	0.1099
16	13919	76.96%	85.78%	0.0881	0.1372
17	14126	81.86%	86.69%	0.0483	0.0973
18	14430.5	86.76%	87.97%	0.0120	0.0610
19	14664	91.67%	88.88%	0.0278	0.0212
20	15268	96.57%	91.02%	0.0555	0.0065

Nota: Elaboración propia

- Cálculo del error máximo "**dmax**", se utiliza la función máxima considerando los errores E1 y E2.
- Cálculo de la significancia "**C $\alpha$** "; considerando que el nivel de confianza es del 95% y la significancia del 5%, y teniendo como datos de vida n=20 de la tabla N°1 se obtiene el valor  $C\alpha=0.895$ .
- Cálculo del contraste "**Kn**", el cual está determinado por  $Kn=\sqrt{n-0.01}+0.85/\sqrt{n}$ .
- Cálculo del estadístico para contraste "**dcrit**", viene representada por la división de la significancia y el contraste.
- Se va aceptar la hipótesis si "**dmax<dcrit**".
- La distribución que tenga mayor grado de confianza mostrara el coeficiente de determinación **R<sup>2</sup>** lo más cercano a 1.

**Tabla 69: Prueba de bondad distribución Normal Eje Delantero**

<b>PRUEBA DE BONDAD NORMAL EJE DELANTERO</b>		
Error maximo (dmax)	$d_{max}=\text{MAX}(E1;E2)$	0.1372
Significancia ( $C\alpha$ )	$C\alpha$	0.895
Contraste (Kn)	$K_n=\sqrt{n-0.01}+0.85/\sqrt{n}$	4.6522
Estadístico de contraste (dcrit)	$d_{crit}=C\alpha/K_n$	0.1924
Se acepta hipótesis si (dmax menor dcrit)	$d_{max}<d_{crit}$	0.1372<0.1924 <b>(CUMPLE)</b>
Coefficiente determinación ( $R^2$ )	$R^2=\text{COEFICIENTE}.R2(Y;X)$	0.961258

Nota: Elaboración propia

#### 4.3.3.3 Prueba de Hipótesis para la distribución Exponencial Eje

##### Delantero:

- Describir los datos de falla del componente de menor a mayor, representado por (t).
- Calcular la probabilidad acumulada de falla utilizando la fórmula de Bernard y representada por  $F^{\wedge}(t)$  (datos sin corregir).
- Se procede a calcular la probabilidad de falla corregida  $F(t)$ , utilizando los parámetros hallados en la distribución exponencial; representada por  $F(t)=1-e^{-(\lambda*t)}$ .

- . Cálculo del Error 1 (E1), se calcula en base al valor absoluta de la diferencia de la probabilidad de falla corregida menos la probabilidad de falla sin corregir; representada por  $E1=|F(t)-F^{\wedge}(t)|$ .
- Cálculo del Error 2 (E2), se calcula en base al valor absoluto de la diferencia de la probabilidad de falla corregida menos la probabilidad de falla sin corregir de un tiempo anterior; representada por  $E2=|F(t)-F^{\wedge}(t-1)|$ .

**Tabla 70: Datos de E1 y E2 Exponencial Eje Delantero**

i	t	F <sup>^</sup> (t)	EXPONENCIAL		
			F(t) F(t)=1-e <sup>-</sup> (λ*t)	E1= F(t)-F <sup>^</sup> (t)	E2= F(t)-F <sup>^</sup> (t-1)
1	1210.9	3.43%	18.77%	0.1534	0.1877
2	1893.2	8.33%	27.75%	0.1942	0.2432
3	2179.9	13.24%	31.22%	0.1799	0.2289
4	3465.6	18.14%	44.85%	0.2671	0.3161
5	4906.2	23.04%	56.93%	0.3389	0.3879
6	5392.5	27.94%	60.38%	0.3244	0.3734
7	6115.6	32.84%	65.01%	0.3216	0.3707
8	6658.7	37.75%	68.12%	0.3038	0.3528
9	7500.5	42.65%	72.41%	0.2977	0.3467
10	7796.9	47.55%	73.78%	0.2623	0.3113
11	9240	52.45%	79.54%	0.2708	0.3199
12	9879.3	57.35%	81.66%	0.2431	0.2921
13	10145.5	62.25%	82.48%	0.2023	0.2513
14	11482.4	67.16%	86.08%	0.1892	0.2382
15	12462	72.06%	88.23%	0.1617	0.2107
16	13919	76.96%	90.84%	0.1387	0.1878
17	14126	81.86%	91.16%	0.0929	0.1419
18	14430.5	86.76%	91.61%	0.0484	0.0974
19	14664	91.67%	91.94%	0.0027	0.0517
20	15268	96.57%	92.73%	0.0384	0.0106

Nota: Elaboración propia

- Cálculo del error máximo “**dmax**”, se utiliza la función máxima considerando los errores E1 y E2.

- Cálculo de la significancia “ $C\alpha$ ”; considerando que el nivel de confianza es del 95% y la significancia del 5%, y teniendo como datos de vida  $n=20$  de la tabla N°1 se obtiene el valor  $C\alpha=1.094$ .
- Cálculo del contraste “ $Kn$ ”, el cual está determinado por  $Kn=\sqrt{n+0.12+0.11/\sqrt{n}}$ .
- Cálculo del estadístico para contraste “ $dcrit$ ”, viene representada por la división de la significancia y el contraste.
- Se va aceptar la hipótesis si “ $dmax < dcrit$ ”.
- La distribución que tenga mayor grado de confianza mostrara el coeficiente de determinación  $R^2$  lo más cercano a 1.

**Tabla 71: Prueba de bondad distribución Exponencial Eje Delantero**

PRUEBA DE BONDAD EXPONENCIAL EJE DELANTERO		
Error maximo (dmax)	$dmax=MAX(E1;E2)$	0.3879
Significancia (C $\alpha$ )	$C\alpha$	1.094
Contraste (Kn)	$Kn=\sqrt{n+0.12+0.11/\sqrt{n}}$	4.6167
Estadístico de contraste (dcrit)	$dcrit=C\alpha/Kn$	0.2370
Se acepta hipótesis si (dmax menor dcrit)	$dmax < dcrit$	0.3879 < 0.2370 <b>(NO CUMPLE)</b>
Coefficiente determinación (R <sup>2</sup> )	$R^2=COEFICIENTE.R2(Y;X)$	0.803142

Nota: Elaboración propia



Luego de haber aplicado la prueba de bondad de ajuste Kolgomorov Smirnov se puede afirmar que la **DISTRIBUCION WEIBULL** es la más precisa y confiable para determinar la confiabilidad del **Eje Delantero** ya que cumple con la condición  **$d_{max} < d_{crit}$  (0.1139 < 0.1885)** y también su factor de terminación  **$R^2 = 0.968182$**  es el más mayor.

#### 4.3.4 Prueba Hipótesis Eje Posterior:

##### 4.3.4.1 Prueba de Hipótesis para la distribución Weibull Eje Posterior:

- Describir los datos de falla del componente de menor a mayor, representado por  $(t)$ .
- Calcular la probabilidad acumulada de falla utilizando la fórmula de Bernard y representada por  $F^{\wedge}(t)$  (datos sin corregir).
- Se procede a calcular la probabilidad de falla corregida  $F(t)$ , utilizando los parámetros calculados de Weibull; representada por  $F(t) = 1 - e^{-(t/n)^{\beta}}$ .
- Cálculo del Error 1 (E1), se calcula en base al valor absoluta de la diferencia de la probabilidad de falla corregida menos la probabilidad de falla sin corregir; representada por  $E1 = |F(t) - F^{\wedge}(t)|$ .
- Cálculo del Error 2 (E2), se calcula en base al valor absoluto de la diferencia de la probabilidad de falla corregida menos la probabilidad de falla sin corregir de un tiempo anterior; representada por  $E2 = |F(t) - F^{\wedge}(t-1)|$ .

**Tabla 72: Datos de E1 y E2 Weibull Eje Posterior**

i	t	F^(t)	WEIBULL		
			F(t) F(t)=1-e-(t/n)^β	E1= F(t)-F^(t)	E2= F(t)-F^(t-1)
1	1509.3	3.43%	4.19%	0.0076	0.0419
2	1895	8.33%	6.14%	0.0219	0.0271
3	3167.1	13.24%	14.25%	0.0102	0.0592
4	3678	18.14%	18.05%	0.0009	0.0481
5	4156.4	23.04%	21.79%	0.0125	0.0365
6	4906.2	27.94%	27.90%	0.0004	0.0487
7	5958.8	32.84%	36.72%	0.0387	0.0878
8	6056.2	37.75%	37.53%	0.0021	0.0469
9	6634	42.65%	42.34%	0.0030	0.0460
10	7029.4	47.55%	45.58%	0.0197	0.0294
11	9240	52.45%	62.29%	0.0984	0.1474
12	8363.6	57.35%	56.01%	0.0134	0.0356
13	9952.9	62.25%	67.00%	0.0475	0.0965
14	10961.7	67.16%	73.01%	0.0585	0.1076
15	11001.6	72.06%	73.23%	0.0117	0.0608
16	12482.4	76.96%	80.58%	0.0362	0.0852
17	13309.2	81.86%	83.97%	0.0211	0.0701
18	14373.5	86.76%	87.64%	0.0087	0.0577
19	15038	91.67%	89.57%	0.0210	0.0280
20	16096.5	96.57%	92.13%	0.0444	0.0046

Nota: Elaboración propia

- Cálculo del error máximo “**dmax**”, se utiliza la función máxima considerando los errores E1 y E2.
- Cálculo de la significancia “**Cα**”; considerando que el nivel de confianza es del 95% y la significancia del 5%, y teniendo como datos de vida n=20 de la tabla N°1 se obtiene el valor Cα=0.843.
- Cálculo del contraste “**Kn**”, el cual está determinado por la raíz cuadrada de la cantidad de datos de vida que se están analizando.
- Cálculo del estadístico para contraste “**dcrit**”, viene representada por la división de la significancia y el contraste.

- Se va aceptar la hipótesis si “ $d_{max} < d_{crit}$ ”.
- La distribución que tenga mayor grado de confianza mostrara el coeficiente de determinación  $R^2$  lo más cercano a 1.

**Tabla 73: Prueba de bondad distribución Weibull Eje Posterior**

PRUEBA DE BONDAD WEIBULL EJE POSTERIOR		
Error maximo (dmax)	$d_{max} = \text{MAX}(E1; E2)$	0.1474
Significancia ( $C\alpha$ )	$C\alpha$	0.843
Contraste ( $Kn$ )	$Kn = \sqrt{n}$	4.4721
Estadístico de contraste (dcrit)	$d_{crit} = C\alpha / Kn$	0.1885
Se acepta hipótesis si (dmax menor dcrit)	$d_{max} < d_{crit}$	0.1474 < 0.1885 <b>(CUMPLE)</b>
Coefficiente de determinación ( $R^2$ )	$R^2 = \text{COEFICIENTE.R2}(Y; X)$	0.987174

Nota: Elaboración propia

#### 4.3.4.2 Prueba de Hipótesis para la distribución Normal Eje Posterior:

- Describir los datos de falla del componente de menor a mayor, representado por (t).
- Calcular la probabilidad acumulada de falla utilizando la fórmula de Bernard y representada por  $F^{\wedge}(t)$  (datos sin corregir).

- Se procede a calcular la probabilidad de falla corregida  $F(t)$ , utilizando los parámetros calculados de la Normal; representada por  $F(t)=\text{DISTR.NORM}(X;\mu;\sigma;1)$
- . Cálculo del Error 1 (E1), se calcula en base al valor absoluta de la diferencia de la probabilidad de falla corregida menos la probabilidad de falla sin corregir; representada por  $E1=|F(t)-F^\wedge(t)|$ .
- Cálculo del Error 2 (E2), se calcula en base al valor absoluto de la diferencia de la probabilidad de falla corregida menos la probabilidad de falla sin corregir de un tiempo anterior; representada por  $E2=|F(t)-F^\wedge(t-1)|$ .

**Tabla 74: Datos de E1 y E2 Normal Eje Posterior**

i	t	F <sup>^</sup> (t)	NORMAL		
			F(t) F(t)=DISTR.NORM( X;μ;σ;1)	E1= F(t)-F <sup>^</sup> (t)	E2= F(t)-F <sup>^</sup> (t-1)
1	1509.3	3.43%	8.16%	0.0472	0.0816
2	1895	8.33%	9.44%	0.0110	0.0600
3	3167.1	13.24%	14.70%	0.0146	0.0637
4	3678	18.14%	17.28%	0.0085	0.0405
5	4156.4	23.04%	19.95%	0.0309	0.0182
6	4906.2	27.94%	24.60%	0.0334	0.0156
7	5958.8	32.84%	31.99%	0.0085	0.0405
8	6056.2	37.75%	32.72%	0.0502	0.0012
9	6634	42.65%	37.18%	0.0547	0.0057
10	7029.4	47.55%	40.33%	0.0722	0.0232
11	9240	52.45%	58.54%	0.0609	0.1099
12	8363.6	57.35%	51.32%	0.0603	0.0113
13	9952.9	62.25%	64.21%	0.0196	0.0686
14	10961.7	67.16%	71.71%	0.0455	0.0946
15	11001.6	72.06%	71.99%	0.0007	0.0483
16	12482.4	76.96%	81.35%	0.0439	0.0930
17	13309.2	81.86%	85.62%	0.0375	0.0866
18	14373.5	86.76%	90.06%	0.0330	0.0820
19	15038	91.67%	92.27%	0.0060	0.0550
20	16096.5	96.57%	94.99%	0.0158	0.0332

Nota: Elaboración propia

- Cálculo del error máximo "**dmax**", se utiliza la función máxima considerando los errores E1 y E2.
- Cálculo de la significancia "**C $\alpha$** "; considerando que el nivel de confianza es del 95% y la significancia del 5%, y teniendo como datos de vida n=20 de la tabla N°1 se obtiene el valor  $C\alpha=0.895$ .
- Cálculo del contraste "**Kn**", el cual está determinado por  $Kn=\sqrt{n-0.01}+0.85/\sqrt{n}$ .
- Cálculo del estadístico para contraste "**dcrit**", viene representada por la división de la significancia y el contraste.
- Se va aceptar la hipótesis si "**dmax<dcrit**".
- La distribución que tenga mayor grado de confianza mostrara el coeficiente de determinación **R<sup>2</sup>** lo más cercano a 1.

**Tabla 75: Prueba de bondad distribución Normal Eje Posterior**

PRUEBA DE BONDAD NORMAL EJE POSTERIOR		
Error maximo (dmax)	$d_{max} = \text{MAX}(E1; E2)$	0.1099
Significancia ( $C\alpha$ )	$C\alpha$	0.895
Contraste ( $Kn$ )	$Kn = \sqrt{n} - 0.01 + 0.85/\sqrt{n}$	4.6522
Estadístico de contraste (dcrit)	$d_{crit} = C\alpha / Kn$	0.1924
Se acepta hipótesis si (dmax menor dcrit)	$d_{max} < d_{crit}$	0.1099 < 0.1924 <b>(CUMPLE)</b>
Coefficiente determinación ( $R^2$ )	$R^2 = \text{COEFICIENTE.R2}(Y; X)$	0.971902

Nota: Elaboración propia

#### 4.3.4.3 Prueba de Hipótesis para la distribución Exponencial Eje

##### Posterior:

- Describir los datos de falla del componente de menor a mayor, representado por (t).
- Calcular la probabilidad acumulada de falla utilizando la fórmula de Bernard y representada por  $F^{\wedge}(t)$  (datos sin corregir).
- Se procede a calcular la probabilidad de falla corregida  $F(t)$ , utilizando los parámetros hallados en la distribución exponencial; representada por  $F(t) = 1 - e^{-(\lambda * t)}$ .

- . Cálculo del Error 1 (E1), se calcula en base al valor absoluta de la diferencia de la probabilidad de falla corregida menos la probabilidad de falla sin corregir; representada por  $E1=|F(t)-F^{\wedge}(t)|$ .
- Cálculo del Error 2 (E2), se calcula en base al valor absoluto de la diferencia de la probabilidad de falla corregida menos la probabilidad de falla sin corregir de un tiempo anterior; representada por  $E2=|F(t)-F^{\wedge}(t-1)|$ .

**Tabla 76: Datos de E1 y E2 Exponencial Eje Posterior**

i	t	F <sup>^</sup> (t)	EXPONENCIAL		
			F(t) F(t)=1-e <sup>-</sup> (λ*t)	E1= F(t)-F <sup>^</sup> (t)	E2= F(t)-F <sup>^</sup> (t-1)
1	1509.3	3.43%	24.46%	0.2103	0.2446
2	1895	8.33%	29.69%	0.2136	0.2626
3	3167.1	13.24%	44.50%	0.3126	0.3616
4	3678	18.14%	49.53%	0.3139	0.3629
5	4156.4	23.04%	53.82%	0.3078	0.3568
6	4906.2	27.94%	59.83%	0.3189	0.3679
7	5958.8	32.84%	66.97%	0.3412	0.3903
8	6056.2	37.75%	67.56%	0.2981	0.3472
9	6634	42.65%	70.86%	0.2822	0.3312
10	7029.4	47.55%	72.93%	0.2538	0.3028
11	9240	52.45%	82.05%	0.2960	0.3450
12	8363.6	57.35%	78.87%	0.2152	0.2642
13	9952.9	62.25%	84.28%	0.2202	0.2693
14	10961.7	67.16%	86.97%	0.1981	0.2471
15	11001.6	72.06%	87.06%	0.1500	0.1991
16	12482.4	76.96%	90.18%	0.1322	0.1812
17	13309.2	81.86%	91.58%	0.0971	0.1461
18	14373.5	86.76%	93.09%	0.0632	0.1122
19	15038	91.67%	93.89%	0.0222	0.0713
20	16096.5	96.57%	94.98%	0.0159	0.0332

Nota: Elaboración propia

- Cálculo del error máximo “**dmax**”, se utiliza la función máxima considerando los errores E1 y E2.

- Cálculo de la significancia “ $C\alpha$ ”; considerando que el nivel de confianza es del 95% y la significancia del 5%, y teniendo como datos de vida  $n=20$  de la tabla N°1 se obtiene el valor  $C\alpha=1.094$ .
- Cálculo del contraste “ $Kn$ ”, el cual está determinado por  $Kn=\sqrt{n+0.12+0.11}/\sqrt{n}$ .
- Cálculo del estadístico para contraste “ $dcrit$ ”, viene representada por la división de la significancia y el contraste.
- Se va aceptar la hipótesis si “ $dmax < dcrit$ ”.
- La distribución que tenga mayor grado de confianza mostrara el coeficiente de determinación  $R^2$  lo más cercano a 1.

**Tabla 77: Prueba de bondad distribución Exponencial Eje Posterior**

PRUEBA DE BONDAD EXPONENCIAL EJE POSTERIOR		
Error maximo (dmax)	$dmax=MAX(E1;E2)$	0.3903
Significancia ( $C\alpha$ )	$C\alpha$	1.094
Contraste ( $Kn$ )	$Kn=\sqrt{n+0.12+0.11}/\sqrt{n}$	4.6167
Estadístico de contraste (dcrit)	$dcrit=C\alpha/Kn$	0.2370
Se acepta hipótesis si (dmax menor dcrit)	$dmax < dcrit$	0.3903 < 0.2370 <b>(NO CUMPLE)</b>
Coficiente determinación ( $R^2$ )	$R^2=COEFICIENTE.R2(Y;X)$	0.888849

Nota: Elaboración propia



Luego de haber aplicado la prueba de bondad de ajuste Kolgomorov Smirnov se puede afirmar que la **DISTRIBUCION WEIBULL** es la más precisa y confiable para determinar la confiabilidad del **Eje Posterior** ya que cumple con la condición **dmax<dcrit (0.1474<0.1885)** y también su factor de terminación **R^2=0.987174** es el más mayor.

## 4.4 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

### 4.4.1 Análisis de distribuciones para la Confiabilidad:

Luego de haber realizado la prueba de hipótesis por cada componente se puede afirmar que la **distribución Weibull**, es la distribución mas precisa y confiable para determinar la confiabilidad de los componentes del tren de fuerza del scoop R1600H.

**Tabla 78: Resumen de distribuciones de componentes**

ITEM	COMPONENTE	DISTRIBUCION	PRUEBA HIPOTESIS		DESCRIPCION
			R^2	dmax<dcrit	
1	Motor Diésel	Weibull	0.920345	0.1880<0.1885	La distribución Weibull, tiene el coeficiente de determinación mas alto, cumple con la comparación de los estadísticos de contraste dmax<dcrit.
		Normal	0.879516	0.2177<0.1924	
		Exponencial	0.671489	0.2930<0.2370	
2	Caja Transmisión	Weibull	0.956043	0.1745<0.1885	La distribución Weibull, tiene el coeficiente de determinación mas alto, cumple con la comparación de los estadísticos de contraste dmax<dcrit.
		Normal	0.942600	0.1296<0.1924	
		Exponencial	0.770512	0.3395<0.2370	
3	Eje Delantero	Weibull	0.968182	0.1139<0.1885	La distribución Weibull, tiene el coeficiente de determinación mas alto, cumple con la comparación de los estadísticos de contraste dmax<dcrit.
		Normal	0.961258	0.1372<0.1924	
		Exponencial	0.803142	0.3879<0.2370	
4	Eje Posterior	Weibull	0.987174	0.1474<0.1885	La distribución Weibull, tiene el coeficiente de determinación mas alto, cumple con la comparación de los estadísticos de contraste dmax<dcrit.
		Normal	0.971902	0.1099<0.1924	
		Exponencial	0.888849	0.3903<0.2370	

Nota: Elaboración propia

### 4.4.2 Confiabilidad de componentes del scoop R1600H:

Considerando los parámetros de confiabilidad calculados para cada componente del Tren de Fuerza, se procede a determinar la confiabilidad de

cada componente teniendo en consideración MTBF. A continuación, se indica la confiabilidad de los componentes del tren de fuerza del scoop R1600H:

**Tabla 79: Confiabilidad componentes Scoop R1600H**

ITEM	COMPONENTE	FUNCION	PARAMETRO Beta ( $\beta$ )	PARAMETRO Eta ( $\eta$ )	TMEF	CONFIABILIDAD R(t)
1	Motor Diésel	Weibull	1.2991	11137.939	10288.136	40.57%
2	Caja Transmisión	Weibull	1.3528	10629.624	9743.712	41.11%
3	Eje Delantero	Weibull	1.5590	9956.863	8949.701	42.88%
4	Eje Posterior	Weibull	1.7254	9374.701	8356.394	44.04%

Nota: Elaboración propia

#### 4.4.3 Etapa de vida de componentes del Tren de Fuerza Scoop R1600H:

La etapa de vida de los componentes del tren de fuerza está representada por el parámetro de forma Beta ( $\beta$ ). Este parámetro fue determinado dentro del cálculo de parámetros de la distribución Weibull para cada componente. A continuación, se muestra la tabla de resumen de los parámetros Beta y la etapa de vida en que se encuentra cada componente.:

**Tabla 80: Resumen de parámetros Beta y etapa de vida componentes**

ITEM	COMPONENTE	PARAMETRO Beta ( $\beta$ )	DESCRIPCION
1	Motor Diésel	1.2991	Se encuentra en la etapa de envejecimiento ya que $\beta > 1$ ; tiene un comportamiento de fallas por desgaste.
2	Caja Transmisión	1.3528	Se encuentra en la etapa de envejecimiento ya que $\beta > 1$ ; tiene un comportamiento de fallas por desgaste.
3	Eje Delantero	1.5590	Se encuentra en la etapa de envejecimiento ya que $\beta > 1$ ; tiene un comportamiento de fallas por envejecimiento.
4	Eje Posterior	1.7254	Se encuentra en la etapa de envejecimiento ya que $\beta > 1$ ; tiene un comportamiento de fallas que se incrementaran con el tiempo hasta originar la perdida de la funcionalidad.

Nota: Elaboración propia

## 4.5 DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

- En la presente tesis se determinó que la distribución Weibull es la distribución más confiable y precisa para obtener la confiabilidad de los componentes del tren de fuerza del scoop R1600H; en esta distribución se hallaron los parámetros de forma y escala con el método de regresión lineal, contrastando con la tesis “evaluación de métodos para determinar la confiabilidad mediante la distribución de Weibull” elaborado por Hildebrando Rosado 2017, desarrolló varios métodos para el cálculo de la confiabilidad dentro de los cuales también se utilizó el método de regresión lineal dando como resultado una aproximación más precisa comparando con el método gráfico.
- En la tesis se determinó que los componentes del tren de fuerza del scoop R1600H se encuentran en la etapa de vida de envejecimiento para lo cual se utilizó la distribución de Weibull para determinar el parámetro beta mayor a 1 en cada componente; contrastando con la tesis “Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad a motores a gas de dos tiempos en pozos de alta producción” elaborado por Da Costa Burga en 2010, presenta similitud al utilizar también la distribución de Weibull para el cálculo del parámetro beta para determinar la etapa de vida del componente motor de combustión interna donde se identificaron 4 componentes con valores de beta mayores a 1 encontrándose también en la etapa de envejecimiento.

-

- En la presente tesis se analizaron los datos de falla de los componentes principales del tren de fuerza de un scoop R1600H, se determinó que la distribución de Weibull es más precisa y confiables que las distribuciones normal y exponencial; contrastando con la tesis “análisis de datos de falla” elaborado por Ramírez Castaño 2014; esta tesis utilizo como modelo matemático de análisis de datos de falla la distribución Weibull para modelar las fallas y periodos de vida operativa de los componentes del sistema ya el parámetro beta es calculado dentro de la distribución Weibull.

## CONCLUSIONES

- Se ha realizado el análisis cuantitativo de fallas para el tren de fuerza del scoop R1600H, considerando los componentes del motor, caja de transmisión, eje delantero y eje posterior mediante modelos matemáticos aplicando las 3 distribuciones Weibull, Normal y Exponencial.
- La Distribución Weibull es el modelo matemático mas preciso y confiable para describir la confiabilidad de los componentes del tren de fuerza del scoop R1600H, ya que luego de haber analizado en cada componente y comparado con las distribuciones normal y exponencial; la distribución Weibull cumple con la prueba de bondad Kolmogorov Smirnov donde  $d_{max} < d_{crit}$  y también su factor de terminación  $R^2$  es el más mayor.
- La confiabilidad calculada para el motor diésel es 40.57%; la confiabilidad para la caja de transmisión es 41.11%, la confiabilidad para el eje delantero es 42.88% y la confiabilidad para el eje posterior es 44.04%.

- La etapa de vida en la que se encuentran los componentes del tren de fuerza del scoop R1600H es la etapa de desgaste y envejecimiento parámetros  $\beta > 1$ .

## RECOMENDACIONES

- La toma de decisiones para mejorar la gestión del mantenimiento no solo basta con la experiencia y datos del fabricante; deben estar respaldados por un análisis matemático, estadístico y computacional más sostenido.
- Es muy importante contar con una base datos confiable donde se registre los datos de falla real de los equipos de acarreo para que luego la información sea analizada para la toma de decisiones.
- Al haber determinado la etapa de vida de los componentes críticos del un equipo de acarreo es importante establecer un programa de recambio y/o reparación de componentes considerando la etapa de vida en que se encuentre.
- Para los datos de falla que son recurrentes en los equipos de acarreo establecer planes de contingencia mejorando las hojas de ruta (cartillas de

mantenimiento) centrando las actividades de mantenimiento preventivo en las fallas identificadas.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Espinoza Montes, C. A. (2014). Metodología de investigación tecnológica. Pensando en sistemas. Huancayo, Perú: Soluciones Gráficas SAC.
- Pascual (2005). El arte de mantener. Santiago, Chile; Departamento Ingeniería Mecánica U. de Chile.
- Mora A., (2009) “Mantenimiento, planeación, ejecución y control.” Mexico, México; alfaomega.
- Moubray, J.,(1999) “El RCMII – Reliability Centered Maintenance (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad)”, EE.UU. Aladon LTD
- Tecsup (2020). Gestion de la confiabilidad en equipos productivos. Lima Peru, Tecsup.
- Rosado H, (2017). “Evaluación de métodos para determinar la confiabilidad mediante la distribución weibull.” Tesis de maestria, Arequipa Peru obtenido de <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/4420>
- Ramirez C. (2014). “Análisis de datos de falla”. Tesis de maestría, manizales, Colombia. Obtenido de <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/52623>

- Méndez G. (2008). "Análisis de confiabilidad utilizando modelos de componentes genéricos y matrices de propagación de fallas". Tesis de maestría, Veracruz. Obtenido de [http://www.cenidet.edu.mx/subaca/web-elec/tesis\\_mc/206MC\\_mamg.pdf](http://www.cenidet.edu.mx/subaca/web-elec/tesis_mc/206MC_mamg.pdf)
- Da Costa B. (2010) "Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad a motores a gas de dos tiempos en pozos de alta producción". Pontificia Universidad Católica del Perú. Obtenido de <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/567>
- Rahimdel J. (2013) "Programación de mantenimiento basada en confiabilidad del sistema hidráulico de máquinas perforadoras rotativas". Artículo científico, China. Obtenido de <http://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2095268613001523>
- Baradady J. (2008) "Análisis de confiabilidad de equipos de minería: un estudio de caso de una planta trituradora en la mina de bauxita Jajarm en Irán". Artículo científico, Iran. Obtenido de <http://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0951832007002529>
- Ebeling Ch.(2005) "Introducción a la ingeniería de confiabilidad y mantenibilidad". New York, EEUU. McGraw-Hill.
- Blanchard B. (1994) "Mantenibilidad una clave para una capacidad de servicio eficaz y gestión de mantenimiento". Madrid, España. Monografias.com
- Nachlas J. (1995) Fiabilidad. Madrid, España. Icdefe.
- Ramakumar R. (1996) "Ingeniería de confiabilidad, fundamentos y aplicaciones". New Jersey EEUU. Prentice Hall.

- Leemis L.(1995) “Confiabilidad modelos de probabilidad y metodos estadísticos”. New Jersey EEUU. Prentice Hall.
- Connor P. (2002) “Ingeniería de confiabilidad practica”. Stevenage, England. John Wiley.
- Reliasoft (2008). Reliasoft. Obtenido de <http://www.reliasoft.com/support/faq.htm>
- Lewis E. (1995). “ Introducción a la ingeniería de confiabilidad”. John Wiley.
- Rojas J. (1975). “Introducción a la confibilidad”. Bogota, Colombia. Universidad de los Andes.
- Forcadas J. (1983). “Estadística aplicada a los sistemas y confiabilidad en los sistemas”. Medellin, Colombia. SAI.
- Díaz A. (1992). “Confiabilidad en mantenimiento”. Caracas, Venezuela. IESA.
- Levin R. (1996) “Estadística para administradores”. Ciudad México, México. Prentice Hall.

## **ANEXOS**