



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA DE MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

**“AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE CÁLCULO DE LOS
INDICADORES DE FIABILIDAD EN EQUIPOS MEDIANTE
MICROSOFT EXCEL”**

Trabajo de titulación:

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

AUTOR: KEVIN ADRIÁN QUITO GARCÍA

DIRECTOR: ING. CÉSAR MARCELO GALLEGOS LONDONO

Riobamba-Ecuador

2021

© 2021, Kevin Adrián Quito García

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor

Yo, Kevin Adrián Quito García, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

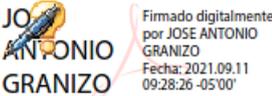
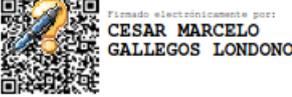
Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

Riobamba, 10 de abril de 2021

Kevin Adrián Quito García
060423533-3

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA DE MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

El Tribunal de titulación certifica que: El trabajo de titulación: Tipo: Proyecto técnico “**AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE CÁLCULO DE LOS INDICADORES DE FIABILIDAD EN EQUIPOS MEDIANTE MICROSOFT EXCEL**”, de responsabilidad del señor **KEVIN ADRIÁN QUITO GARCÍA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. José Antonio Granizo. PhD PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	 Firmado digitalmente por JOSE ANTONIO GRANIZO Fecha: 2021.09.11 09:28:26 -05'00'	17/08/2021
Ing. César Marcelo Gallegos Londono Msc. DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	 Firmado electrónicamente por: CESAR MARCELO GALLEGOS LONDONO	17/08/2021
Ing. Sergio Raúl Villacrés Parra Msc. MIEMBRO DEL TRIBUNAL	 Firmado digitalmente por SERGIO RAUL VILLACRES PARRA Fecha: 2021.09.08 23:07:49 -05'00'	17/08/2021

DEDICATORIA

Dedico este proyecto primordialmente a Dios por darme la vida y la inteligencia para cursar cada etapa de mi vida y a mi familia por apoyarme en cada una de ellas. Dedico a todos los docentes de la carrera de ingeniería en mantenimiento industrial que han contribuido en mi formación profesional en especial a mi director y codirector.

Kevin

AGRADECIMIENTO

Agradezco principalmente a mis padres por la gran labor realizada desde el día que nací Luis Quito y Humbertina García porque siempre me han dado lo necesario y lo mejor para mí.

Kevin

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xv
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	2
1.1. Importancia del proyecto.....	2
1.2. Origen del problema.....	2
1.3. Alcance del proyecto.....	3
1.4. Objetivos.....	3
1.4.1. <i>Objetivo general</i>	3
1.4.2. <i>Objetivos específicos</i>	3

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	5
2.1. Introducción.....	5
2.2. Antecedentes.....	5
2.3. Mantenimiento y Fiabilidad.....	6

2.4.	Elementos reparables y no Reparables	6
2.4.1.	<i>+Elementos reparables</i>	7
2.4.2.	<i>Elementos no reparables</i>	7
2.5.	Fiabilidad	7
2.5.1.	<i>Tiempo medio entre fallos.</i>	7
2.5.2.	<i>Tiempo técnico de reparación</i>	9
2.5.3.	<i>Tasa de fallos</i>	10
2.6.	Curva de ciclo de vida	11
2.7.	Fiabilidad efectiva	12
2.7.1.	<i>Mantenibilidad</i>	13
2.7.2.	<i>Disponibilidad</i>	14
2.7.3.	<i>Indisponibilidad</i>	15
2.7.4.	<i>Gráficos de control</i>	15
2.8.	Funciones de fiabilidad	16
2.8.1.	<i>Variables aleatorias discretas</i>	17
2.8.2.	<i>Variable aleatoria continua</i>	17
2.8.3.	<i>Histograma de frecuencia</i>	18
2.8.3.1.	<i>Histogramas de barras simples</i>	18
2.8.3.2.	<i>Histograma de barras compuestas</i>	19
2.8.3.3.	<i>Histograma de barras agrupadas</i>	19
2.8.3.4.	<i>Polígono de frecuencia</i>	20
2.8.4.	<i>Función de densidad de probabilidad $f(t)$</i>	21
2.8.5.	<i>Función de distribución acumulada $F(t)$</i>	22
2.8.6.	<i>Función de supervivencia $S(t)$</i>	23
2.8.7.	<i>Función de riesgo $\lambda(t)$</i>	25
2.9.	Distribución de probabilidad	26
2.9.1.	<i>Distribución normal</i>	26
2.9.2.	<i>Distribución lognormal</i>	28

2.9.3.	<i>Distribución exponencial</i>	30
2.9.4.	<i>Distribución gamma</i>	31
2.9.5.	<i>Distribución de Weibull</i>	33
2.10.	Normativa	35
2.10.1.	<i>Norma UNE-EN 13460</i>	35
2.10.2.	<i>Norma UNE-EN 15341</i>	35
2.11.	Pruebas de bondad de ajuste	36
2.11.1.	<i>Prueba de chi cuadrado</i>	37
2.11.2.	<i>Prueba de Kolmogórov-Smirnov</i>	37

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	40
3.1	Definición de los datos y documentos requeridos	41
3.2	Datos para el cálculo de disponibilidad	41
3.3	Datos para el cálculo de la fiabilidad mediante la función normal	42
3.4	Datos para el cálculo de la fiabilidad mediante la función exponencial	43
3.5	Datos para el cálculo de la fiabilidad mediante la función Weibull	44
3.6	Datos para el cálculo de la fiabilidad mediante la función Lognormal	44
3.7	Datos para el cálculo de la fiabilidad mediante la función gamma	45
3.8	Diseño de programación en Microsoft Excel	45
3.8.1.	<i>Guía para el uso de la herramienta informática</i>	48
3.8.2.	<i>Cálculo de la fiabilidad mediante la función Exponencial</i>	49
3.8.3.	<i>Cálculo de la fiabilidad mediante la función Normal</i>	50
3.8.4.	<i>Cálculo de la fiabilidad mediante la función Lognormal</i>	51
3.8.5.	<i>Cálculo de la fiabilidad mediante la función Weibull</i>	51
3.8.6.	<i>Cálculo de la fiabilidad mediante la función Gamma</i>	52

3.9	Prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov	53
------------	---	-----------

CAPÍTULO IV

4.	RESULTADOS.....	57
-----------	------------------------	-----------

4.1	Análisis del funcionamiento de la herramienta informática	58
------------	--	-----------

4.2	Cálculo de la Disponibilidad.....	59
------------	--	-----------

4.3	Cálculo de la fiabilidad mediante las diferentes funciones.....	61
------------	--	-----------

	CONCLUSIONES.....	67
--	--------------------------	-----------

	RECOMENDACIONES.....	68
--	-----------------------------	-----------

GLOSARIO

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2- 1.	Distribución o ley de probabilidad	17
Tabla 2- 2.	Notación de la variable uniforme discreta	17
Tabla 2- 3.	Valores de $C\alpha$ de acuerdo con el nivel de significancia	39
Tabla 2- 4.	Ecuaciones para el cálculo $k(n)$ de acuerdo con la distribución que se utiliza	39
Tabla 3- 1.	Definición de datos.....	41
Tabla 3- 2.	Definición de datos para el cálculo de disponibilidad	42
Tabla 3- 3.	Definición de datos para el cálculo de fiabilidad a través de la función normal .	43
Tabla 3- 4.	Definición de datos para el cálculo de la fiabilidad mediante la función exponencial	43
Tabla 3- 5.	Definición de datos para el cálculo de fiabilidad con la función de Weibull	44
Tabla 3- 6.	Definición de datos para el cálculo de fiabilidad con la función lognormal	45
Tabla 3- 7.	Definición de datos para el cálculo de fiabilidad mediante la función gamma ...	45
Tabla 3- 8.	Ingreso de valores en código, tiempo entre fallas y tiempo medio de reparación	48
Tabla 3- 9.	Tasa de fallos, TMBF, disponibilidad, indisponibilidad, TMTR, límites	48
Tabla 3- 10.	Fiabilidad con la función exponencial	49
Tabla 3- 11.	Fiabilidad en un tiempo requerido entre fallas	50
Tabla 3- 12.	Función normal	50
Tabla 3- 13.	Fiabilidad en un TBF requerido	50
Tabla 3- 14.	Fiabilidad con la función lognormal.....	51
Tabla 3- 15.	Fiabilidad en un tiempo requerido para la función lognormal	51
Tabla 3- 16.	Fiabilidad mediante Weibull	51
Tabla 3- 17.	Fiabilidad en un tiempo requerido para la función de Weibull	52
Tabla 3- 18.	Fiabilidad con la función gamma	52
Tabla 3- 19.	Fiabilidad en un tiempo requerido para la función gamma.....	53
Tabla 3- 20.	Ingreso de datos para la prueba de bondad	53
Tabla 3- 21.	$F(t)$ de las diferentes distribuciones.....	53
Tabla 3- 22.	Test 5	54
Tabla 3- 23.	Cálculo analítico de $F(t)$ para las distribuciones	55
Tabla 3- 24.	Prueba de Kolmogorov-Smirnov para la función exponencial y normal	55
Tabla 3- 25.	Prueba de Kolmogorov-Smirnov para la función Weibull y lognormal	55
Tabla 3- 26.	Prueba de Kolmogorov-Smirnov para la función gamma.....	55

Tabla 3- 27.	Evaluación de las pruebas de bondad	56
Tabla 4- 1.	Datos aleatorios para evaluar la herramienta informática	58
Tabla 4- 2.	Test K-5 de los datos de la función normal	61
Tabla 4- 3.	Test K-5 de los datos de la función lognormal	63
Tabla 4- 4.	Test K-5 de los datos de la función exponencial	64
Tabla 4- 5.	Test K-5 de los datos de la función Weibull.....	65
Tabla 4- 6.	Test K-5 de los datos de la función gamma.....	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2- 1.	Representación gráfica del MTBF	8
Figura 2- 2.	Ensayo de la misma duración con dos y tres tiempos de avería.	9
Figura 2- 3.	Curva en forma de bañera que ilustra la tasa de fallas constante.....	11
Figura 2- 4.	Curva de planificación de vida de un equipo	12
Figura 2- 5.	Función de mantenibilidad $M(t)$	14
Figura 2- 6.	Gráfico de Shewart	16
Figura 2- 7.	Histograma de barras simple.....	19
Figura 2- 8.	Histograma de barras compuestas.....	19
Figura 2- 9.	Histograma de barras agrupadas	20
Figura 2- 10.	Polígono de frecuencia	20
Figura 2- 11.	Ojiva porcentual	21
Figura 2- 12.	Curva de densidad	22
Figura 2- 13.	Función de distribución acumulada	23
Figura 2- 14.	Forma típica de una función de supervivencia.....	24
Figura 2- 15.	Supervivencia discreta	25
Figura 2- 16.	Formas de la curva de la función de riesgo	26
Figura 2- 17.	Campana de Gauss.....	27
Figura 2- 18.	Áreas de probabilidad de la distribución normal.....	28
Figura 2- 19.	Comparación entre una distribución normal y una lognormal	29
Figura 2- 20.	Función de distribución F como área por debajo de la función de densidad	31
Figura 2- 21.	Función de distribución de Weibull.	35
Figura 2- 22.	Pruebas de bondad de ajuste	36
Figura 3- 1.	Etapas para el desarrollo del proyecto.....	40
Figura 3- 2.	Inicio.....	46
Figura 3- 3.	Ingreso de datos de los equipos.....	47
Figura 3- 4.	Ingreso de datos de las órdenes de trabajo	47

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 3- 1.	Gráfica de control.....	49
Gráfico 3- 2.	Pruebas de Bondad de las Funciones de Distribución.	53
Gráfico 4- 1.	Disponibilidad e Histograma según los datos de la función normal	60
Gráfico 4- 2.	Disponibilidad e Histograma según los datos de la función log normal	60
Gráfico 4- 3.	Disponibilidad e Histograma según los datos de la función exponencial	60
Gráfico 4- 4.	Disponibilidad e Histograma según los datos de la función weibull.....	61
Gráfico 4- 5.	Disponibilidad e Histograma según los datos de la función gamma.....	61
Gráfico 4- 6.	Graficas de la Fiabilidad según los datos de la función normal.....	62
Gráfico 4- 7.	Graficas de la Fiabilidad según los datos de la función lognormal	63
Gráfico 4- 8.	Graficas de la Fiabilidad según los datos de la función exponencial	64
Gráfico 4- 9.	Graficas de la Fiabilidad según los datos de la función weibull	65
Gráfico 4- 10.	Graficas de la Fiabilidad según los datos de la función gamma	66

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A.** DISTRIBUCIÓN NORMAL TIPIFICADA
- ANEXO B.** INFORMACIÓN TÉCNICA SEGÚN LA NORMA UNE-EN13460
- ANEXO C.** INDICADORES TÉCNICOS SEGÚN LA NORMA UNE-EN 15341
- ANEXO D.** TABLA DE VALORES DE BONDAD DE KOLMOGOROV SMIRNOV
- ANEXO E.** PROGRAMACION DE EXCEL MEDIANTE VISUAL BASIC
- ANEXO F.** EVALUACION DE LA HERRAMIENTA INFORMATICA (RESULTADOS)

RESUMEN

El presente trabajo de titulación se fundamentó en la automatización del proceso de cálculo de los indicadores de fiabilidad en equipos mediante Microsoft Excel, para la elaboración de la herramienta informática se realizó un estudio del arte centrado en los conceptos, fórmulas y gráficos que permitieron definir las metodologías que encargadas de facilitar el cálculo de la fiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad tomando en cuenta las normas UNE-EN 13460 y UNE-EN 15341 investigadas. Se desarrolló la herramienta informática mediante la programación a través del lenguaje de programación Visual Basic y de la herramienta macros que se encuentran dentro del entorno de Microsoft Excel, los cuales permiten elaborar una interfaz amigable con el usuario además de añadir procesos que generan valores y tablas de acuerdo con la metodología que el usuario decida utilizar. Para la herramienta se requiere el ingreso de una serie de valores cuyas características son código, tiempo entre fallas y tiempo de reparación adicionalmente se inserta una probabilidad para el cálculo, procediendo con el cómputo de la tasa de fallos, la disponibilidad, indisponibilidad, tiempo medio entre fallos, tiempo medio de reparación y los límites de control; para calcular la fiabilidad se trabaja con una selección funciones como son exponencial, normal, lognormal, Weibull y gamma, para las cuales es requerido insertar datos en código y tiempo entre fallas. Para validar la herramienta informática se aplicó la prueba de bondad de Kolmogorov-Smirnov, en donde se seleccionaron datos aleatorios que se ajusten a cada una de las funciones ya establecidas al realizar esto se concluyó que la herramienta informática realizó los cálculos de la forma establecida para cada función los cuales coinciden con la función para la cual fueron definidos. Para futuras mejoras se recomienda investigar otras pruebas de bondad de ajuste para poderlas agregar a la herramienta informática.

Palabras clave: <HERRAMIENTA INFORMÁTICA>, <FIABILIDAD>, <TIEMPO ENTRE FALLAS >, <MANTENIBILIDAD>, < PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE>



Firmado electrónicamente por:
JHONATAN RODRIGO
PARRERO UQUILLAS



30-03-2021
0889-DBRAI-UTP-2021

ABSTRACT

The present graduate research project was based on the automation of the process of calculating reliability indicators in equipment using Microsoft Excel, for the development of the software tool a study of the art focused on the concepts, formulas and graphics that allowed to define the methodologies in charge of facilitating the calculation of reliability, availability and maintainability considering the investigated UNE-EN 13460 and UNE-EN 15341 standards. The software tool was developed by means of programming through the Visual Basic programming language and the macros tool found within the Microsoft Excel environment, which allow the development of a user-friendly interface and the addition of processes that generate values and tables according to the methodology that the user decides to implement. To use the software tool is required to enter a series of values whose characteristics are code, time between failures and repair time additionally a probability is inserted for the calculation, while to calculate the reliability works with a selection of functions such as exponential, normal, lognormal, Weibull and gamma for which it is required to insert data in code and time between failures. To validate the software tool, the Kolmogorov-Smirnov goodness-of-fit test was applied, where random data were selected for each function; it was concluded that the software tool performed the calculations as established, obtaining the values corresponding to each function whose data were defined. For future improvements, it is recommended to investigate other goodness-of-fit tests to be added to the software tool.

KEYWORDS: <COMPUTER TOOL>, <MICROSOFT EXCEL>, <RELIABILITY> ,
<VISUAL BASIC>, <MAINTAINABILITY>, < GOODNESS-OF-FIT TEST >.

INTRODUCCIÓN

Las empresas que se encuentran dentro de la industria ponen gran esfuerzo en lograr que tanto sus servicios, equipos como procesos, pero esto se logra únicamente si se tiene un ambiente de trabajo seguro, saludable y fiable. La fiabilidad está fundamentada en el uso de una metodología para la correcta gestión de fallas en mantenimiento (Fioretti,2020, p.1). La importancia de la fiabilidad es fundamental, pues asegura la calidad de todo dispositivo, es por ello que, cuantificarla permite hacer estimaciones sobre la vida útil del producto. (Castela, 2016, p.1).

Para realizar las tareas de mantenimiento se han desarrollado alrededor del mundo softwares de gestión de mantenimiento con el objetivo de organizar las tareas de mantenimiento, ya sea previstas, para fechas o periodicidad indicadas (Preventivo, Rutinario) o imprevistas (Correctivo). La planificación de las tareas constituye una mejora en los tiempos operativos de los equipos, disminuyendo sus tiempos de parada por mantenimiento, así como sus fallas, asignar eficientemente recursos de mano de obra, pues, al optimizar la planificación de las necesidades de materiales y como consecuencia abatir los costos globales (G-Mant,2019, p.3).

Estos softwares principalmente se centran en mantener un adecuado plan de mantenimiento además de que de forma automática permiten generar órdenes de trabajo (G-Mant,2019, p.3); sin embargo, a pesar de ayudar de gran forma en la gestión de mantenimiento no incluyen una herramienta que facilite los cálculos de fiabilidad de un equipo, por lo que se tiene que realizar de forma manual (Fractal,2020). Con el fin de solventar esta problemática se propone realizar la “AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE CÁLCULO DE LOS INDICADORES DE FIABILIDAD EN EQUIPOS MEDIANTE MICROSOFT EXCEL”.

El desarrollo del software consta de una recopilación bibliográfica, definición de las metodologías de cálculo de la fiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad, basándose en normativas internacionales, el diseño y desarrollo del software en excel, entorno en el cual se realiza y ejecuta el programa principal que permite observar los cálculos de fiabilidad, así como la evaluación de la herramienta informática utilizando datos aleatorios de equipos reales.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.

1.1. Importancia del proyecto

Actualmente muchas empresas han optado por dejar los viejos paradigmas administrativos, los cuales no valoran todos los beneficios que conlleva tener un departamento de mantenimiento provisto por equipos adecuados, organizado, capacitado y con el suficiente presupuesto monetario, a pesar de esto existe mucha confusión por parte del personal de mantenimiento sobre la correcta elección y cálculo de los indicadores de fiabilidad. Debido a este inconveniente, se propone dar directrices para una correcta manipulación de los indicadores de fiabilidad, con la finalidad de aplicarlos de una manera adecuada permitiendo una correcta toma de decisiones de gestión.

El concepto de indicador según la norma UNE EN 15341 dice; “Indicador, medida cuantitativa o cualitativa de una característica o conjunto de características de un fenómeno o realización de actividades, según criterios definidos o una fórmula o cuestionario determinados.” (Une-En 15341, 2019, pp. 6-33).

Hace algunos años se han ido implementando estrategias de gestión como es el cálculo de los indicadores de fiabilidad, utilizando información recolectada por el personal de la empresa, para poder analizar en qué situación están las instalaciones. Por lo que, es pertinente realizar un proyecto técnico que se centre en este tema de gran relevancia para la gestión de activos, con la finalidad de brindar un soporte informático que sea de gran utilidad para que el personal de mantenimiento logre reducir el tiempo de cálculo y a su vez lograr entender la importancia de la fiabilidad de un equipo.

1.2. Origen del problema

Las industrias deben de tener una producción constante para poder competir tanto en el mercado nacional como internacional, por lo cual sus activos deben estar funcionando de manera correcta, para ello una de las herramientas utilizadas son los indicadores de fiabilidad, los cuales su cálculo manualmente son demorosos y complicados de comprender si no se tiene un adecuado conocimiento aplicativo. En la actualidad existe un desconocimiento por parte del personal de mantenimiento en la utilización de indicadores de fiabilidad, además es importante que exista una

buena organización de la información generada en las actividades del departamento de mantenimiento debido a que los indicadores de fiabilidad son un resultado de los datos obtenidos de los registros.

“El rendimiento del departamento de mantenimiento, al no contar con una organización correcta de la información requerida en los documentos que se utilizan en las tareas, no posee una base de datos confiable para poder hacer el análisis de los indicadores” (Bucay, 2018). Al momento de tomar una decisión resulta importante tener el conocimiento de los indicadores de fiabilidad, como y cuando utilizarlos. Existen software como ReliaSoft, que permite calcular la fiabilidad de un equipo, éste tiene un costo importante para el usuario que lo maneja.

Debido a esta problemática, se propone plantear información relevante acerca de los indicadores de fiabilidad, para que el personal del área de mantenimiento de la industria tenga un soporte con información clave y precisa para implementarlos en sus equipos, todo esto con la ayuda de una herramienta informática para el cálculo de indicadores de fiabilidad.

1.3. Alcance del proyecto

El presente proyecto tiene como alcance complementar el sistema de fiabilidad de los equipos que se utilizan en la industria, con la finalidad ahorrar tiempos de cálculo a través de un software que se encargue de dicho procedimiento.

1.4. Objetivos

1.4.1. *Objetivo general*

Automatizar el proceso de cálculo de los indicadores de fiabilidad en equipos mediante Microsoft Excel.

1.4.2. *Objetivos específicos*

Determinar el estado del arte respecto a los indicadores de fiabilidad

Definir las metodologías de cálculo de la fiabilidad, disponibilidad y Mantenibilidad, basándose en normativas internacionales.

Desarrollo de la herramienta informática mediante Microsoft Excel con las metodologías establecidas

Evaluar la herramienta informática mediante una prueba con datos aleatorios de equipos reales.

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Introducción

El estudio de todo lo que abarca el análisis de fiabilidad para diferentes equipos manejados dentro de la industria debe ser desarrollado para establecer un conocimiento en las normas, métodos y detalles importantes para cimentar una base sólida que permita sustentar el trabajo que se realiza.

El presente capítulo muestra una recopilación teórica sobre lo que es el mantenimiento, la fiabilidad, los elementos reparables, no reparables, los tiempos de fallo, tiempos de reparación, así como una revisión de las funciones de fiabilidad y distribución de probabilidad; características necesarias para el diseño y programación del proceso de cálculo de los indicadores de fiabilidad en Microsoft Excel.

2.2. Antecedentes

Los equipos industriales son activos en las empresas que en la mayoría de los sectores suponen el mayor coste de inversión al que tiene que hacer frente dicho ente empresarial. El hecho de que dichos sistemas se mantengan adecuadamente y logren cumplir con el ciclo de vida útil, no sucede muy a menudo debido a la falta de conocimientos adecuados de los indicadores de fiabilidad de los sistemas industriales (Navas Alvarez, 2017, p.21).

Esta situación ha estado ocurriendo desde hace mucho tiempo, por lo que, varias empresas no logran llegar a un nivel aceptable de organización de mantenimiento con un personal capacitado correctamente y capaz de utilizar todas las herramientas tecnológicas disponibles (Crismatt, y otros, 2012, p.1).

Peter Ducker supo mencionar que “No es posible administrar lo que no puedes controlar y no puedes controlar lo que no puedes medir; por lo que, con el transcurso de los años, se ha innovado la manera de gestionar el mantenimiento de los activos de una empresa, proponiendo

técnicas y estrategias que ofrecen una gran cantidad de ventajas competitivas para la organización (Suarez, 2019, p.1).

Una de las herramientas de gestión es la utilización de los indicadores de fiabilidad, debido a que permiten analizar el rendimiento de los equipos a partir de fenómenos medidos, y de esta forma representan una gran ayuda para la toma de decisiones de gestión. Alrededor del mundo se han desarrollado diferentes softwares que se dedican a resolver los problemas de gestión en mantenimiento tal es el caso de emaint que se encarga de gestionar las órdenes de trabajo, solicitudes de servicio y planeamiento de mantenimiento (EMAIN, 2020) ReliaSoft, que permite calcular la mantenibilidad de un equipo; todos estos softwares presentan una solución para la gestión de mantenimiento sin embargo no facilitan el cálculo de los indicadores de fiabilidad haciendo de éste un procedimiento netamente manual (RELIASOFT, 2020).

2.3. Mantenimiento y Fiabilidad

En todo ente empresarial es de suma importancia tener maquinaria y equipos en buenas condiciones que permita llevar a cabo las operaciones de forma correcta y fiable. Para tener claro que lo anteriormente expuesto es lo ideal para una empresa, es importante tener claro que el objetivo del mantenimiento y la fiabilidad consiste en mantener la capacidad del sistema, al mismo tiempo que se va controlando el costo, diseñando y manteniendo los sistemas para alcanzar el rendimiento esperado y los estándares de calidad (Heizer, y otros, 2008, p. 22).

La palabra mantenimiento engloba a todas y cada una de las actividades implicadas en lograr que los equipos del sistema productivo se encuentren en buen funcionamiento. Por otro lado, la fiabilidad es básicamente la probabilidad de que un elemento de una máquina trabaje correctamente durante un lapso establecido y bajo condiciones establecidas. (Heizer, y otros, 2008, pp.23-24).

Entre los beneficios de manejar estos dos términos permite tener una mezcla óptima en prácticas de mantenimiento reactivo, tiempo o fundamentado en el intervalo, establecido en la condición y proactivo; dichas estrategias de mantenimiento se unifican para poder aprovechar sus respectivas fortalezas para reducir la variabilidad del funcionamiento del sistema y aumentar la rentabilidad (Martínez Monseco, 2020, p. 1).

2.4. Elementos reparables y no Reparables

Dentro de una empresa se manejan dos tipos de componentes, equipos y sistemas los cuales son reparables y no reparables.

2.4.1. Elementos reparables

Son todos aquellos que una vez fallan pueden ser sometidos a restauración y puestos en estado operativo a través de cualquier método ya sea reparación, ajuste, entre otros, exceptuando el reemplazo (Zapata, 2010, p. 2).

2.4.2. Elementos no reparables

Son todos aquellos que al fallar debido a su naturaleza son reemplazados, pues, su reparación implica re-manufacturar el componente, también puede que su reparación sea tan compleja que no garantiza el estado operativo en cumplimiento con los requisitos de calidad y seguridad o simplemente fue fabricado como un producto desechable (Zapata, 2010, p.2).

2.5. Fiabilidad

La fiabilidad de una máquina el cual está sometido a condiciones específicas de trabajo consiste en la probabilidad de que ésta trabaje sin fallar durante un período de tiempo determinado; por lo que la fiabilidad representa un aspecto importante y fundamental en la calidad de cualquier equipo, debido a esto es necesario realizar la cuantificación de esta fiabilidad para poder determinar la vida útil de cada equipo (Castela, 2016, p.1).

Para establecer la función de fiabilidad es necesario definir que T es el tiempo transcurrido hasta la aparición de un fallo y según la probabilidad de ocurrencia de un fallo hasta un instante t que se muestra en la ecuación 1 (Castela, 2016, p.1).

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

La ecuación 2 denominada función de supervivencia S(t) o de fiabilidad R(t) utiliza la ecuación 1 y permite determinar que el equipo sobreviva más allá de un instante t (Castela, 2016, p.2).

$$\begin{aligned} S(t) &\equiv R(t) = 1 - F(t) \\ S(t) &\equiv R(t) = 1 - P(T > t) \end{aligned} \quad (2)$$

2.5.1. Tiempo medio entre fallos.

Primero se debe conocer que una falla es un suceso que altera el estado de un equipo funcional

a no funcional (Cárdenas, 2020, p.1). Por lo que se entiende como tiempo medio ente fallos (MTBF) a un tiempo ocurrido entre fallos de un sistema durante el funcionamiento (Manufacturing Terms, 2019); se lo considera como una medida básica de confiabilidad para los elementos conocidos como reparables y es el valor medio de unidades de vida en el cual todas las partes del equipo funcionan dentro de sus términos especificados durante un rango de tiempo de medición en condiciones establecidas (Sierra Fernández, y otros, 2018, p. 7). En la Figura 2- 2 se muestra la definición gráfica del tiempo medio entre fallos.

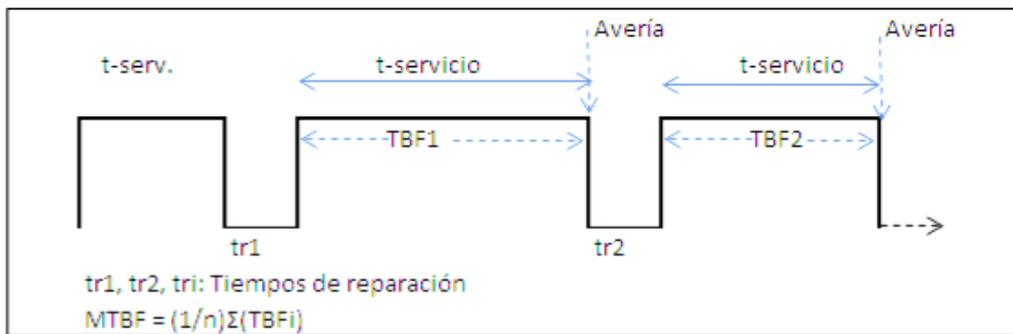


Figura 2- 1. Representación gráfica del MTBF

Fuente: Sierra Fernández y otros, https://ocw.unican.es/pluginfile.php/2489/course/section/2495/Mantenimiento_2%20.pdf

El MTBF dado para variables discretas no continuas está definido por la ecuación 3 el cual resulta ser la media ponderada de todos los tiempos de reparación (Sierra Fernández, y otros, 2018, p.8).

$$MTBF = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n TBF_i \quad (3)$$

En donde:

n: número de tiempos de buen funcionamiento

TBF_i: tiempo de buen funcionamiento

La muestra la importancia de definir los tiempos de buen funcionamiento y los tiempos de avería con el fin de poder aplicar las ecuaciones correctamente (Sierra Fernández, y otros, 2018, p.8),

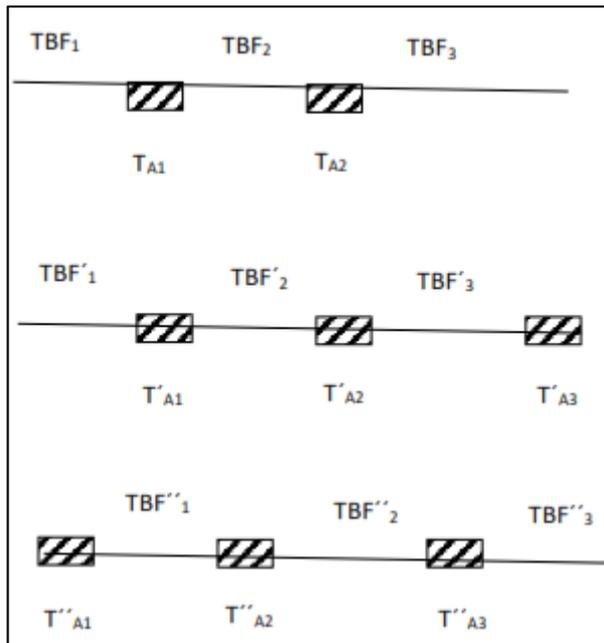


Figura 2- 2. Ensayo de la misma duración con dos y tres tiempos de avería.

Fuente: Sierra Fernández y otros, https://ocw.unican.es/pluginfile.php/2489/course/section/2495/Mantenimiento_2%20.pdf

2.5.2. *Tiempo técnico de reparación*

Denominado MTTR por sus siglas en inglés Mean Time To Repair, es una medida de mantenibilidad para sistemas, equipos y piezas que son considerados reparables; está definido como el promedio de tiempo que se requiere para reparar una avería hasta que la máquina reestablezca su actividad (Martins, 2019, p.1).

Se debe tener en cuenta que un tiempo promedio elevado de reparación tiene la capacidad de indicar varias conclusiones entre las cuales que es más fácil sustituir un equipo que repararlo, también permite tomar la decisión de continuar almacenando o no las piezas de repuesto para dicho equipo (Martins, 2019, p.1).

Mediante la ecuación 4 se puede calcular el MTTR a través de una simple división del tiempo total de mantenimiento correctivo realizado en un determinado período por el número total de acciones de mantenimiento correctivo realizadas (Martins, 2019, p.1).

$$MTTR = \frac{\text{TIEMPO TOTAL DE MANTENIMIENTO}}{\text{NÚMERO DE REPARACIONES}} \quad (4)$$

Cabe recalcar que el tiempo total de mantenimiento puede incluir el tiempo desde el instante en que es detectada una avería por lo que el tiempo de avería o fallo, TA tiene que ser lo más próximo al tiempo técnico de reparación TTR (Sierra Fernández, y otros, 2018, p.31).

El MTTR en general depende de:

- La facilidad del equipo o sistema para realizarle mantenimiento (Mesa y otros, 2006, p.158).
- La capacitación profesional de quien hace la intervención (Mesa y otros, 2006, p.158).
- Las características de la organización y la planificación del mantenimiento (Mesa y otros, 2006, p. 158).

2.5.3. Tasa de fallos

Es el parámetro fundamental y básico para medir la fiabilidad del sistema, está representada por λ y se define como el número total de fallas en un conjunto de equipos, dividido por el número total de unidades de vida usadas por dichos equipos, en un intervalo determinado de medición y en condiciones definidas (Sierra Fernández, y otros, 2018, p.15).

La expresión de la tasa de fallos se realiza en función del número total de unidades ensayadas como se aprecia en la ecuación 5, del tiempo de ensayo como se observa en la ecuación 6, de la distancia recorrida como se muestra en la ecuación 7, o de la variable que interese al proceso (Sierra Fernández, y otros, 2018, p.16).

$$\lambda_{\%} = \frac{\# \text{ de fallas}}{\# \text{ de unidades ensayadas}} \quad (5)$$

$$\lambda_h = \frac{\# \text{ de fallas}}{\# \text{ de horas de funcionamiento}} \quad (6)$$

$$\lambda_{\%} = \frac{\# \text{ de fallas}}{\text{distancia total recorrida}} \quad (7)$$

En la se aprecia la curva de la tasa de fallas la cual muestra el origen del supuesto de que la tasa fallas es constante, en donde el periodo de vida útil de esta curva es la etapa en la que un equipo o sistema está en funcionamiento y en uso; por lo que se mide la calidad del equipo con respecto a una tasa de fallas constante en relación con el tiempo; es así que esta parte del proceso del origen de las fallas incluye defectos no detectables, bajos factores de seguridad en el diseño, tensión aleatoria mayor de la esperada, factores humanos y fallas naturales. Con períodos holgados para pruebas de envejecimiento de componentes por parte de los fabricantes, el mantenimiento adecuado y el reemplazo proactivo de partes desgastadas, se puede evitar la

curva de deterioro acelerado representada por el periodo de desgaste (Torell , y otros, 2017, p.8).

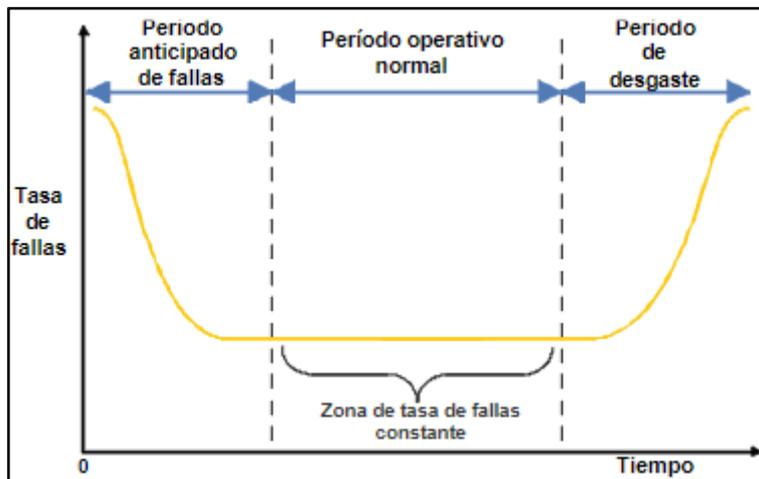


Figura 2- 3. Curva en forma de bañera que ilustra la tasa de fallas constante

Fuente: Torell y otros, <https://silو.tips/download/tiempo-medio-entre-fallas-explicacion-y-estandares>

2.6. Curva de ciclo de vida

Es definida como el período explicativo del deterioro de los equipos y explica la incidencia de fallos del equipo en función de su tiempo de uso, se contempla como una curva teórica la cual es modificada durante la práctica gracias a la aplicación de técnicas de mantenimiento que varían su forma y los periodos (Sierra Fernández, y otros, 2018, p.25).

En la se observa claramente tres períodos en la vida de un equipo las cuales son:

- **Zona de juventud** o de fallos iniciales, posee una elevada tasa de fallos que desciende de forma rápida debido varias razones como equipos defectuosos, desconocimiento de su manejo, instalaciones incorrectamente diseñadas, defectos o tolerancias de fabricación, ajuste de secuencias de funcionamiento, etc. (Sierra Fernández, y otros, 2018, p.26).
- **Zona de madurez** los fallos en esta parte son constantes o cuasi-constantes y es la etapa más larga presentando menor número de averías en donde los fallos se originan por accidentes fortuitos, mala operación, condiciones inadecuadas, fallo de algún elemento del equipo, desgastes puntuales no previsibles, etc.; es decir causas no predecibles, y no inherentes al equipo (Sierra Fernández, y otros, 2018, p.26).

- **Zona de desgaste** es el final de la curva en la cual las averías crecen desmesuradamente, en esta etapa de la vida de un equipo los fallos principales son estructurales o mecánicos creciendo los costos de mantenimiento y de forma paralela se reduce la seguridad en su uso, por lo que se recomienda su reemplazo (Sierra Fernández, y otros, 2018, p.26).

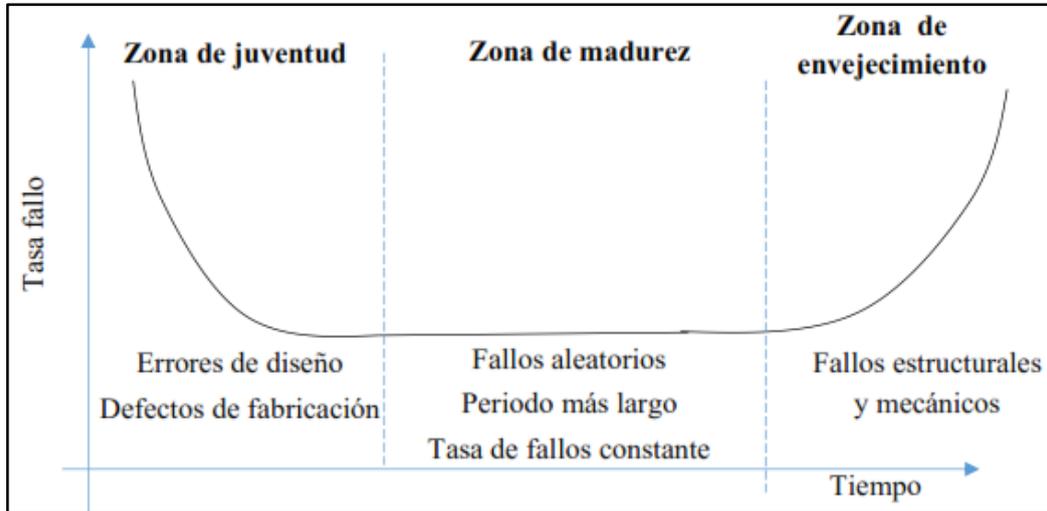


Figura 2- 4. Curva de planificación de vida de un equipo

Fuente: Sierra Fernández y otros, https://ocw.unican.es/pluginfile.php/2489/course/section/2495/Mantenimiento_2%20.pdf

2.7. Fiabilidad efectiva

Consiste en la ampliación del concepto de fiabilidad en el proceso de prueba de detección de fallos. En la ecuación 8 se puede apreciar la notación de la fiabilidad efectiva (R_{ef}), además se identifica que conceptualmente incluye a probabilidad de fallo y la probabilidad de no detectarlo (Sierra Fernández, y otros, 2018, p.28).

$$R_{ef}=1-[P_f(t)P_{nf}(t)] \quad (8)$$

Es importante considerar lo que se denomina como fenómenos excluyentes los cuales establecen que el hecho que se produzca uno de ellos no afecta a que pueda suceder o no suceda otro fenómeno. Se tiene un método que permite evitar que se identifique una avería cuando realmente no existe denominado falso positivo, el mismo que puede ocasionar un paro no necesario ni deseado por parte de la empresa; en el cual se identifica como error tipo II, al fallo identificado por el sistema cuando no existe, misma que dos pruebas independientes es el producto de probabilidades como se muestra en la ecuación 9 (Sierra Fernández, y otros, 2018, p.29).

$$P_{doble\ test}=[P(A_2)P(A_2')] \quad (9)$$

Cabe recalcar que la fiabilidad del test sea consistente o repetir la prueba para aumentar la fiabilidad general del sistema (Sierra Fernández, y otros, 2018, p.29).

2.7.1. Mantenibilidad

Es la capacidad que posee un equipo para recibir tareas de mantenimiento de forma fácil, precisa y segura (Martins, 2020, p.1)., se divide en las siguientes características:

- **Modularidad** es la capacidad que tiene un sistema de que el cambio de un componente tenga el mínimo impacto en los demás (ISO 25000, 2020).
- **Reusabilidad** es la capacidad que posee un activo para ser utilizado en más de un sistema (ISO 25000, 2020).
- **Analizabilidad** es la facilidad con la que se puede detectar los fallos en un equipo o identificar las partes a ser reparadas (ISO 25000, 2020).
- **Capacidad de ser modificado** permite que el equipo reciba cambios de formar efectiva y eficiente sin afectar el desempeño (ISO 25000, 2020).
- **Capacidad de ser probado** por medio de establecer fácilmente criterios de evaluación para poner a prueba el sistema (ISO 25000, 2020).

Para poder calcular la mantenibilidad se debe estimar la probabilidad de que un sistema funcione correcta y normalmente después del mantenimiento; al cálculo de la mantenibilidad se lo considera como una disciplina, es decir que no hay una fórmula simple para calcularla, pues está basada en otros indicadores de mantenimiento (Martins, 2020, p.1).

Utiliza el tiempo medio de reparación como indicador pues, entre menor sea el tiempo de reparación, hay una mayor probabilidad en que se corrija la avería, en otras palabras, los equipos que tienen menor downtime poseen mayor mantenibilidad. La Figura 2- 5 muestra la función de mantenibilidad misma que corresponde a una estimación de la probabilidad de completar una acción de reparación en un período de tiempo determinado, siendo la forma más tradicional haciendo una distribución logarítmica normal de valores asociados con el tiempo medio de reparación y otros dos indicadores (Martins, 2020, p.2).

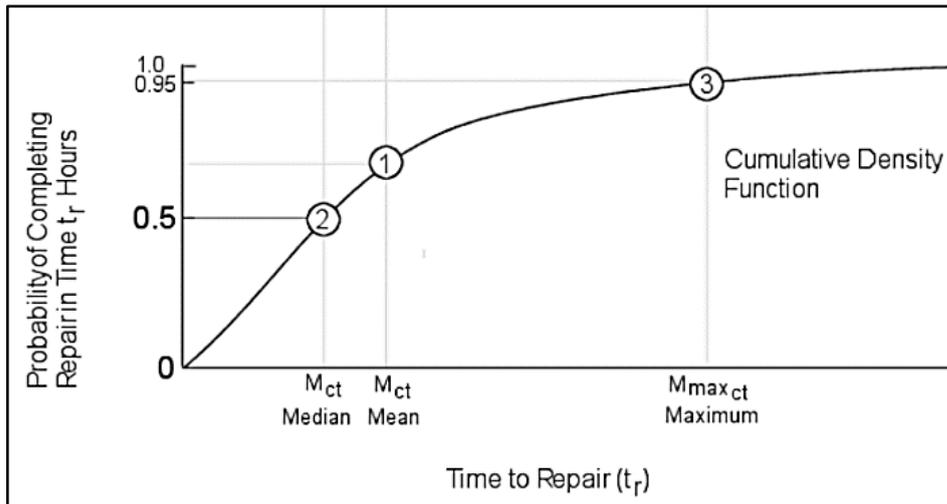


Figura 2- 5. Función de mantenibilidad M(t)

Fuente: Infraspak, [https://blog.infraspak.com/es/mantenibilidad/#:~:text=Hay%20tres%20conceptos%](https://blog.infraspak.com/es/mantenibilidad/#:~:text=Hay%20tres%20conceptos%20)

El segundo indicador es la mediana del tiempo medio de reparación mientras que el tercer y último indicador es el tiempo máximo de reparación M_{max} el cual es un tiempo máximo establecido para que se complete un determinado porcentaje de las acciones de reparación, para calcular tiempos máximos realistas se recomienda utilizar un software de gestión de mantenimiento (Martins, 2019, p.2).

2.7.2. Disponibilidad

Constituye el objetivo principal del mantenimiento, conceptualmente es la confianza de que un componente, equipo o sistema que pasó por mantenimiento realice su función de forma satisfactoria para un tiempo establecido; se expresa como el porcentaje de tiempo en que el sistema se encuentra listo para operar y producir (Mesa y otros,2006, p.157).

La ecuación 10 expresa matemáticamente lo que es la disponibilidad $D(t)$ correspondiente a una relación entre el tiempo en que el equipo quedó disponible para producir TMEF y el tiempo total de reparación TMPR (Mesa y otros,2006, p.158).

$$D = \frac{\text{tiempo disponible para la producción}}{\text{tiempo disponible para la producción} + \text{tiempo en mantenimiento}} \quad (10)$$

2.7.3. *Indisponibilidad*

Se considera un valor complementario de la disponibilidad por lo que se define como porcentaje de tiempo en el cual un equipo o sistema no puede utilizarse a causa de una avería (Roldán, 2020). La ecuación 11 indica que la indisponibilidad es la inversa de la disponibilidad por lo que también tiene una relación entre el tiempo de mantenimiento y el tiempo de funcionamiento correcto (Sierra Fernández, y otros, 2018, p.40).

$$I = \frac{\text{tiempo en mantenimiento}}{\text{tiempo en mantenimiento} + \text{tiempo de funcionamiento correcto}} \quad (11)$$

2.7.4. *Gráficos de control*

Denominados también como gráficos de Shewhart los cuales se utilizan para vigilar la calidad de fabricación, además permiten identificar la necesidad de algún tipo de mantenimiento para corregir deficiencias en la producción, proporcionando una idea del proceso que se desarrolla detectando además de los fallos, las tendencias que existen (Sierra Fernández, y otros, 2018, p.43).

Este tipo de gráficos son una técnica muy útil en los casos que existan variaciones anormales las cuales ocasionan que las medias o los rangos vayan fuera de los límites de control; constituyendo una señal de que hay que realizar alguna acción con el fin de redirigir esa fuente de variabilidad

anormal, de esta forma la aplicación de dichos gráficos de manera sistemática es una excelente herramienta para realizar mantenimiento. Resaltan los puntos singulares cuando se reduce una anomalía de forma independiente o indican una secuencia que ayude a identificar un desajuste progresivo del equipo; por lo que este sistema de seguimiento tiene gran importancia cuando las leyes del equipo no son conocidas a priori, debido a que si bien es cierto se puede tener la existencia de una indicación documental o la experiencia en equipos similares anteriores, es necesario generar una experiencia propia para facilitar la toma de decisiones (Sierra Fernández, y otros, 2018, p.43).

El gráfico de control expone una magnitud de una característica obtenida por medio de un proceso de muestreo. El eje vertical muestra la magnitud, y el eje horizontal representa el tiempo o el número de muestra. La Línea Central (LC) representa el valor medio de la característica que se encuentra en estudio. Las Líneas Superior e Inferior de Control son límites los cuales, si son sobrepasados, establecen que el equipo ha perdido su funcionabilidad y que por tanto requiere de mantenimiento. Por consecuente es necesario realizar una investigación con el

objetivo de descubrir la causa de esta perturbación y llevar a cabo acciones correctivas para eliminarla. Mientras estos límites no sean traspasados, se presume que el sistema está en completo y correcto funcionamiento y no es requerido realizar ninguna acción correctiva. Los límites vienen fijados por el conocimiento del proceso, por necesidades del control de calidad (experiencia anterior) o forman parte del estudio que se realiza con este sistema como se aprecia en la Figura 2- 6 (Martínez Conde , 2019, p.3).

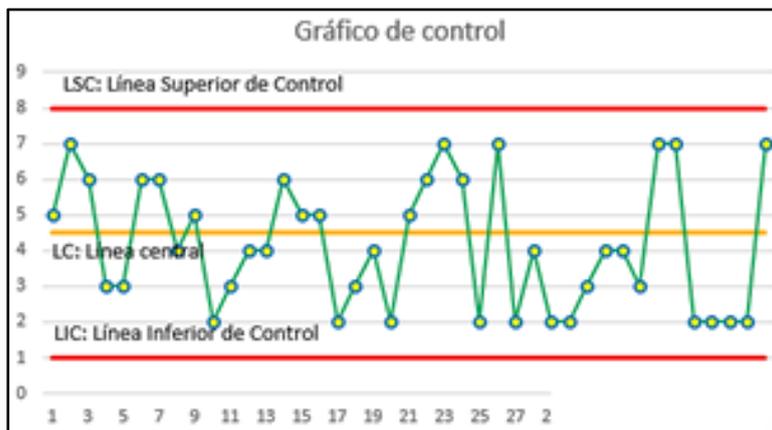


Figura 2- 6. Gráfico de Shewart

Fuente: Martínez Conde, <http://kailean.es/los-graficos-control-shewhart-principios-basicos/>

La ecuación 12 presenta el intervalo de confianza que constituyen los límites inferior y superior para una probabilidad determinada α (definida por el responsable 95%,98%, etc.) de que la variable medida se encuentre dentro de ese intervalo (Sierra Fernández, y otros, 2018, p.44).

$$P=(\alpha=95\%)=(\mu-k\sigma < X_{media} < \mu+k\sigma) \quad (12)$$

Donde:

$\mu-k\sigma$: Límite inferior de control

$\mu+k\sigma$: Límite superior de control

μ : Media de la población, esta puede ser conocida a priori o determinada a través de ensayos

k Coeficiente ligado al tipo de distribución (normal, t de student, etc.) y depende del grado de confiabilidad deseado y el tamaño de la muestra de control.

σ : Desviación típica de la población

2.8. Funciones de fiabilidad

La función de fiabilidad está regida a un tiempo t definido en el cual se tiene la supervivencia del equipo, por lo tanto, para estimar la probabilidad de funcionamiento es requerido determinar la distribución de la variable de vida de la máquina. Por lo que primero es necesario definir lo

que son las variables aleatorias discretas e histogramas de frecuencia, que permiten representar las funciones de supervivencia o fiabilidad como son función de densidad de probabilidad, función de distribución acumulada, función de supervivencia, función de riesgo y finalmente pruebas de bondad de ajuste (Carrión García, y otros, 2003, p.28).

2.8.1. Variables aleatorias discretas

Para definir lo que es una variable aleatoria discreta X es que, al conceptualizarla, ésta se define por los valores que toma y sus probabilidades mismas que tienen que sumar 1 (Quinela del Río, 2019, p.49).

La Tabla 2- 1 muestra la ley de probabilidad en la cual se verifica que $p_1 + \dots + p_n = 1$ (Quinela del Río, 2019, p.49).

Tabla 2- 1. Distribución o ley de probabilidad

X	P(X=xi)
x1	p1
x2	p2
⋮	⋮
xn	Pn

Fuente: Quinela del Río, <https://bookdown.org/aquintela/EBE/variables-aleatorias-discretas.html>

Al momento de elegir un número al azar entre 1 y N el valor que x observa se denomina variable uniforme discreta cuya notación se aprecia en la Tabla 2- 2 (Quinela del Río, 2019, p.50).

Tabla 2- 2. Notación de la variable uniforme discreta

X	P(X=xi)
1	1/N
2	1/N
⋮	⋮
N	1/N

Fuente: Quinela del Río, <https://bookdown.org/aquintela/EBE/variables-aleatorias-discretas.html>

2.8.2. Variable aleatoria continua

Se define como variable aleatoria continua a aquella que es capaz de asumir un número incontable de valores dentro de un rango establecido de valores, el rango de esta variable puede ser cualquier valor dentro del intervalo que define el diseñador (Devore, 2020, p.1).

2.8.3. *Histograma de frecuencia*

Se lo considera una herramienta útil que permite mostrar números difíciles de entender, en tal forma que se establece una imagen ordenada y comprensible. Básicamente se trata de una representación gráfica en forma de barras representando la distribución de un conjunto de datos exponiendo un esquema de números, variables y cifras estableciendo orden con claridad (Pacheco, 2020, p.1).

Las características de un histograma se presentan a continuación.

- Muestra la distribución de un conjunto de datos (Pacheco, 2020, p.1).
- Grafica de barras verticales (Pacheco, 2020, p.1).
- Muestra una barra pegada a otra barra, sin espacio entre las mismas (Pacheco, 2020, p.1).
- Cada barra constituye un subconjunto de los datos (Pacheco, 2020, p.1).
- Figura la acumulación o tendencia, variabilidad o dispersión y distribución de una muestra (Pacheco, 2020, p.1).
- Se usa para representar variables continuas y variables discretas (Pacheco, 2020, p.1).
- Los datos se agrupan en clases, estos son intervalos de un mismo tamaño (Pacheco, 2020, p.1).

Existen varios tipos de histogramas entre los cuales se tienen histogramas de barras simples, de barras compuestas, barras agrupadas, polígono de frecuencia y ojiva porcentual (Pacheco, 2020, p.1).

2.8.3.1. *Histogramas de barras simples*

Son aquellos que representan una frecuencia simple ya sea absoluta o relativa, a través de la altura definida de la barra misma que es proporcional a la frecuencia de la clase que representa (Pacheco, 2020, p.3). En la Figura 2- 7 se puede apreciar este tipo de histograma.

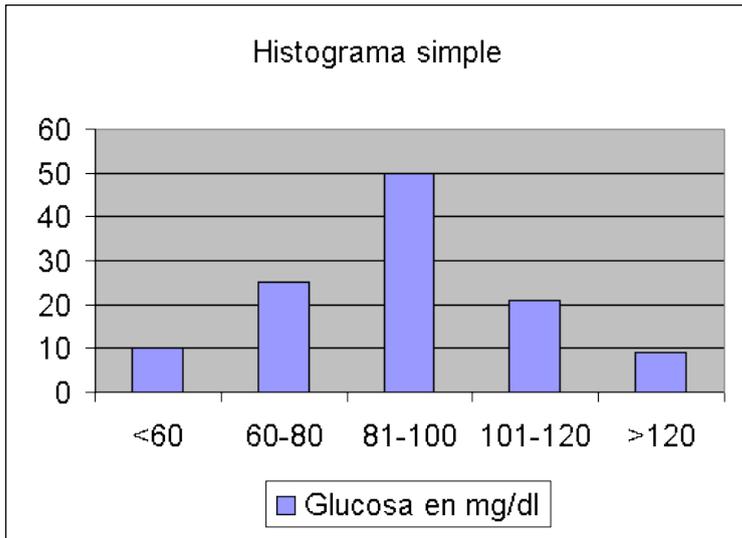


Figura 2- 7. Histograma de barras simple

Fuente: Hospital Universitario Ramón y Cajal, http://www.hrc.es/bioest/Ejemplos_histo.html

2.8.3.2. Histograma de barras compuestas

Es usado para la representación de 2 variables que se presentan de acuerdo a la frecuencia simple de la modalidad variable y altura proporcional a la anterior como se muestra en la Figura 2- 8 (Pacheco, 2020, p.3).

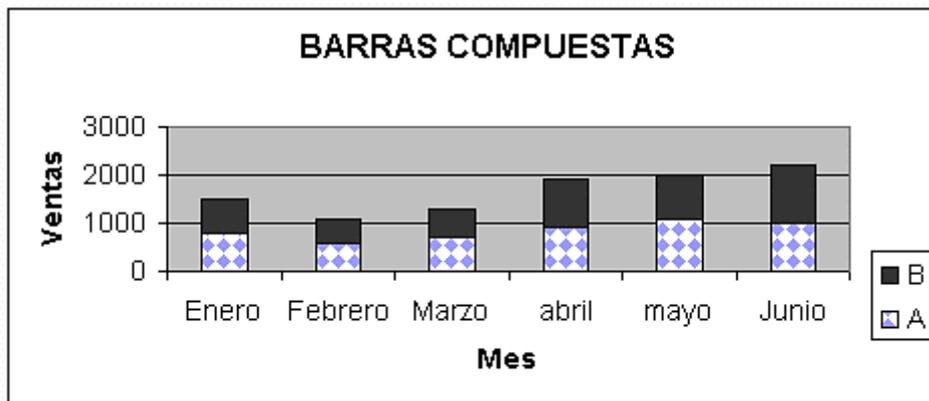


Figura 2- 8. Histograma de barras compuestas

Fuente: Hospital Universitario Ramón y Cajal, http://www.hrc.es/bioest/Ejemplos_histo.html

2.8.3.3. Histograma de barras agrupadas

Muestra la información de dos variables en donde por medio de un conjunto de barras se representan las diferentes modalidades como se aprecia en la Figura 2- 9 (Pacheco, 2020, p.4).

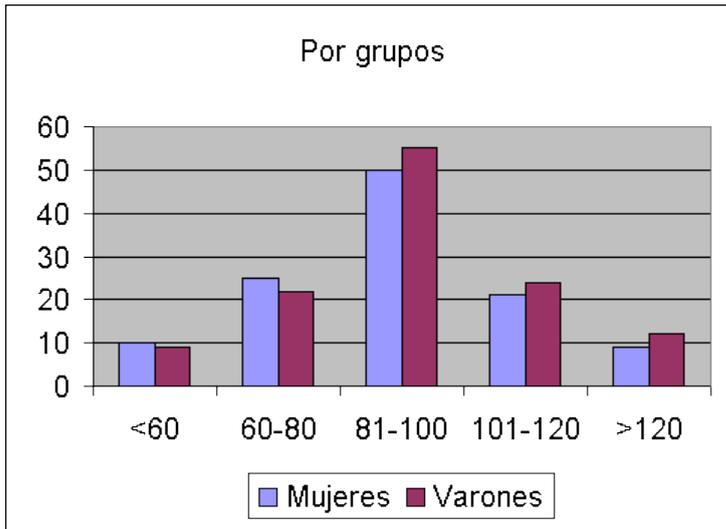


Figura 2- 9. Histograma de barras agrupadas

Fuente: Hospital Universitario Ramón y Cajal, http://www.hrc.es/bioest/Ejemplos_histo.html

2.8.3.4. Polígono de frecuencia

Consiste en una representación gráfica con líneas que muestra la frecuencia absoluta de todos los valores en distribución en el cual, se aprecia que la altura de punto coligado al valor de una variable es proporcional a la asiduidad de dicho valor; la Figura 2- 10 muestra esta definición (Pacheco, 2020, p.4).

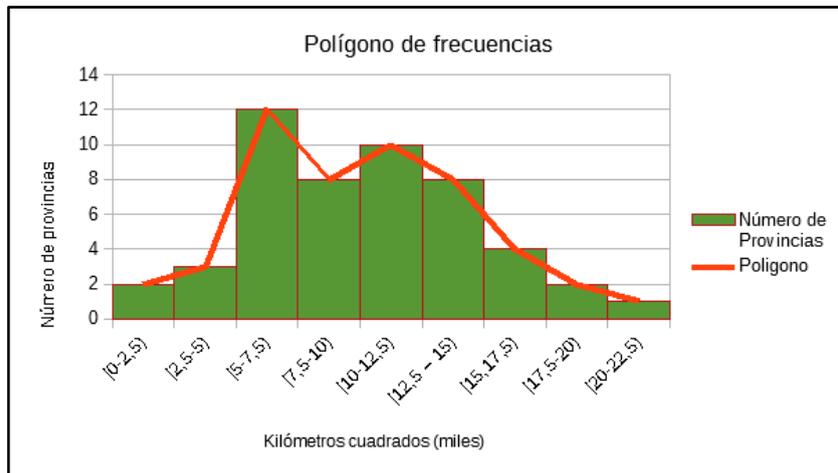


Figura 2- 10. Polígono de frecuencia

Fuente: Hospital Universitario Ramón y Cajal, http://www.hrc.es/bioest/Ejemplos_histo.html

2.8.3.5. Ojiva porcentual

Se trata de una representación gráfica de tipo acumulativa, se utiliza cuando se requiere presentar la clase porcentual de cada uno de los valores en la distribución de frecuencias; como se observa en la Figura 2- 11 (Pacheco, 2020, p.5).

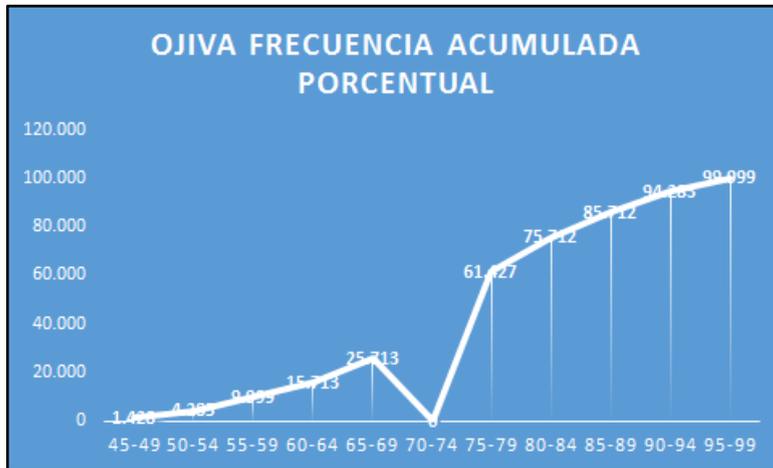


Figura 2- 11. Ojiva porcentual

Fuente: Hospital Universitario Ramón y Cajal, http://www.hrc.es/bioest/Ejemplos_histo.html

2.8.4. Función de densidad de probabilidad $f(t)$

Al ser X una variable aleatoria continua, la función de densidad de probabilidad de esta variable consiste en una función $f(x)$ tal que para dos números cualesquiera a y b con $a \leq b$, la probabilidad de que X tenga un valor en el intervalo $[a, b]$ es el área sobre este intervalo y debajo la gráfica de la función de densidad que se muestra en la ecuación 13 y cuya conceptualización se muestra en la (Devore, 2020, p.2).

$$P(a \leq X \leq b) = \int_b^a f(x)dx \quad (13)$$

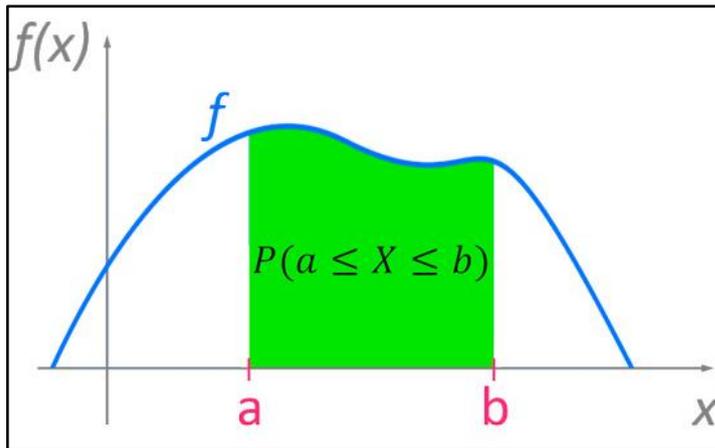


Figura 2- 12. Curva de densidad

Fuente: Matemovil, <https://matemovil.com/funcion-de-densidad-de-probabilidad/>

Cabe recalcar que la función de probabilidad de una variable aleatoria continua siempre cumplirá con las siguientes condiciones; $f(x) \geq 0$, $\int_{-\infty}^{\infty} f(x)dx = 1$ =área bajo toda la gráfica de $f(x)$ (Devore, 2020, p.2).

Una propiedad importante en la función de probabilidad de una variable aleatoria continua es calcular la probabilidad de que la variable aleatoria sea igual a un valor puntual c ; cuya probabilidad se calcula mediante el área bajo la curva pero el área bajo una curva de densidad situada sobre cualquier valor único es 0, por lo que el hecho de que $P(X = c) = 0$ cuando X es continua nos permite afirmar que la probabilidad de que X quede en algún intervalo entre a y b no depende de su límite inferior o superior está incluido en el cálculo de la probabilidad que se muestra en la ecuación 14 (Devore, 2020, p.3).

$$P(a \leq X \leq b) = P(a < X < b) = P(a \leq X < b) = P(a < X \leq b) \quad (14)$$

2.8.5. Función de distribución acumulada $F(t)$

La función de distribución acumulativa define la probabilidad que tiene una variable aleatoria para ser menor o igual que un valor dado y su fórmula se explica en la ecuación 15 (Miller, y otros, 2019, p.1).

$$F(x) = P(X \leq x) \quad (15)$$

Es importante tener en cuenta las propiedades de esta función.

- Los valores de $F(x)$ se encuentran siempre en este intervalo: $0 \leq F(x) \leq 1$ (Miller, y otros, 2019,

p.1).

- $F(x)$ no es una función decreciente (Miller, y otros, 2019, p.1).
- Debe cumplir que $P(a < X \leq b) = F(b) - F(a)$ (Miller, y otros, 2019, p.1).

La muestra la representación gráfica de esta función.

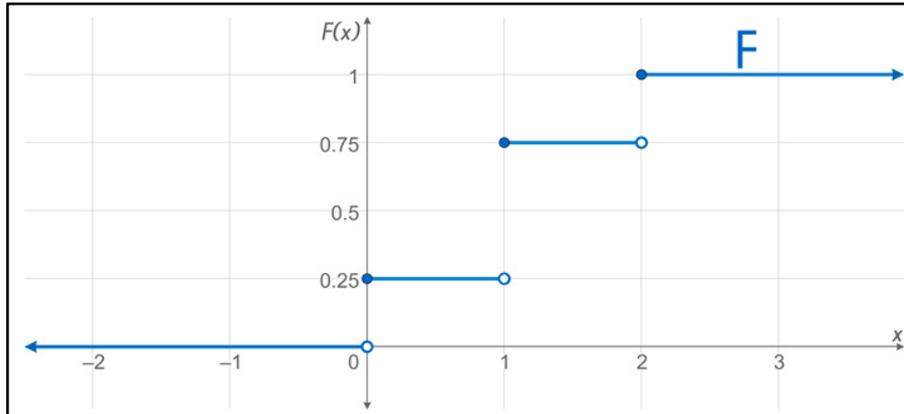


Figura 2- 13. Función de distribución acumulada

Fuente: Matemovil, <https://matemovil.com/funcion-de-distribucion-acumulativa-de-una-variable-aleatoria-discreta/>

2.8.6. Función de supervivencia $S(t)$

Se utiliza para resumir y analizar los tiempos de vida, puede ser calculada en cada instante y cuantifica la probabilidad de que un individuo sobreviva el mismo (Gómez y otros, 2004, pp.2-8). En otras palabras, esta función es utilizada para representar la probabilidad de que un individuo sobreviva o no experimente una falla en un tiempo t definido, la ecuación 16 representa esta definición (Sociedad Colombiana de Cardiología y Cirugía Cardiovascular, 2017, p.12).

$$S(t) = P(T > t) \quad (16)$$

En base a esta definición se establece la ecuación 17 de la cual se entiende como $F(t)$ como la función de distribución acumulada, a partir de la cual se deduce la ecuación 18 (Sociedad Colombiana de Cardiología y Cirugía Cardiovascular, 2017, p.12).

$$S(t) = 1 - F(t) \quad (17)$$

$$S(0) = 1, \quad S(t) = 0 \text{ si } t \rightarrow \infty \quad S(t_1) \geq S(t_2) \quad \text{si } t_1 \geq t_2 \quad (18)$$

Dado el caso de que T sea continua con función de densidad $f(t)$, se maneja la ecuación 19 cuya gráfica se muestra en la Figura 2- 14 (Sociedad Colombiana de Cardiología y Cirugía Cardiovascular, 2017, p.13).

$$S(t)=P(T>t)=\int_t^{\infty} f(u)du \quad (19)$$

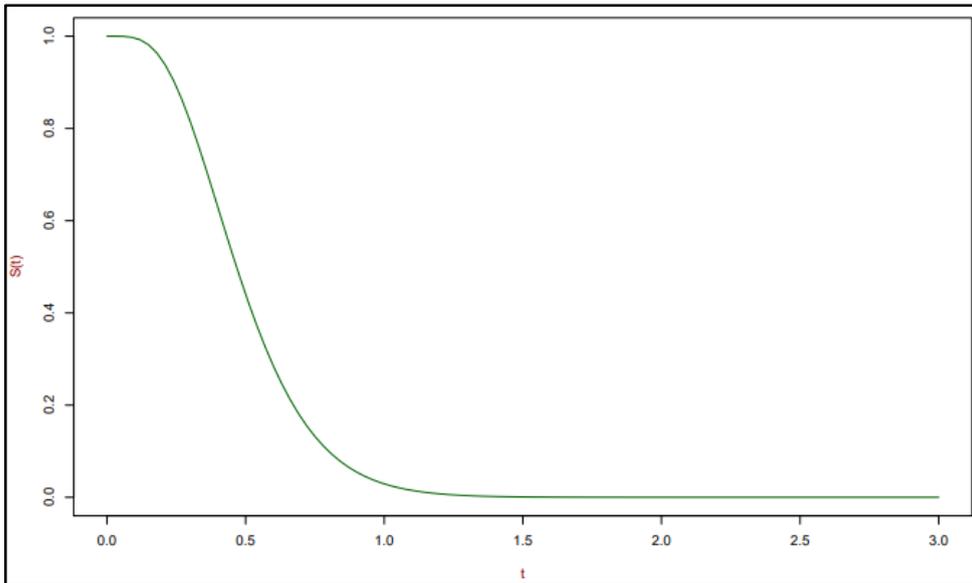


Figura 2- 14. Forma típica de una función de supervivencia

Fuente: Sociedad Colombiana de Cardiología y Cirugía Cardiovascular, <https://scc.org.co/wp-content/uploads/2017/>

Cuando T es discreta se hace uso la función de masa de probabilidad que se muestra 20 se desarrolla la función de supervivencia de la ecuación 21 y cuya gráfica se muestra en la Figura 2- 15 (Sociedad Colombiana de Cardiología y Cirugía Cardiovascular, 2017, p.13).

$$f(t_j)=P(T>t), \quad j=1,2,3,\dots \text{ y } t_1<t_2<\dots \quad (20)$$

$$S(t)=P(T\geq t)=\sum_{t_j \geq t} f(t_j) \quad (21)$$

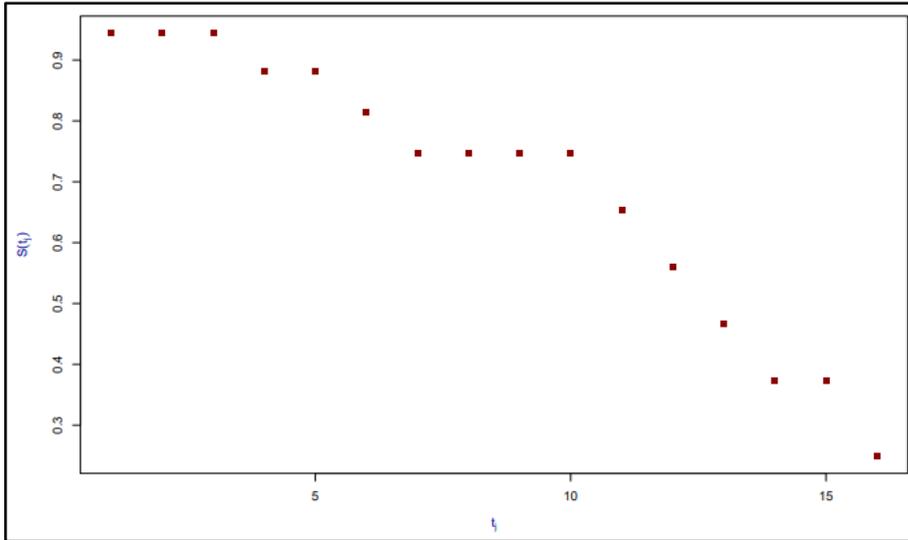


Figura 2- 15. Supervivencia discreta

Fuente: Sociedad Colombiana de Cardiología y Cirugía Cardiovascular, <https://sec.org.co/wp-content/uploads/2017/>

2.8.7. Función de riesgo $\lambda(t)$

Esta función determina la tasa instantánea de falla al tiempo $T = t$, ya que el equipo ha sobrevivido un instante antes de t , y se define según la ecuación 22 (Sociedad Colombiana de Cardiología y Cirugía Cardiovascular, 2017, p.15).

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P(t < T \leq t + \Delta t | T > t)}{\Delta t} \quad (22)$$

Mientras que para el caso discreto se utiliza la ecuación 23.

$$\lambda(t_j) = P(T = t_j | T \geq t_j), \quad j = 1, 2, \dots \quad (23)$$

Cuando el caso es continuo si $\Delta t \approx 0$ entonces surge la ecuación 24.

$$\lambda(t) * \Delta t \approx P(t < T \leq t + \Delta t | T > t) \quad (24)$$

En la ecuación 24 se muestra que es aproximadamente la probabilidad de fallar en el intervalo $(t, t + \Delta t]$, puesto que no ha fallado en el tiempo t . Se interpreta como medida de intensidad de falla al tiempo t , o una medida de falla potencial al tiempo t . Cabe recalcar como característica importante es que esta función sirve como guía para un modelo paramétrico durante el tiempo de supervivencia. El investigador al tener una idea de cómo se comporta el riesgo de falla en la población bajo estudio, el mismo que puede intentar asociar con la forma de alguna función de

riesgo paramétrica (Sociedad Colombiana de Cardiología y Cirugía Cardiovascular, 2017, p.15).

La función de riesgo puede presentar diferentes formas como se muestra en la

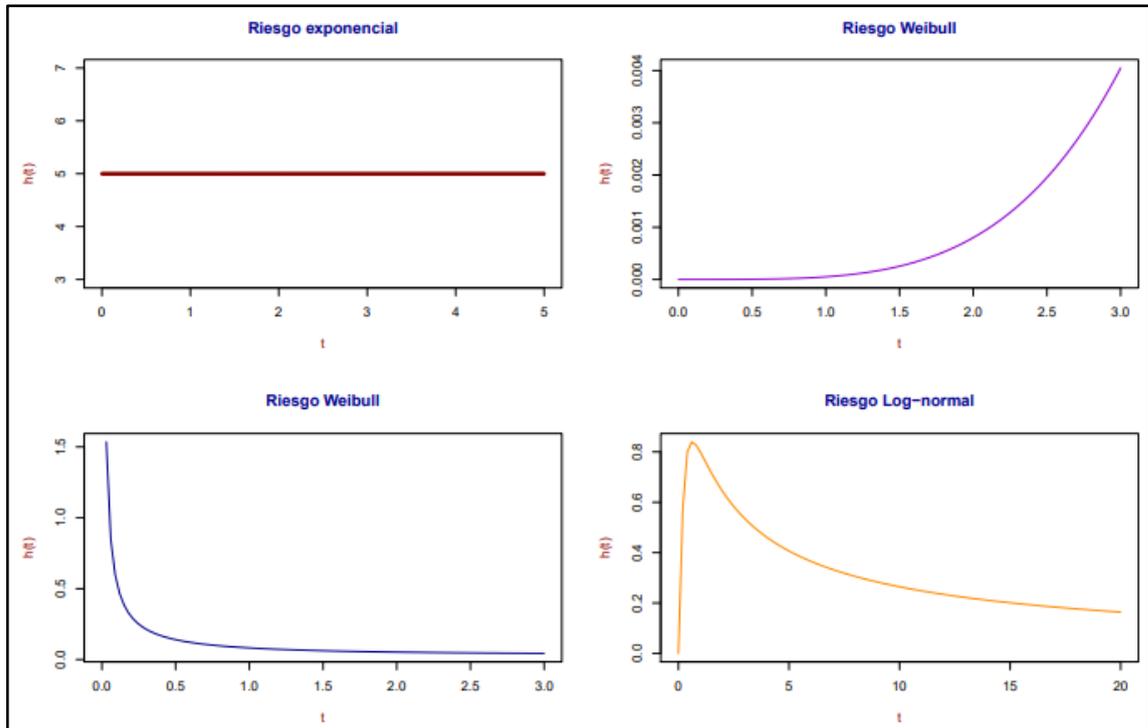


Figura 2- 16. Formas de la curva de la función de riesgo

Fuente: Sociedad Colombiana de Cardiología y Cirugía Cardiovascular, <https://scc.org.co/wp-content/uploads/2017/>

2.9. Distribución de probabilidad

Es un modo estándar de comportamiento que presenta una variable aleatoria que debido a su frecuencia se presenta como un modelo. Es así como, en este apartado se presentan las principales distribuciones utilizadas en la fiabilidad como son la normal, lognormal, exponencial, gamma y de Weibull (Carrión García, y otros, 2003 p. 20).

2.9.1. Distribución normal

Se trata de una distribución continua que está determinada en toda la recta real y que mantiene una función de densidad dada por la ecuación 25 (Carrión García, y otros, 2003 p. 20).

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (25)$$

En donde:

μ : es la media de la variable

σ^2 : varianza de la variable

De esta forma es que se entiende que $x \equiv N(m, \sigma)$.

La función de densidad de esta distribución se presenta en la Figura 2- 17 misma que muestra la forma de una campana de Gauss, ésta tiene una característica de no tener primitiva, es por esta razón que el cálculo de probabilidades utilizando esta distribución requiere realizar una integración numérica como se aprecia en la ecuación 26 o el manejo de datos a través de tablas de normal tipificada como se aprecia en el anexo A en la cual se aprecia la tipificación para una normal $N(0,1)$ (Carrión García, y otros, 2003 pp. 20-21).

$$f(x) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} dx \quad (26)$$

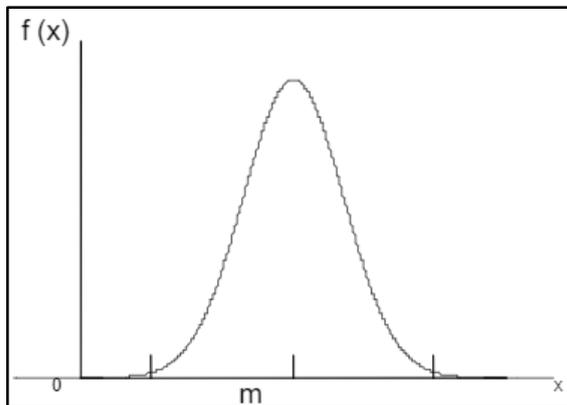


Figura 2- 17. Campana de Gauss

Fuente: Carrión García, y otros, https://www.researchgate.net/publication/313141291_INTRODUCCION_A_LA_FIABILIDAD

En caso de que se requiera definir la probabilidad de que el equipo pueda fallar se establece la ecuación 27 que permite conocer esta información (Carrión García, y otros, 2003 p. 21).

$$F(t) = N\left(\frac{t-u}{\sigma}\right) \quad (27)$$

De la misma manera que se presenta la probabilidad de fallo se determina la probabilidad de no fallo del equipo utilizando como referencia la ecuación 27 para obtener la ecuación 28 (Carrión García, y otros, 2003 p. 21).

$$R(t) = 1 - F(t) \quad (28)$$

La tasa de fallo de esta distribución se calcula mediante la ecuación 29.

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (29)$$

Es considerada una distribución normal simétrica cuando el valor central es la media m , está caracterizada por poseer un área del 68% en las dos desviaciones típicas centrales (entre $m-\sigma$ y $m+\sigma$), un área del 95% en las cuatro desviaciones típicas centrales (entre $m-2\sigma$ y $m+2\sigma$) y un área del 99,73% en las seis desviaciones típicas centrales (entre $m-3\sigma$ y $m+3\sigma$), datos que se obtienen con la tabla de distribución (Carrión García, y otros, 2003 p. 22). La Figura 2- 18 muestra los porcentajes de probabilidad de esta distribución.

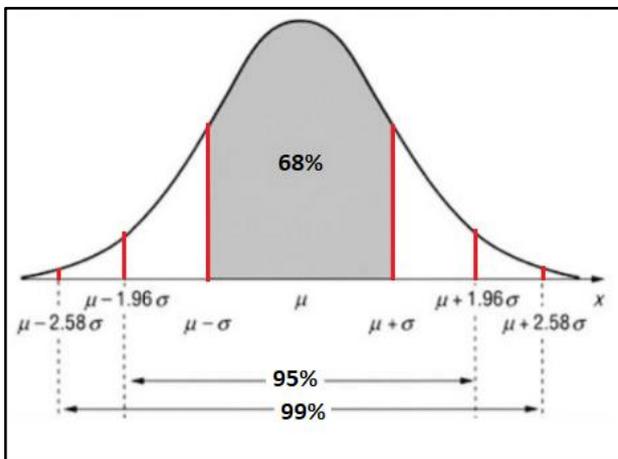


Figura 2- 18. Áreas de probabilidad de la distribución normal

Fuente: Carrión García y otros, https://www.researchgate.net/publication/313141291_INTRODUCCION_A_LA_FIABILIDAD

2.9.2. Distribución lognormal

Una distribución lognormal se obtiene si los logaritmos de una variable se representan a través de una distribución normal; las variaciones de fiabilidad de una misma clase de componentes técnicos son simbolizadas considerando una tasa de fallos aleatoria. Se usa cuando las desviaciones a partir del valor modelo están conformadas por porcentajes o factores más que por valores absolutos; la distribución lognormal tiene dos parámetros m^* (media aritmética del logaritmo de los datos o tasa de fallos) y σ (desviación estándar del logaritmo de los datos o tasa de fallos) (Tamborero del Pino, y otros, 2004 p. 2).

Esta distribución presenta las siguientes propiedades:

- Determina a valores de la variable < 0 , la probabilidad 0, ajustando las tasas y probabilidades de fallo para que de esta forma sólo puedan ser positivas (Tamborero del Pino,

y otros, 2004 p. 2).

- Al depender de dos parámetros, según veremos, se ajusta bien a un gran número de distribuciones empíricas (Tamborero del Pino, y otros, 2004 p. 3).
- Es ideal para parámetros que a su vez resultan ser producto de numerosas cantidades aleatorias (Tamborero del Pino, y otros, 2004 p. 3).
- La media en la distribución lognormal es mayor que su mediana, pues se da más importancia a los valores grandes de las tasas de fallo que una distribución normal con los mismos percentiles del 5% y 50% tendiendo, por tanto, a ser pesimista; esta última propiedad se observa en la Figura 2- 19 (Tamborero del Pino, y otros, 2004 p. 4).

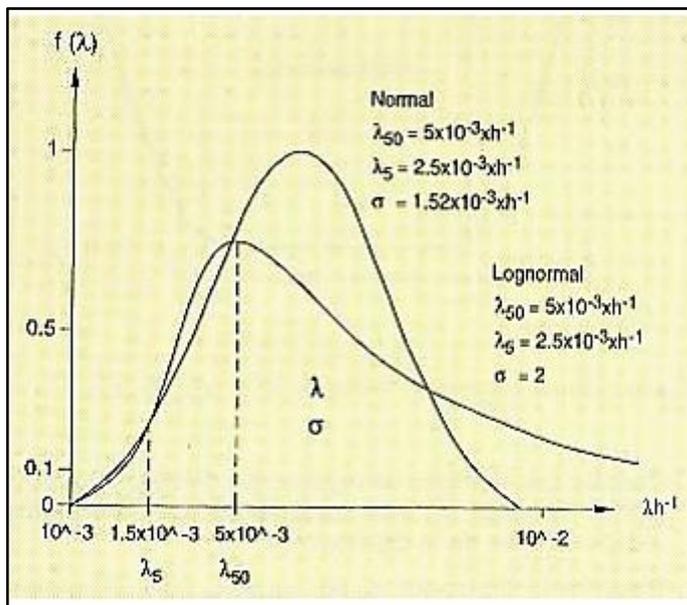


Figura 2- 19. Comparación entre una distribución normal y una lognormal

Fuente: Tamborero del Pino y otros, https://app.mapfre.com/documentacion/pt/catalogo_imagenes/grupo.do?path=1031811

La función de distribución normal se calcula en base al tiempo de funcionamiento hasta que ocurra una falla como se observa en la ecuación 30 (Tamborero del Pino, y otros, 2004 p. 4).

$$Y = \ln(\text{TBF}) \quad (30)$$

Donde:

TBF: tiempo de funcionamiento hasta que ocurra una falla y se calcula mediante la ecuación 31.

$$\text{TBF} = \text{Fecha y hora de la falla} - \text{Fecha y hora de arranque del equipo} \quad (31)$$

Para obtener la función de densidad es importante obtener previamente los valores de la media y la desviación estándar de la función normal como se muestra en la ecuación 32 y 33

respectivamente (Tamborero del Pino, y otros, 2004 p. 4).

$$\mu = \frac{\sum_0^i Y_i}{i} \quad (32)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_0^i |Y_i - \mu|^2}{N}} \quad (33)$$

Con los datos de las ecuaciones anteriormente presentados se obtiene la función de densidad de la distribución normal, misma que se muestra en la ecuación 34 (Tamborero del Pino, y otros, 2004 p. 4).

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} * e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln(t)-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad (34)$$

Existe una probabilidad de que el equipo falle por lo que es necesario calcular este valor con la ecuación 35 (Tamborero del Pino, y otros, 2004 p. 5).

$$F(t) = N\left(\frac{\ln(t)-\mu}{\sigma}\right) \quad (35)$$

La probabilidad de que el equipo no falle se calcula mediante la ecuación 28, con la cual se relaciona con la probabilidad de fallo. La tasa de ocurrencia de fallos se describe de la forma en que esta la ecuación 29.

2.9.3. *Distribución exponencial*

Esta distribución se interesa en saber el tiempo en que sucede un determinado evento teniendo en cuenta que se utiliza para modelar tiempos de supervivencia. Se caracteriza por ser una distribución del tiempo entre sucesos consecutivos por un proceso de Poisson, es decir cuando una variable aleatoria continua no negativa sigue una distribución exponencial su función de densidad se presenta de la forma que se muestra en la ecuación 36 (Benítez Morales , 2019, pp.7-9).

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (36)$$

La probabilidad de que el equipo pueda fallar se presenta de la forma de la ecuación 37 (Carrión

García, y otros, 2003 p. 23).

$$F(t)=e^{-\lambda t} \quad (37)$$

El complemento de la función de probabilidad de fallo es la de probabilidad de no fallo la cual se muestra en la ecuación 28. Para obtener la tasa de fallo se realiza una relación entre las probabilidades de fallo y no fallo como se aprecia en la ecuación 29 (Carrión García, y otros, 2003 p. 23).

Debido a la existencia de una ecuación explícita para definir la distribución exponencial, la variable que se trabaja no necesita de una tabla, pues, se trabaja calculando el valor de la función de distribución, con dicho valor se obtiene probabilidad de cualquier intervalo de forma sencilla. La forma que presenta la función de densidad se aprecia en la Figura 2- 20. Entre las características que presenta la distribución se tiene que la probabilidad de que la variable supere su valor medio es del 36.79%, por tratarse de una distribución asimétrica; se habla de una distribución sin memoria cuando la probabilidad de que la variable tome valores en un cierto intervalo únicamente depende de la longitud del intervalo, no de punto inicial del mismo (Carrión García, y otros, 2003 p. 23).

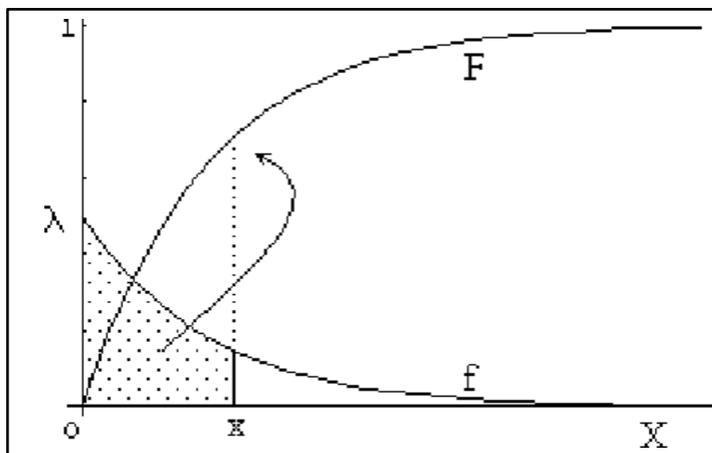


Figura 2- 20. Función de distribución F como área por debajo de la función de densidad

Fuente: Benítez Morales, http://cidecame.uaeh.edu.mx/lcc/mapa/PROYECTO/libro19/52distribucion_exponencial

2.9.4. Distribución gamma

La distribución gamma se origina en la familia de curvas sesgadas presentadas por Karl Pearson (Ku Moo, 2017 p. 32), consiste en una herramienta que permite modelar el comportamiento de variables aleatorias continuas de asimetría positiva; contiene dos parámetros positivos en su

ecuación (α) y (β) de los que depende su forma y alcance por la derecha, y también la función Gamma $\Gamma(\alpha)$, responsable de la convergencia de la distribución (Henriquez, 2017 p. 2).

Una de las ventajas de utilizar esta distribución es la facilidad de modelar formas de asimetría positiva desde las más puntiagudas y concentradas a las más dispersas y achatadas (Henriquez, 2017 p. 2).

El primer parámetro α ubica la máxima intensidad de probabilidad por lo que se nombra también como la norma de la distribución, cuando el valor que toma α es cercano a cero toma una forma muy similar al de la distribución exponencial, pero al ser valores más grandes el centro de la distribución se desplaza a la derecha, va adquiriendo la forma de una campana de Gauss con asimetría positiva. y se calcula mediante la ecuación 38 (Henriquez, 2017 p. 2).

$$\alpha = \frac{(n-1) \sum_{i=1}^n t^2}{n \sum_{i=1}^n (t-u)^2} \quad (38)$$

El segundo parámetro es β , el cual define la forma o alcance de esta asimetría positiva desplazando la densidad de probabilidad en la cola hacia la derecha. Cuando el valor de β es elevado la distribución acumula más densidad de probabilidad en el extremo derecho de la cola, siendo alargada con una dispersión de la probabilidad a través del plano; es denominada como escala. Cuando el valor de β es pequeño presenta una gráfica simétrica y concentrada, con un pico de densidad de probabilidad más elevado (Henriquez, 2017 p. 2). Su cálculo se muestra en la ecuación 39.

$$\beta = \frac{n \sum_{i=1}^n (t-u)^2}{(n-1) \sum_{i=1}^n t} \quad (39)$$

La función de densidad está diseñada en base a estos dos parámetros como se explicó con anterioridad por lo que en la ecuación 40 se puede observar dicha función (Henriquez, 2017 p. 3).

$$f(t) = \frac{\lambda}{(\alpha-1)!} * (\lambda t)^{\alpha-1} e^{-\lambda t} \quad (40)$$

La probabilidad de que el equipo falle se obtiene mediante la ecuación 41.

$$F(t) = 1 - \left(\sum_{k=1}^{\alpha} \frac{(\lambda t)^k e^{-\lambda t}}{k!} \right) \quad (41)$$

Para cuantificar la probabilidad de no fallo se aplica la ecuación 28 y para la tasa de fallo la ecuación 29.

2.9.5. Distribución de Weibull

Es uno de los modelos que son más ocupados en problemas con tiempos de vida dentro de la fiabilidad industrial aportando una mayor precisión. Tiene la facilidad de ser utilizada con dos y tres parámetros, éste último el tiempo T_0 en el que empieza la función, es decir que a partir de un valor T_0 cambia de forma importante el comportamiento del equipo (Sierra Fernández, y otros, 2019, p. 37).

Hay que tener en cuenta que la función de distribución de Weibull permite modelar las características de vida de los componentes y partes de un sistema o equipo; en otras palabras, modela la fatiga y los ciclos de fallos con gran flexibilidad adecuándose a varias situaciones tales como: sistemas que fallen cuando lo hace el elemento más débil, elementos que se desgastan hasta consumirse, fatiga de materiales y tensiones de rotura (Sierra Fernández, y otros, 2019, p. 38).

Para calcular la función de densidad es necesario obtener el valor de las medianas en base al sistema de ecuaciones que se muestra a continuación (Sierra Fernández, y otros, 2019, p. 39).

$$\begin{cases} \text{mediana} = \frac{i}{N+1} & \text{si } N < 50 \\ \text{mediana} = \frac{i}{N} & \text{si } N \geq 50 \end{cases} \quad (42)$$

$$\begin{cases} \text{mediana} = \frac{i}{N+1} & \text{si } N < 50 \\ \text{mediana} = \frac{i}{N} & \text{si } N \geq 50 \end{cases} \quad (43)$$

Se obtiene el logaritmo del tiempo de funcionamiento hasta que ocurra una falla a través de la ecuación 30 y se la linealiza en el eje Y mediante la aplicación de la ecuación 44 (Sierra Fernández, y otros, 2019, p. 39).

$$Y = \ln \left(\ln \left(\frac{1}{1 - \text{mediana}} \right) \right) \quad (44)$$

Para poder linealizar la función logarítmica en el eje X se ejecuta la ecuación 30. Con estos valores se procede a obtener el punto de intersección (X, Y) de la ecuación. El parámetro α de

escalamiento o la vida característica de la función de densidad se calcula a través de la ecuación 45 (Sierra Fernández, y otros, 2019, p. 39).

$$\alpha = e^{-\left(\frac{\text{punto de intersección}}{\beta}\right)} \quad (45)$$

El segundo parámetro que define la forma de la función se obtiene por medio del uso de la simbología matemática de la pendiente la cual se muestra en la ecuación 46 (Sierra Fernández, y otros, 2019, p. 39).

$$\beta = \frac{y1 - y0}{x1 - x0} \quad (46)$$

El tiempo medio entre fallos para esta distribución se calcula mediante la ecuación 47 (Sierra Fernández, y otros, 2019, p. 39).

$$u = \theta \Gamma(i+1) \quad (47)$$

La función de densidad con la distribución de Weibull para dos parámetros y variable (t) es la expresión que se muestra en la ecuación 48 (Sierra Fernández, y otros, 2019, p. 40).

$$f(t) = \frac{\beta(t-\alpha)^{\beta-1}}{\theta^\beta} * e^{-\left(\frac{t-\alpha}{\theta}\right)^\beta} \quad (48)$$

La probabilidad de que el equipo falle se calcula con la ecuación 49 (Sierra Fernández, y otros, 2019, p. 40).

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\alpha}{\theta}\right)^\beta} \quad (49)$$

Para cuantificar la probabilidad de no fallo se aplica la ecuación 28 y para la tasa de fallo la ecuación 29.

La forma de la función de Weibull se muestra en la Figura 2- 21 (Sierra Fernández, y otros, 2019, p. 40).

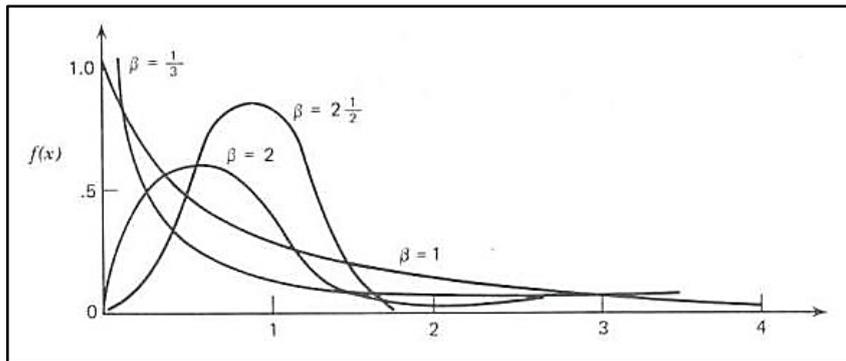


Figura 2- 21. Función de distribución de Weibull.

Fuente: Sierra Fernández, <https://ocw.unican.es/pluginfile.php/2489/course/section/2495/Mantenimiento%204.pdf>

2.10. Normativa

Dentro del mantenimiento se manejan normas para realizar los procesos es por ello que, es de suma importancia utilizar la normativa que permita sustentar el trabajo que se realiza durante las diferentes etapas entre ellas la elaboración y tratamiento de la documentación técnica, además de entender los indicadores del mantenimiento. Dichos temas se encuentran dentro de las normas 13460 y 15341 respectivamente.

2.10.1. Norma UNE-EN 13460

Se trata de una norma de mantenimiento en la cual se explica de manera específica la documentación técnica de un activo, adicional a esto se incluyen los datos a establecer en la fase operativa de un equipo con fin es suministrar información para apoyar a su mantenimiento (UNE-EN 13460). Los datos para la documentación técnica de acuerdo con esta normativa se presentan en el anexo B.

2.10.2. Norma UNE-EN 15341

Consiste en una normativa que proporciona una serie de indicadores clave que permitan apoyar en la gestión de mantenimiento y en el empleo de los activos técnicos de una manera competitiva. Dichos indicadores están orientados a medir el rendimiento del mantenimiento dentro de los factores que lo influyen entre ellos los aspectos económicos, técnicos y organizativos, con el objetivo de evaluar para mejorar la eficiencia y la eficacia consiguiendo una excelencia en el mantenimiento de los activos (UNE-EN 15341). En el anexo C se puede apreciar los indicadores que se deben tomar en cuenta.

2.11. Pruebas de bondad de ajuste

Se tratan de pruebas de hipótesis que permiten verificar si los datos observados en una muestra aleatoria ajustándose a un nivel de significancia a una determinada distribución de probabilidad. Se presenta una hipótesis nula H_0 define la distribución propuesta; mientras que la hipótesis alternativa H_1 indica que la variable de distribución no se ajusta a la distribución propuesta. De esta forma se clasifican los datos en k clases, contabilizando el número de observaciones en cada clase, luego se compara la frecuencia observada en cada clase con la frecuencia que se esperaría obtener en esa categoría, en el caso que la hipótesis nula sea correcta (Valdez, 2016, pp.1-2).

Las pruebas de bondad de ajuste comparan la frecuencia observada con la frecuencia esperada en cada clase como se observa en la Figura 2- 22 cuya función se establece en la ecuación 50 (Valdez, 2016, p.2).

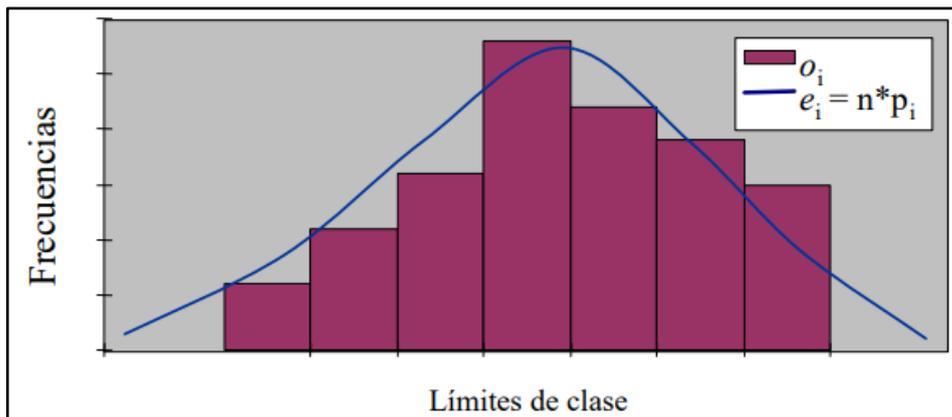


Figura 2- 22. Pruebas de bondad de ajuste

Fuente: Valdez, <http://dcb.fi-c.unam.mx/profesores/irene/Notas/PruebaBondad.pdf>

$e_i = n * p_i$, donde:

n = tamaño de la muestra,

p_i = área bajo la curva $f_0(x)$ en el intervalo $\text{limsup}_i - \text{liminf}_i$ de la clase i

Si $f_0(x)$ es continua, entonces:

$$p_i = \int_{\text{liminf}_i}^{\text{limsup}_i} f_0(x) dx \quad (50)$$

2.11.1. Prueba de chi cuadrado

Se basa en la ecuación 51 en la cual se muestra $k-r-1$ grados de libertad. Si las diferencias o_i-e_i son pequeñas, el valor del estadístico es pequeño, por el contrario, si esas diferencias son grandes, el valor del estadístico es grande, por lo tanto, la región de rechazo de la hipótesis nula se ubica en la cola superior de la distribución chi-cuadrada al nivel de significancia α (Valdez, 2016, p.4).

$$Y = \sum_{i=1}^k \frac{(o_i - e_i)^2}{e_i} \quad (51)$$

Para realizar esta prueba se recomienda seguir las siguientes recomendaciones.

- La muestra deberá ser moderadamente grande, pues si es muy pequeña no se podrán formar el número suficiente de clases mientras que si es muy grande se rechazará casi con seguridad, por lo que se sugiere que n sea aproximadamente iguala 5 veces el número de clases (Valdez, 2016, p.5).
- Se recomienda clasificar la muestra en un mínimo de 5 clases y máximo de 10 (Valdez, 2016, p.5).
- Hacer que la frecuencia esperada o no sea menor que cinco mediante la combinación de clases vecinas teniendo en cuenta que para cada par de clases vecinas que se combinan el número de grados de libertad debe reducirse en uno (k es el número de clases efectivas en la tabla de frecuencias) (Valdez, 2016, p.5).
- Si $f_o(x)$ es continua:

Para la primera clase, calcular p_1 considerando el intervalo desde $-\infty$ hasta el límite superior de la clase (Valdez, 2016, p.5).

Para la última clase, calcular p_k considerando el intervalo desde el límite inferior de la clase hasta $+\infty$ (Valdez, 2016, p.5).

2.11.2. Prueba de Kolmogórov-Smirnov

Consiste en una prueba no paramétrica o de distribución libre, sirve para comprobar si los valores obtenidos siguen o no una distribución normal, en otras palabras, ayuda a medir la concordancia entre la distribución de un conjunto de valores y una distribución teórica específica por medio de un contraste para determinar si las observaciones podrían provenir de la distribución definida (Ruiz Mitjana, 2018, p.1).

Al tratarse de una prueba de bondad de ajuste plantea dos hipótesis que responde a la pregunta ¿la distribución muestral se ajusta a la poblacional? La primera es la hipótesis nula (H0) la cual establecerá que la distribución de frecuencias observada es consistente con la distribución teórica. La hipótesis alternativa (H1) que contrasta a la H0 establecerá que la distribución de frecuencias observada no es consistente con la distribución teórica (Ruiz Mitjana, 2018, p.1).

El estadístico de contraste se calcula a partir de la diferencia mayor entre las funciones de distribución teórica y la observada como se aprecia en la ecuación 52 (Ruiz Mitjana, 2018, p.1).

$$D = \sup_{1 < i < n} |\hat{F}_n(x_i) - F_0(x_i)| \quad (52)$$

Donde:

x_i : es el i -ésimo valor observado en la muestra

$\hat{F}_n(x_i)$: estimador de la probabilidad de observar valores menores o iguales que x_i .

$F_0(x_i)$: probabilidad de observar valores menores o iguales que x_i cuando H0 es cierta.

El valor tipificado de cada uno de los datos de los cuales se desea saber su normalidad se representa mediante la letra Z misma que se calcula con la ecuación 53 en la cual se utiliza la media de los datos (μ), cada uno de los datos de muestra (x_i) y finalmente la desviación estándar (σ) (Jiménez, 2019, p.2).

$$Z_i = \frac{(x_i - \mu)}{\sigma} \quad (53)$$

Se realiza un cálculo percentil representada por p_i en el que se evalúa el número de cada muestra (i) entre el tamaño de la muestra (N), dicha valoración se puede apreciar en la ecuación 54 (Jiménez, 2019, p.2).

$$p_i = \frac{i}{N} \quad (54)$$

Se calcula la probabilidad de Z_i ($F_0(x_i)$), a través de la distribución que se vaya a aplicar. Con este valor se procede a obtener el error mediante la aplicación de las ecuaciones 55 y 56 (Jiménez, 2019, p.2).

$$D^+ = \max_{1 \leq i \leq N} |P(z_i) - p_i| \quad (55)$$

$$D^- = \max_{1 \leq i \leq N} (|P(z_i) - p_i| - 1) \quad (56)$$

El -1 de la ecuación 31 hace referencia a la posición de la tabla, es decir, que se toma el valor anterior. El valor de la prueba de Kolmogorov- Smirnov se obtiene del valor máximo entre los dos calculados con las ecuaciones 55 y 56. Cabe recalcar que es necesario calcular el valor teórico de Kolmogorov- Smirnov utilizando la Tabla 2- 3 y la Tabla 2- 4 de las cuales se seleccionan los valores dependiendo la distribución utilizada y se aplica la ecuación 57.

$$D_\alpha = \frac{C_\alpha}{k(n)} \quad (57)$$

Tabla 2- 3. Valores de C_α de acuerdo con el nivel de significancia

Modelo	A		
	0,1	0,05	0,01
General	1,224	1,358	1,628
Normal	0,819	0,895	1,035
Exponencial	0,990	1,094	1,308
Weibull n=10	0,760	0,819	0,944
Weibull n=20	0,779	0,843	0,973
Weibull n=50	0,790	0,856	0,988
Weibull n= ∞	0,803	0,874	1,007

Fuente: Jiménez, https://www2.ulpgc.es/hege/almacen/download/5/5015/Complemento_3_Prueba_de_Bondad

Tabla 2- 4. Ecuaciones para el cálculo $k(n)$ de acuerdo con la distribución que se utiliza

Distribución que se contrasta	$k(n)$
General. Parámetros conocidos	$k(n) = \sqrt{n} + 0,12 + \frac{0,11}{\sqrt{n}}$
Normal	$k(n) = \sqrt{n} - 0,01 + \frac{0,85}{\sqrt{n}}$
Exponencial	$k(n) = \sqrt{n} + 0,12 + \frac{0,11}{\sqrt{n}}$
Weibull	$k(n) = \sqrt{n}$

Fuente: Jiménez, https://www2.ulpgc.es/hege/almacen/download/5/5015/Complemento_3_Prueba_de_Bondad

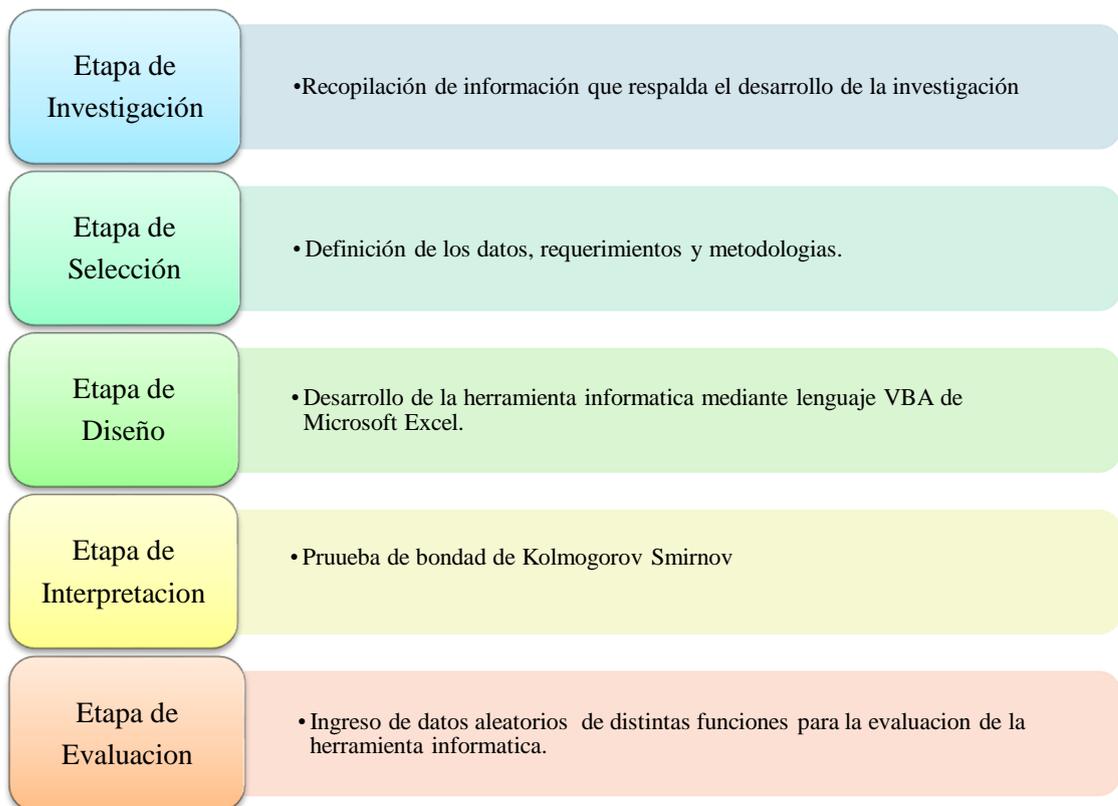
CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

El diseño metodológico concerniente al desarrollo de esta investigación se basa en el estudio descriptivo el cual mide, evalúa o recolecta datos sobre aspectos, dimensiones o componentes del fenómeno a investigar.

El diseño metodológico a desarrollar entra en la categoría descriptiva cuantitativa la su recolección de los datos para el presente estudio se toma de los registros históricos almacenado en el sistema de mantenimiento que posea la empresa o entidad a evaluar. El estudio tiene enfoque cuantitativo debido a que el análisis de los datos pretende medir y estimar comportamientos probabilísticos, en la Figura 3- 1 se muestra las etapas seguidas para el desarrollo del proyecto.

Figura 3- 1. Etapas para el desarrollo del proyecto.



Realizado por: Quito Kevin, 2021

3.1 Definición de los datos y documentos requeridos

Al tratarse de un análisis cuantitativo es necesario definir qué datos que son requeridos y de donde se los va a obtener como se puede observar en la Tabla 3- 1 los campos definidos permiten lograr obtener su información de los registros.

Tabla 3- 1. Definición de datos necesarios para el ingreso de un nuevo equipo u orden de trabajo

Nombre del dato	Descripción	Obtención del dato
Nombre del equipo	Descripción del ítem que se encuentra en la empresa	Sistema informático de mantenimiento / Plan de mantenimiento
Código	Código establecido para el equipo por parte de la empresa	Sistema informático de mantenimiento / Plan de mantenimiento
Marca	Marca establecida por el fabricante del equipo	Datos técnicos
Modelo	Modelo establecido por el fabricante del equipo	Datos técnicos
Área de la empresa	Área específica dentro de la empresa en donde se encuentra el equipo	Planos de la empresa
Línea de producción	Nombre de la línea de producción de la cual forma parte el equipo	Planos de la empresa
Fecha y hora de arranque del equipo	Fecha y hora en la cual en equipo empezó su función requerida	Sistema informático de mantenimiento / Plan de mantenimiento
Tiempo de funcionamiento mensual del equipo	Número de horas que el equipo va a trabajar mensualmente	Sistema informático de mantenimiento / Plan de mantenimiento
Número de orden de trabajo	Código establecido para la generación de una orden de trabajo	Orden de Trabajo
Tipo de orden de trabajo	Qué tipo de trabajo se va a realizar en el equipo	Orden de Trabajo
Fecha y hora de inicio de la orden de trabajo	Apertura de la orden de trabajo	Orden de Trabajo
Fecha y hora de fin de la orden de trabajo	Cierre de la orden de trabajo	Orden de Trabajo
Observación de la orden de trabajo	Qué proceso se ha realizado en el equipo	Orden de Trabajo
Tiempo administrativo de la orden de trabajo	Tiempo de aprobación de la orden de trabajo	Orden de Trabajo
Total horas de la orden de trabajo	Tiempo de la orden de trabajo	Orden de Trabajo

Realizado por: Quito Kevin, 2021

3.2 Datos para el cálculo de disponibilidad

Una vez establecidos los datos necesarios se puede proceder a establecer cada indicador con su fórmula establecida, así como se observa en la Tabla 3- 2 cada indicador será calculado mediante los registros obtenidos anteriormente.

Tabla 3- 2. Definición de datos requeridos para el cálculo de disponibilidad

Nombre del Dato	Descripción	Fórmula
#	Número de fallos ocurridos	Ninguna
CODIGO	Código del equipo	Ninguna Nota: valor a ingresar manualmente
TBF	Tiempo de funcionamiento hasta que ocurra una falla	TBF =Fecha y hora de la falla-Fecha y hora de arranque del equipo / tiempo que transcurre de una falla ocurrida hasta que ocurra una nueva falla Nota: valor a ingresar manualmente
TTR	Tiempo que se demora en reparar una falla	TTR = fecha y hora de arranque después del fallo ocurrido - fecha y hora de la falla ocurrido
TBF ACUMULADO	Tiempo en funcionamiento del equipo	TBF Acumulado = TBF1+TBF2+TBF3.....TBFn
TTR ACUMULADO	Tiempo fuera de funcionamiento del equipo	TTR Acumulado = TTR1+TTR2+TTR3.....TTRn
TMBF	Tiempo medio de funcionamiento del equipo	$TMBF = \frac{TBF}{\# \text{ de fallas}}$
TMTR	Tiempo medio fuera de funcionamiento del equipo	$TMTR = \frac{TTR}{\# \text{ de fallas}}$
TASA DE FALLOS	número total de fallas en un conjunto de equipos	$\lambda = \frac{\# \text{ de fallas}}{TBF}$
DISPONIBILIDAD	Porcentaje de que el equipo esté disponible	Disponibilidad = $\frac{TBF}{TBF+TTR} * 100$
INDISPONIBILIDAD	Porcentaje de que el equipo no esté disponible	Indisponibilidad = $\frac{TTR}{TBF+TTR} * 100$
MAX	Valor más alto de disponibilidad	MAX=MAX(valores de disponibilidad)
MIN	Valor más bajo de disponibilidad	MIN=MIN(valores de disponibilidad)
RANGO	Diferencia entre el máximo y mínimo	Rango=MAX-MIN
MEDIA	Promedio de disponibilidad	Media=PROMEDIO(valores de disponibilidad)
DESVES	Desviación estándar de disponibilidad	Desves=DESVES(valores de disponibilidad)
PROBABILIDAD	Probabilidad de que el equipo no falle	Ninguna
Z	Probabilidad según la campana de gauss	$Z = \frac{x-u}{\sigma}$
META	Límite superior de la gráfica de control	Meta=media+(Desves*Z)
LIMITE	Límite inferior de la gráfica de control	Limite= media-(Desves*Z)

Realizado por: Quito Kevin, 2021

3.3 Datos para el cálculo de la fiabilidad mediante la función normal

Para el obtener el valor de la fiabilidad a través de la función normal se procede a utilizar los

valores y ecuaciones definidas en la Tabla 3- 3.

Tabla 3- 3. Definición de datos necesarios para el cálculo de fiabilidad a través de la función normal

Nombre del Dato	Descripción	Fórmula
CODIGO	Código del equipo	Ninguna
TBF	Tiempo de funcionamiento hasta que ocurra una falla	TBF=Fecha y hora de la falla -Fecha y hora de arranque del equipo
# DE DATOS	Número de fallos ocurridos	Ninguna
MEDIA	Promedio de mi TBF	Media=PROMEDIO(valores de TBF)
DESVEST	Desviación estándar de mi TBF	Desves=DESVEST.M(valores de TBF)
f (t)	Función densidad de distribución normal	$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} * e^{-\frac{1}{2}(\frac{t-u}{\sigma})^2}$
F (t)	Probabilidad de que el equipo falle	$F(t) = N(\frac{t-u}{\sigma})$
R (t)	Probabilidad de que el equipo no falle	$R(t) = 1 - F(t)$
$\lambda(t)$	Tasa de ocurrencia de fallos	$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)}$

Realizado por: Quito Kevin, 2021

3.4 Datos para el cálculo de la fiabilidad mediante la función exponencial

Para el obtener el valor de la fiabilidad a través de la función exponencial se procede a utilizar los valores y ecuaciones definidas en la Tabla 3- 4.

Tabla 3- 4. Definición de datos necesarios para el cálculo de la fiabilidad mediante la función exponencial

Nombre del Dato	Descripción	Fórmula
CODIGO	Código del equipo	Ninguna
# DE DATOS	Número de fallos ocurridos	Ninguna
TBF total	Suma de todos los valore de TBF	$TBF\ total = TBF1 + TBF2 + TBF3 \dots TBFn$
TBF	Tiempo de funcionamiento hasta que ocurra una falla	TBF=Fecha y hora de la falla -Fecha y hora de arranque del equipo
Λ	número total de fallas en un conjunto de equipos	$\lambda = \frac{\# \text{ de datos}}{TBF\ total}$
f (t)	Función densidad de distribución exponencial	$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$
F (t)	Probabilidad de que el equipo falle	$F(t) = e^{-\lambda t}$
R (t)	Probabilidad de que el equipo no falle	$R(t) = 1 - F(t)$
$\lambda(t)$	Tasa de ocurrencia de fallos	$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)}$

Realizado por: Quito Kevin, 2021

3.5 Datos para el cálculo de la fiabilidad mediante la función Weibull

La fiabilidad a través del método de Weibull puede ser calculada utilizando los datos de la Tabla 3- 5.

Tabla 3- 5. Definición de datos necesarios para el cálculo de fiabilidad con la función de Weibull

Nombre del Dato	Descripción	Fórmula
CODIGO	Código del equipo	Ninguna
TBF	Tiempo de funcionamiento hasta que ocurra una falla	TBF=Fecha y hora de la falla -Fecha y hora de arranque del equipo
# DE DATOS	Número de fallos ocurridos	Ninguna
Y	Logaritmo natural de TBF	$Y=\ln(\text{TBF})$
MEDIANAS	Medianas de los datos	$\text{Medianas}=\frac{i}{N+1}$ si $N<50$ $\text{Medianas}=\frac{i}{N}$ si $N\geq 50$
Y	Proceso para linealizar las coordenadas en Y	$Y=\ln\left(\ln\left(\frac{1}{1-\text{medianas}}\right)\right)$
X	Proceso para linealizar las coordenadas en X	$X=\ln(\text{TBF})$
Intercepto	Coordenada donde se intercepta la ecuación	$\text{Interc}=\text{INTERSECCION.EJE}(Y;X)$
R ²		$R^2=\text{COEFICIENTE.R2}(Y;X)$
α	Parámetro de escala o vida característica	$\alpha=e^{-\left(\frac{\text{Interc}}{\beta}\right)}$
β	Parámetro de forma	$\beta=\frac{y1-y0}{x1-x0}$
TMBF	Tiempo medio entre fallos	$u = \theta \Gamma(i + 1)$
f (t)	Función densidad de la distribución normal	$f(t)=\frac{\beta(t-\alpha)^{\beta-1}}{\theta^\beta} * e^{-\left(\frac{t-\alpha}{\theta}\right)^\beta}$
F (t)	Probabilidad de que el equipo falle	$F(t)=1-e^{-\left(\frac{t-\alpha}{\theta}\right)^\beta}$
R (t)	Probabilidad de que el equipo no falle	$R(t)=1-F(t)$
$\lambda(t)$	Tasa de ocurrencia de fallos	$\lambda(t)=\frac{f(t)}{R(t)}$

Realizado por: Quito Kevin, 2021

3.6 Datos para el cálculo de la fiabilidad mediante la función Lognormal

Los datos necesarios para calcular la fiabilidad utilizando la función lognormal se muestran en la Tabla 3- 6.

Tabla 3- 6. Definición de datos necesarios para el cálculo de fiabilidad con la función lognormal

Nombre del Dato	Descripción	Fórmula
CODIGO	Código del equipo	Ninguna
TBF	Tiempo de funcionamiento hasta que ocurra una falla	TBF=Fecha y hora de la falla -Fecha y hora de arranque del equipo
# DE DATOS	Número de fallos ocurridos	Ninguna
Y	Logaritmo natural de TBF	$Y=\ln(\text{TBF})$
MEDIA	Promedio del TBF	Media=PROMEDIO(valores de Y)
DESVES	Desviación estándar del TBF	Desves=DESVEST.M(valores de Y)
f (t)	Función densidad de la distribución normal	$f(t) = \frac{1}{\sigma t \sqrt{2\pi}} * e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln(t)-u}{\sigma}\right)^2}$
F (t)	Probabilidad de que el equipo falle	$F(t) = N\left(\frac{\ln(t)-u}{\sigma}\right)$
R (t)	Probabilidad de que el equipo no falle	$R(t) = 1 - F(t)$
$\lambda(t)$	Tasa de ocurrencia de fallos	$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)}$

Realizado por: Quito Kevin, 2021

3.7 Datos para el cálculo de la fiabilidad mediante la función gamma

Para poder obtener la fiabilidad con la función gamma se deben tomar en cuenta los datos que se especifican en la Tabla 3- 7.

Tabla 3- 7. Definición de datos necesarios para el cálculo de fiabilidad mediante la función gamma

Nombre del Dato	Descripción	Fórmula
CODIGO	Código del equipo	Ninguna
TBF	Tiempo de funcionamiento hasta que ocurra una falla	TBF=Fecha y hora de la falla- Fecha y hora de arranque del equipo
# DE DATOS	Número de fallos ocurridos	Ninguna
Sumatoria	Sumatoria para el cálculo de β	$\text{sumatoria} = n \sum_{i=1}^n (t-u)^2$
MEDIA	Promedio de los valores de TBF	Media=PROMEDIO(valores de TBF)
α	Parámetro de escala o vida característica	$\alpha = \frac{(n-1) \sum_{i=1}^n t^2}{n \sum_{i=1}^n (t-u)^2}$
β	Parámetro de forma	$\beta = \frac{n \sum_{i=1}^n (t-u)^2}{(n-1) \sum_{i=1}^n t}$
f (t)	Función densidad de la distribución normal	$f(t) = \frac{\lambda}{(\alpha-1)!} * (\lambda t)^{\alpha-1} e^{-\lambda t}$
F (t)	Probabilidad de que el equipo falle	$F(t) = 1 - \left(\sum_{k=1}^{\alpha} \frac{(\lambda t)^k e^{-\lambda t}}{k!}\right)$
R (t)	Probabilidad de que el equipo no falle	$R(t) = 1 - F(t)$
$\lambda(t)$	Tasa de ocurrencia de fallos	$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)}$

Realizado por: Quito Kevin, 2021

3.8 Diseño de programación en Microsoft Excel

La programación de la herramienta informática se la realizó mediante el lenguaje VBA que contiene Microsoft Excel, la cual nos permitió realizar los siguientes formatos para el ingreso de datos y sus cálculos correspondiente (la programación de dichos formatos se encuentra en el anexo E):

En la Figura 3- 2 se observa las distintas funciones que nuestra herramienta informática puede realizar.

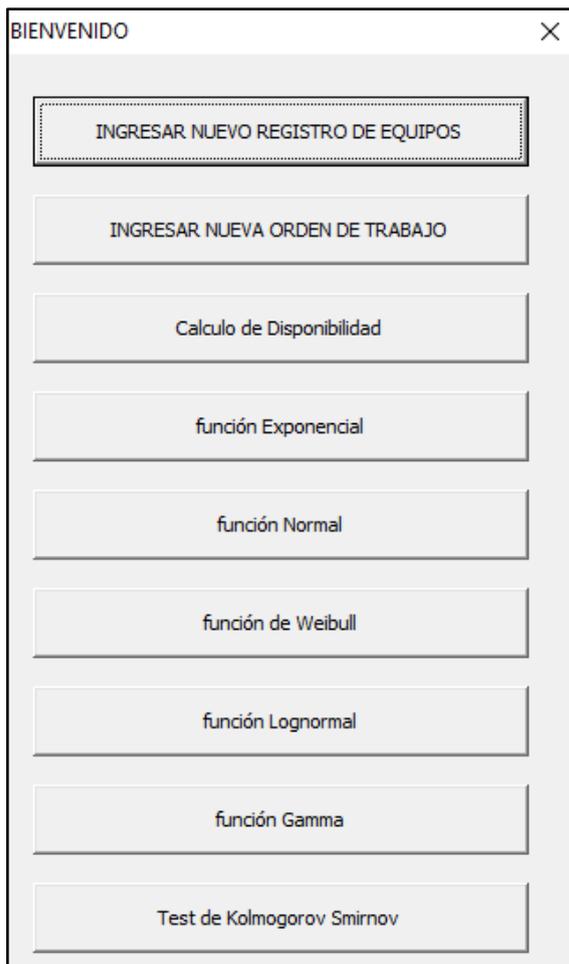


Figura 3- 2. Pantalla de inicio

Realizado por: Quito Kevin, 2021.

En la Figura 3- 3 se observa un formato que permite ingresar los datos del registro de los equipos de una empresa, así como su modificación de cada dato ingresado y en caso de su eliminación igualmente.

BASE DE DATOS

BUSQUEDA

Número	NOMBRE	CODIGO	MARCA	MODELO	LINEA
2	SECADORA 11	SCD-0011	NINGUNO	NINGUNO	SEC
1	CAMION	CD-0001	M-654	HIDROCLEANER	TRA

REGISTRAR

EDITAR

ELIMINAR

LIMPIAR

MODIFICAR

AGREGAR

NOMBRE

CODIGO

MARCA

MODELO

LINEA

ÁREA

FECHA Y HORA DE INICIO DE ARRANQUE

DE HORAS AL MES QUE TRABAJA EL EQUIPO

NÚMERO

3

Activa
Ve a Co

Figura 3- 3. Pantalla de ingreso de datos de los equipos

Realizado por: Quito Kevin, 2021.

En la Figura 3- 4 se observa un formato el cual permite ingresar los datos de una orden de trabajo de acuerdo a cada uno de los equipos ya antes ingresados.

Ingreso de ordenes de trabajo

CODIGO DEL EQUIPO NÚMERO

NÚMERO DE ORDEN DE TRABAJO TIPO DE ORDEN DE TRABAJO

FECHA Y HORA DE INICIO DE LA OT FEHCA Y HORA DE FIN DE LA OT

TOTAL DE HORAS DE LA ORDEN DE TRABAJO TOTAL DE HORAS DE PARADA ADMINISTRATIVA

OBSERVACIONES DE LA ORDEN DE TRABAJO

REGISTRAR

LIMPIAR

ELIMINAR

EDITAR

NUMERO	CIDOGO DEL EQUIPO	# OT	TIPO DE OT	FECHA Y HORA DE INICI	FE
10	SCD-0011	1	Preventiva	2/2/2018 8:00	2/
11	SCD-0011	2	Correctiva	16/2/2018 9:15	16/
1	CD-0001	988	Correctiva	2/2/2018 8:00	2/
2	CD-0001	1098	Correctiva	16/2/2018 9:15	16/
3	CD-0001	1183	Correctiva	17/3/2018 9:00	18/

Figura 3- 4. Pantalla de ingreso de datos de las órdenes de trabajo

Realizado por: Quito Kevin, 2021.

3.8.1. Guía para el uso de la herramienta informática

Para la utilización de la herramienta informática es necesario ingresar los valores en las celdas debajo de la columna de CODIGO, TBF y TTR como se puede observar en la Tabla 3- 8.

Tabla 3- 8. Ingreso de valores en código, tiempo entre fallas y tiempo de reparación

#	CODIGO	TBF	TTR
1	ABB1	21,646	1
2	ABB2	62,976	2
3	ABB3	65,108	1,5
4	ABB4	83,339	3
5	ABB5	120,518	8
6	ABB6	121,009	9
7	ABB7	135,095	15
8	ABB8	184,197	14
9	ABB9	246,375	2

Realizado por: Quito Kevin, 2021.

Adicionalmente debemos ingresar nuestra probabilidad para el cálculo, posteriormente oprimir el botón calcular.

El programa calculará la tasa de fallos, el TMBF, la disponibilidad, la indisponibilidad, el TMTR y adicionalmente nuestra meta y límite para la gráfica de control como se muestra en la Tabla 3- 9 y en la gráfica 3-1, además nos genera un histograma de nuestra disponibilidad como se muestra en la gráfica 3.1.

Tabla 3- 9. Tasa de fallos, TMBF, disponibilidad, indisponibilidad, TMTR, límites

TMBF	TMTR	TASA DE FALLO	DISPONIBILIDAD	INDISPONIBILIDAD	META	LIMITE
21,646	1	0,046197912	0,955842091	0,044157909	1,0156011	0,9394582
42,311	1,5	0,023634516	0,965762023	0,034237977	1,0156011	0,9394582
49,91	1,5	0,020036065	0,970822797	0,029177203	1,0156011	0,9394582
58,26725	1,875	0,0171623	0,968823913	0,031176087	1,0156011	0,9394582
70,7174	3,1	0,014140791	0,958004481	0,041995519	1,0156011	0,9394582
79,099333	4,0833333	0,012642332	0,950911248	0,049088752	1,0156011	0,9394582
87,098714	5,6428571	0,011481226	0,939155041	0,060844959	1,0156011	0,9394582
99,236	6,6875	0,010076988	0,936864813	0,063135187	1,0156011	0,9394582

Realizado por: Quito Kevin, 2021.

En el Gráfico 3- 1 se muestra una representación de disponibilidad.

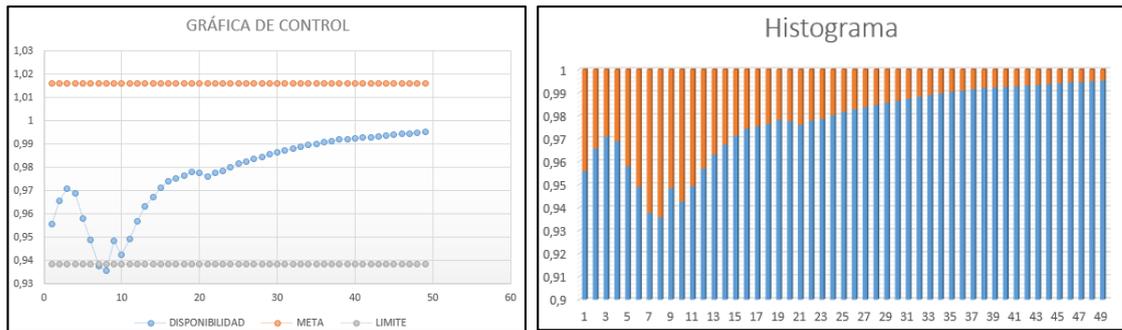


Gráfico 3- 1. Gráfica de control e histograma de la disponibilidad

Realizado por: Quito Kevin, 2021.

Para el cálculo de la fiabilidad se lo puede realizar mediante 5 funciones distintas de las cuales para saber cuál de las funciones se acomoda a los datos ingresados se realiza una prueba de bondad.

3.8.2. Cálculo de la fiabilidad mediante la función Exponencial

Para el cálculo de la función exponencial solo es necesario el ingreso de los valores de Código y TBF en la Tabla 3- 10 y el programa le calculara directamente $f(t)$, $F(t)$, $R(t)$ y $\lambda(t)$

Tabla 3- 10. Fiabilidad con la función exponencial

CODIGO	TBF	$f(t)$	$F(t)$	$R(t)$	$\lambda(t)$
ABB1	21,646	0,00067047	0,0146203	0,9853797	0,00068041
ABB2	62,976	0,00065187	0,04194465	0,95805535	0,00068041
ABB3	65,108	0,00065093	0,04333343	0,95666657	0,00068041
ABB4	83,339	0,0006429	0,05512722	0,94487278	0,00068041
ABB5	120,518	0,00062684	0,07872996	0,92127004	0,00068041
ABB6	121,009	0,00062664	0,07903768	0,92096232	0,00068041
ABB7	135,095	0,00062066	0,0878223	0,9121777	0,00068041
ABB8	184,197	0,00060026	0,11779439	0,88220561	0,00068041
ABB9	246,375	0,0005754	0,15433915	0,84566085	0,00068041
ABB10	298,546	0,00055533	0,18383173	0,81616827	0,00068041
ABB11	373,64	0,00052767	0,22448636	0,77551364	0,00068041
ABB12	430,552	0,00050763	0,2539431	0,7460569	0,00068041

Realizado por: Quito Kevin, 2021.

Adicionalmente se puede saber la fiabilidad a un tiempo requerido ingresando el TBF en la Tabla 3- 11.

Tabla 3- 11. Fiabilidad en un tiempo requerido.

# DATOS	49
SUMA TOTAL	72015,029
TASA DE FALLOS	0,000680414
e	2,718281828
TBF	100
f (t)	0,000635657
F (t)	6,58%
R (t)	93,42%
λ (t)	0,000680414

Realizado por: Quito Kevin, 2021.

3.8.3. Cálculo de la fiabilidad mediante la función Normal

Para el cálculo de la función normal solo es necesario el ingreso de los valores de Código y TBF en la Tabla 3- 12 y el programa le calculara directamente f (t), F (t), R (t) y λ (t).

Tabla 3- 12. Función normal

CODIGO	TBF	f (t)	F(t)	R (t)	λ (t)
ABB1	21,646	0,00016708	0,15571097	0,84428903	0,00019789
ABB2	62,976	0,00017196	0,16271722	0,83728278	0,00020538
ABB3	65,108	0,00017221	0,16308411	0,83691589	0,00020577
ABB4	83,339	0,00017437	0,1662434	0,8337566	0,00020914
ABB5	120,518	0,00017876	0,17280786	0,82719214	0,0002161
ABB6	121,009	0,00017881	0,17289564	0,82710436	0,00021619
ABB7	135,095	0,00018047	0,17542611	0,82457389	0,00021887

Realizado por: Quito Kevin, 2021.

Para conocer la fiabilidad a un tiempo requerido se procede a ingresar el valor en el TBF de la Tabla 3- 13.

Tabla 3- 13. Fiabilidad en un TBF requerido

# DATOS	49
MEDIA	1469,69447
DESV	1430,53463
TBF	1000
f (t)	0,00026424
F (t)	37,13%
R (t)	62,87%
λ (t)	0,00042032

Realizado por: Quito Kevin, 2021.

3.8.4. Cálculo de la fiabilidad mediante la función Lognormal

Para el cálculo de la función normal solo es necesario el ingreso de los valores de Código y TBF en la Tabla 3- 14 y el programa le calculara directamente $f(t)$, $R(t)$, $F(t)$ y $\lambda(t)$.

Tabla 3- 14. Fiabilidad con la función lognormal

CODIGO	TBF	$Y=\ln(TBF)$	$f(t)$	$F(t)$	$R(t)$	$\lambda(t)$
ABB1	21,646	3,07482068	0,005544842	0,00226704	0,99773296	0,00555744
ABB2	62,976	4,1427537	0,041743795	0,0224935	0,9775065	0,04270437
ABB3	65,108	4,17604743	0,043961527	0,02391999	0,97608001	0,04503886
ABB4	83,339	4,42291663	0,063185061	0,03704291	0,96295709	0,06561566
ABB5	120,518	4,79179912	0,101383263	0,06704893	0,93295107	0,10866943
ABB6	121,009	4,79586492	0,101865943	0,06746211	0,93253789	0,10923518

Realizado por: Quito Kevin, 2021.

En el caso de requerir la fiabilidad a un tiempo requerido se ingresa el TBF en la Tabla 3- 15.

Tabla 3- 15. Fiabilidad en un tiempo requerido para la función lognormal

# de Datos	49
Media	6,711029837
Desves	1,281078873
TBF	1500
Y	7,313220387
$f(t)$	0,278838713
$F(t)$	0,680845769
$R(t)$	0,319154231
$\lambda(t)$	0,873680138

Realizado por: Quito Kevin, 2021.

3.8.5. Cálculo de la fiabilidad mediante la función Weibull

Para el cálculo de la función normal solo es necesario el ingreso de los valores de Código y TBF en la Tabla 3- 16 y el programa le calculará directamente $f(t)$, $F(t)$, $R(t)$ y $\lambda(t)$

Tabla 3- 16. Fiabilidad mediante Weibull

CODIGO	TBF	# DATOS	MEDIANAS	Y	X	$f(t)$	$F(t)$	$R(t)$	$\lambda(t)$
ABB1	21,646	1	0,02	-3,90193866	3,07482068	0,00086813040	0,02085209	0,97914791	0,00088662
ABB2	62,976	2	0,04	-3,19853426	4,1427537	0,00076231694	0,05420913	0,94579087	0,00080601
ABB3	65,108	3	0,06	-2,78263253	4,17604743	0,00075875196	0,05583058	0,94416942	0,00080362
ABB4	83,339	4	0,08	-2,48432751	4,42291663	0,00073154348	0,06940734	0,93059266	0,0007861
ABB5	120,518	5	0,1	-2,25036733	4,79179912	0,00068780846	0,09575533	0,90424467	0,00076064
ABB6	121,009	6	0,12	-2,05702765	4,79586492	0,00068730221	0,09609292	0,90390708	0,00076037
ABB7	135,095	7	0,14	-1,89164905	4,90597823	0,00067336587	0,10567482	0,89432518	0,00075293
ABB8	184,197	8	0,16	-1,74667108	5,21600584	0,00063155164	0,13767534	0,86232466	0,00073238
ABB9	246,375	9	0,18	-1,61721337	5,50685477	0,00058833479	0,17555702	0,82444298	0,00071361
ABB10	298,546	10	0,2	-1,49993999	5,69892402	0,00055738180	0,20542657	0,79457343	0,00070149
ABB11	373,64	11	0,22	-1,39246794	5,92329277	0,00051857805	0,24578949	0,75421051	0,00068758

Realizado por: Quito Kevin, 2021.

Cuando se necesite conocer la fiabilidad a un tiempo requerido se ingresa dicho valor en el TBF de la Tabla 3- 17.

Tabla 3- 17. Fiabilidad en un tiempo requerido para la función de Weibull

# DATOS	49,00
INTERCEP	-6,66
R^2	0,99
α	1499,48
β	0,91
TMBF	1567,66
TBF	100
f (t)	0,00071045
F (t)	8,14%
R (t)	91,86%
λ (t)	0,00077342

Realizado por: Quito Kevin, 2021.

3.8.6. Cálculo de la fiabilidad mediante la función Gamma

Para el cálculo de la función normal solo es necesario el ingreso de los valores de Código y TBF y el programa le calculara directamente f (t), F (t), R (t) y λ (t) como se aprecia en la Tabla 3- 18.

Tabla 3- 18. Fiabilidad con la función gamma

CODIGO	TBF	$(Ti - media(ti))^2$	f (t)	F(t)	R (t)	λ (t)
ABB1	21,646	2096844,37	0,00057804	0,01194447	0,98805553	0,00058503
ABB2	62,976	1978856,852	0,0005954	0,03631757	0,96368243	0,00061784
ABB3	65,108	1972863,15	0,00059559	0,03758716	0,96241284	0,00061885
ABB4	83,339	1921981,488	0,00059595	0,04845164	0,95154836	0,00062629
ABB5	120,518	1820277,146	0,00059225	0,0705534	0,9294466	0,0006372
ABB6	121,009	1818952,495	0,00059217	0,07084417	0,92915583	0,00063732
ABB7	135,095	1781155,744	0,00058981	0,07916929	0,92083071	0,00064051
ABB8	184,197	1652503,744	0,00057925	0,10788272	0,89211728	0,0006493

Realizado por: Quito Kevin, 2021.

Es posible saber la fiabilidad a un tiempo requerido ingresando el TBF en la Tabla 3- 19.

Tabla 3- 19. Fiabilidad en un tiempo requerido para la función gamma

# DE DATOS	49
TBF TOTAL	72015,029
MEDIA	1469,69447
sumatoria de	98228607,7
α	1,05549789
β	1392,4182
TBF	100
f (t)	0,00059485
F(t)	0,05837307
R (t)	0,94162693
λ (t)	0,00063172

Realizado por: Quito Kevin, 2021.

3.9 Prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov

Para realizar la prueba de bondad únicamente se requiere el ingreso de los valores en las columnas Código y TBF como se muestra en la Tabla 3- 20.

Tabla 3- 20. Ingreso de datos para la prueba de bondad

DATOS			
#	CODIGO	TBF	i
1	ABB1	21,646	
2	ABB2	62,976	
3	ABB3	65,108	
4	ABB4	83,339	
5	ABB5	120,518	

Realizado por: Quito Kevin, 2021.

Después del ingreso de los datos al oprimir el botón calcular el programa ingresará los datos de F (t) de cada una de las funciones anteriormente calculadas, así como también calculará la función empírica como se muestra en la Tabla 3- 21, después de calcular la función empírica se procede a la evaluación para luego crear las gráficas de cada función vs la función empírica como se puede apreciar en el

Tabla 3- 21. F(t) de las diferentes distribuciones y función empírica

EXPONENCIAL	NORMAL	WEIBULL	LOGNORMAL	GAMA	EMPÍRICA
F (t)	F (t)	F (t)	F (t)	F (t)	F(t)
0,014620301	0,15571097	0,020852094	0,002267045	0,011944471	0,02040816
0,041944646	0,16271722	0,054209134	0,022493502	0,036317566	0,04081633
0,043333434	0,16308411	0,055830576	0,023919988	0,03758716	0,06122449
0,055127218	0,1662434	0,069407343	0,037042909	0,048451642	0,08163265
0,078729955	0,17280786	0,095755327	0,067048925	0,070553396	0,10204082
0,079037685	0,17289564	0,096092917	0,067462111	0,070844171	0,12244898

Realizado por: Quito Kevin, 2021.

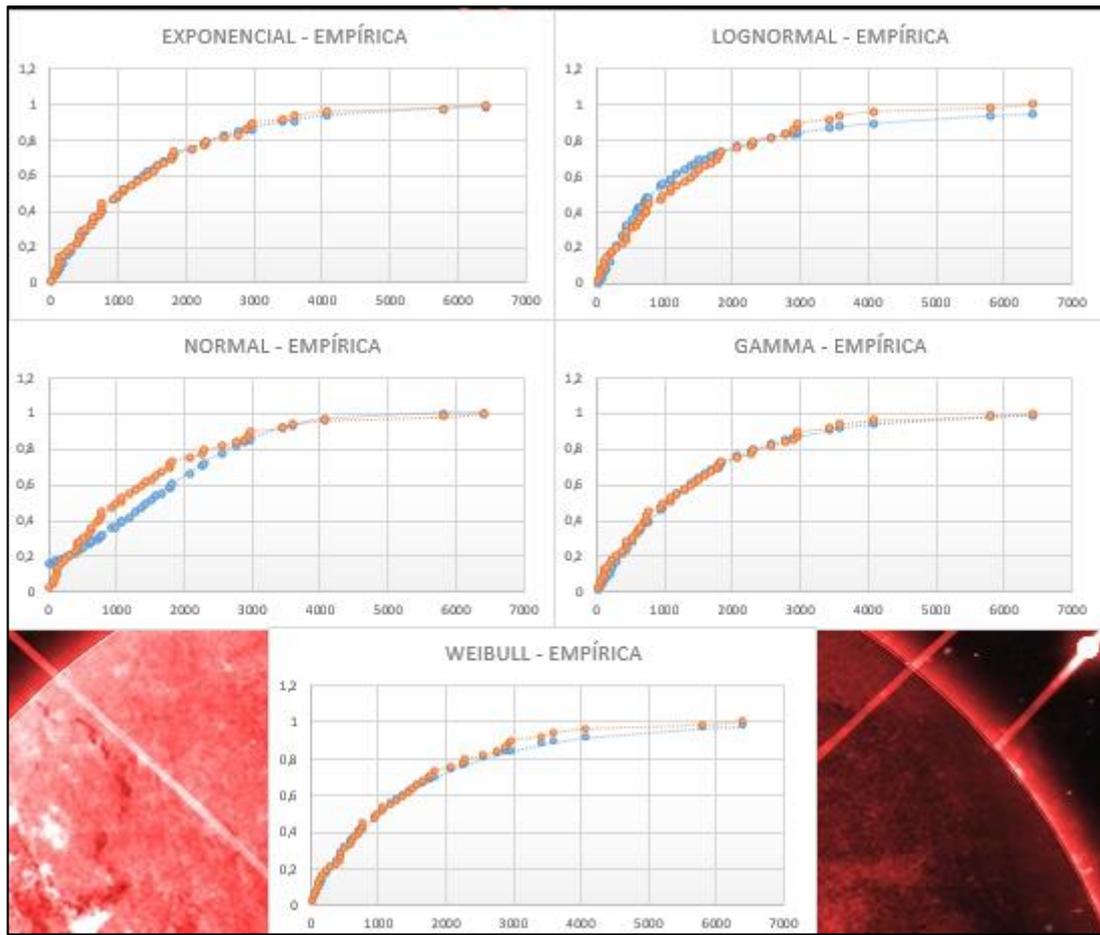


Gráfico 3- 2. Graficas de las pruebas de Bondad de las distintas Funciones de Distribución.

Realizado por: Quito Kevin, 2021

Después de esta comparación se puede observar gráficamente cuál de las funciones es la más adecuada para el grupo de datos ingresados, adicionalmente el programa puede calcular analíticamente procediendo al TEST K-5 en el cual solo es necesario ingresar los valores en las columnas Código y TBF como se muestra en la Tabla 3- 22.

Tabla 3- 22. Datos requeridos para el Test K-5

DATOS			
#	CODIGO	TBF	
1	ABB1	21,646	
2	ABB2	62,976	
3	ABB3	65,108	
4	ABB4	83,339	

Realizado por: Quito Kevin, 2021

Después de ingresar los datos se procede a oprimir calcular, el programa procederá a ingresar los valores de $F(t)$ de cada función y procederá a realizar la evaluación, así como se muestra en la Tabla 3- 23.

Tabla 3- 23. Cálculo analítico de F(t) para las distribuciones

EXPONENCIAL	NORMAL	WEIBULL	LOGNORMAL	GAMA	EMPÍRICA
F(t)	F(t)	F(t)	F(t)	F(t)	F(t)
0,014620301	0,155710973	0,02085209	0,002267045	0,011944471	0,02040816
0,041944646	0,162717219	0,05420913	0,022493502	0,036317566	0,04081633
0,043333434	0,163084113	0,05583058	0,023919988	0,03758716	0,06122449
0,055127218	0,166243401	0,06940734	0,037042909	0,048451642	0,08163265
0,078729955	0,17280786	0,09575533	0,067048925	0,070553396	0,10204082
0,079037685	0,172895643	0,09609292	0,067462111	0,070844171	0,12244898
0,087822304	0,175426107	0,10567482	0,07941626	0,079169291	0,14285714

Realizado por: Quito Kevin, 2021

Se genera el test de Kolmogorov-Smirnov a la distribución exponencial, normal, Weibull, log normal y normal a través del valor obtenido de F (t) por medio del cual se crea las Tabla 3- 24, 3- 25, 3- 25.

Tabla 3- 24. Prueba de Kolmogorov-Smirnov para la función exponencial y normal

TEST DE KOLMOGOROV - EXPONENCIAL		TEST DE KOLMOGOROV - NORMAL	
F(t)-f(T)	f(T)-F(t-1)	F(t)-f(T)	f(T)-F(t-1)
0,005787862	0,021536483	0,13530281	0,142309056
0,00112832	0,002517107	0,121900893	0,122267786
0,017891056	0,006097272	0,101859623	0,105018911
0,026505435	0,002902698	0,084610748	0,091175207
0,023310861	0,023003132	0,070767043	0,070854827

Realizado por: Quito Kevin, 2021

Tabla 3- 25. Prueba de Kolmogorov-Smirnov para la función Weibull y lognormal

TEST DE KOLMOGOROV - WEIBULL		TEST DE KOLMOGOROV - LOGNORMAL	
F(t)-f(T)	f(T)-F(t-1)	F(t)-f(T)	f(T)-F(t-1)
0,000443931	0,033800971	0,018141119	0,002085338
0,013392807	0,01501425	0,018322825	0,016896338
0,005393914	0,008182853	0,037304502	0,02418158
0,01222531	0,014122674	0,044589744	0,014583728
0,006285489	0,005947899	0,034991891	0,034578706
0,026356063	0,01677416	0,054986869	0,043032719

Realizado por: Quito Kevin, 2021

Tabla 3- 26. Prueba de Kolmogorov-Smirnov para la función gamma

TEST DE KOLMOGOROV - GAMMA	
F(t)-f(T)	f(T)-F(t-1)
0,008463692	0,015909402
0,004498761	0,003229167
0,02363733	0,012772848
0,033181011	0,011079257
0,031487421	0,031196646
0,051604809	0,043279689

Realizado por: Quito Kevin, 2021

La Tabla 3- 27 muestra una comparación entre las pruebas de bondad realizadas, en donde el valor más pequeño de nuestras funciones es el que mejor se ajusta al grupo de datos ingresados.

Tabla 3- 27. Evaluación de las pruebas de bondad

EVALUACION	
FUNCIÓN	MAX
EXPONENCIAL	0,05503484
NORMAL	0,14230906
WEIBULL	0,05317973
LOGNORMAL	0,09598745
GAMMA	0,06368785

Realizado por: Quito Kevin, 2021

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS

En este capítulo se exponen los resultados obtenidos al momento de probar el funcionamiento de la herramienta informática, para el análisis de los datos

Como resultado principal se logró la automatización del proceso de cálculo de los indicadores de fiabilidad en equipos, dicha automatización se fundamentó en el diseño de una herramienta informática utilizando Visual Basic y macros indumentaria que se encuentra dentro del programa de hojas de cálculo de microsoft excel, en el cual se desarrolló la programación de una interfaz amigable que es capaz de añadir procesos que generan valores y tablas, basadas en metodologías o funciones (exponencial, lognormal, normal, gamma y Weibull) para calcular la fiabilidad de los equipos utilizando los valores ingresados por el usuario de tiempo entre fallas y tiempo de reparación adicionalmente el programa realiza los cálculos de los indicadores de disponibilidad y mantenibilidad.

Cabe recalcar que esta herramienta informática, es de carácter técnico (para personal técnico de mantenimiento), por lo que ayuda en la gestión de mantenimiento de los equipos que funcionan en una empresa.

La herramienta cuenta con una prueba de bondad de ajuste la cual permite verificar la fiabilidad de cada una de las 5 funciones utilizadas a través de una comparación de las distribuciones mismas que permiten determinar la distribución de mejor ajuste de acuerdo con los requerimientos establecidos.

Para el correcto uso de la herramienta se programaron mensajes con ventanas emergentes que indican los pasos a proseguir, además de que la utilización del programa es intuitivo gracias a la interfaz amigable con el usuario por lo que no se requiere de mayor capacitación o demasiadas indicaciones.

Debido a que la herramienta informática no utiliza internet puede ser utilizada desde cualquier computadora que tenga instalado microsoft excel, lo que la convierte en un instrumento muy versátil en el campo de trabajo de mantenimiento.

4.1 Análisis del funcionamiento de la herramienta informática

Para la evaluación de la herramienta informática se presentan datos aleatorios que se ajusten a las diferentes funciones que se tomaron en cuenta para calcular la fiabilidad.

Se establecieron un conjunto de 60 datos aleatorios para ajustar las funciones: exponencial, normal, Weibull, lognormal y gamma se los estableció en la Tabla 4- 1.

Tabla 4- 1. Datos aleatorios para evaluar la herramienta informática

CODIGO	TTR	TBF				
		NORMAL	LOG NORMAL	EXPONECNCIAL	WEIBULL	GAMMA
		MEDIA: 356 DESV.TÍPICA: 50	MEDIA: 3.578 DESV.TÍPICA: 1	TASA:0.0103	FORMA: 7 ESCALA: 400	FORMA: 6 TASA:0.03
ABB1	10	253,157826	5,80155538	4,88840795	211,891148	66,1050641
ABB2	15	256,399826	6,39905091	5,45271989	213,04549	70,0678878
ABB3	12	270,869736	8,9375968	6,02361929	225,700079	105,667443
ABB4	14	275,998025	8,99507784	6,49292462	273,457534	106,016792
ABB5	15	287,749669	9,07406451	8,99741648	277,415157	114,194328
ABB6	18	287,960969	10,3866694	9,85681522	283,864425	115,327888
ABB7	20	290,592546	11,0540146	12,9949064	303,199837	117,976595
ABB8	4	294,275975	12,0503119	13,7037398	310,748773	120,57567
ABB9	12	300,141066	12,2739698	16,940723	311,636663	122,71776
ABB10	15	311,834795	13,3907824	19,1087413	313,678165	123,685596
ABB11	10	312,009209	14,3460911	19,7652164	316,359846	125,012795
ABB12	15	314,255656	15,1905593	20,0717113	318,778432	125,824927
ABB13	12	315,706282	15,2716707	23,8087029	320,704396	130,745473
ABB14	14	315,715852	15,5783095	24,6251754	324,214546	131,87902
ABB15	15	316,946982	16,6696339	28,5991596	329,005671	132,957431
ABB16	18	317,73548	17,0331301	33,188791	332,108875	133,409107
ABB17	20	318,142492	17,3538946	33,2021852	333,133628	133,823844
ABB18	4	320,219586	18,3563596	33,6237948	333,910895	137,600218
ABB19	12	323,239883	18,5876344	37,1222831	343,279816	148,436131
ABB20	15	324,35793	19,5905125	37,7972492	351,714135	153,776293
ABB21	20	326,000272	19,8283513	52,5567656	354,24899	154,506611
ABB22	45	326,355118	20,0850988	54,3861004	358,235904	159,220083
ABB23	7	329,433635	20,4421784	54,9546574	359,213403	161,119996
ABB24	5	342,567429	20,4768628	56,3543694	367,876749	161,889391
ABB25	8	343,322104	28,1242497	58,3844276	370,372854	162,715352
ABB26	9	348,629604	28,5520199	63,2161001	373,171659	168,53571
ABB27	7	351,825598	28,8323991	63,5423561	373,492233	170,529301
ABB28	14	354,803337	30,4376139	64,9678214	375,614766	174,495207
ABB29	15	356,125244	32,699758	68,6141737	378,242045	176,203394

ABB30	20	356,58352	32,8947868	70,0846065	379,314951	176,284571
ABB31	21	361,885507	33,0564057	78,4109086	379,349434	179,540885
ABB32	4	366,78385	34,5722262	83,6682658	381,476421	183,079406
ABB33	5	370,808238	36,1623034	86,221042	382,942152	183,805566
ABB34	7	372,099719	36,6838129	89,1193009	386,984134	186,206391
ABB35	48	375,087476	37,4234636	91,1668715	388,291222	187,100218
ABB36	15	377,054037	38,8507313	95,9226413	390,098551	188,060679
ABB37	18	377,85308	39,508376	105,989654	392,93053	188,901196
ABB38	20	379,257628	42,7362911	106,415757	404,03122	190,607517
ABB39	4	380,322313	49,3675874	107,929495	405,62217	191,162874
ABB40	12	382,979372	49,6693787	109,319056	406,946357	191,787696
ABB41	15	383,319118	50,6486179	119,208803	409,615091	195,493443
ABB42	20	386,376914	50,6610883	120,165923	410,263928	199,769105
ABB43	45	386,854	52,8274825	123,726729	411,793086	200,357808
ABB44	7	388,868329	54,6240476	135,432208	418,493195	200,525014
ABB45	5	392,051216	57,5598903	143,253655	422,445106	206,277404
ABB46	8	392,606985	60,3001582	174,965403	424,453975	206,605598
ABB47	9	394,899299	66,8566322	181,496992	431,477813	206,810766
ABB48	7	398,560413	67,7472815	192,4111	434,67666	208,489656
ABB49	14	399,995743	68,5799452	192,72438	435,41334	210,018405
ABB50	15	400,170141	75,9053729	194,920369	437,694247	218,794877
ABB51	20	403,256232	93,3123427	198,135245	451,595107	220,57215
ABB52	21	410,14213	100,765553	208,792662	451,799089	231,64994
ABB53	4	412,782818	103,020419	242,096911	452,380564	237,602214
ABB54	5	413,068062	109,573274	244,414375	455,219376	242,475201
ABB55	7	415,500477	131,687967	245,554519	461,20583	265,867003
ABB56	48	417,36402	146,136569	247,609361	463,505101	279,262564
ABB57	15	417,519034	171,054891	287,546421	464,37941	300,335452
ABB58	12	420,503115	237,145024	294,745109	477,521847	368,760717
ABB59	4	462,158205	387,367619	352,507503	485,100949	380,378283
ABB60	10	491,812152	495,124761	480,263616	489,149665	482,524452

Realizado por: Quito Kevin, 2021

4.2 Cálculo de la Disponibilidad

Del Gráfico 4- 1 al Gráfico 4- 1permite apreciar la disponibilidad por medio de una gráfica de control y también un histograma de la disponibilidad en base a los datos mostrados en la Tabla 4- 1.

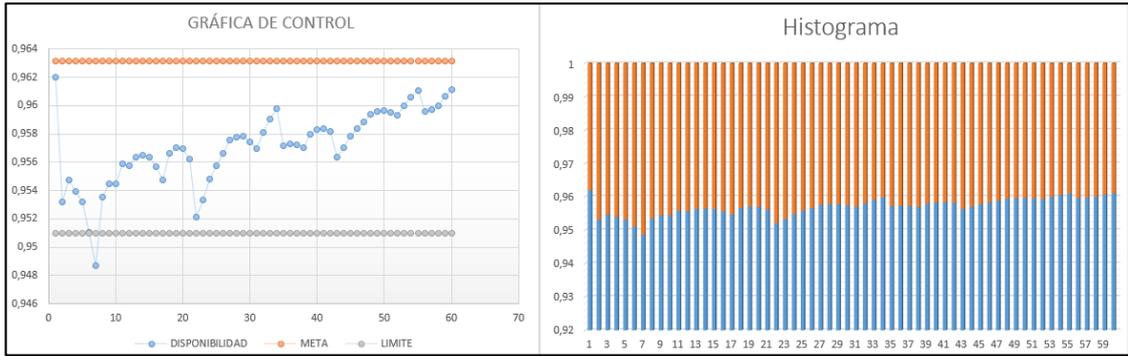


Gráfico 4- 1. Disponibilidad e Histograma según los datos de la función normal

Realizado por: Quito Kevin, 2021

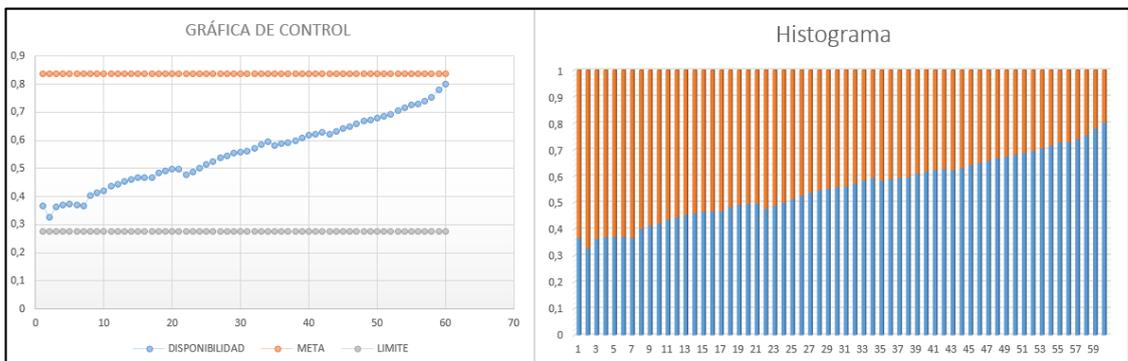


Gráfico 4- 2. Disponibilidad e Histograma según los datos de la función log normal

Realizado por: Quito Kevin, 2021

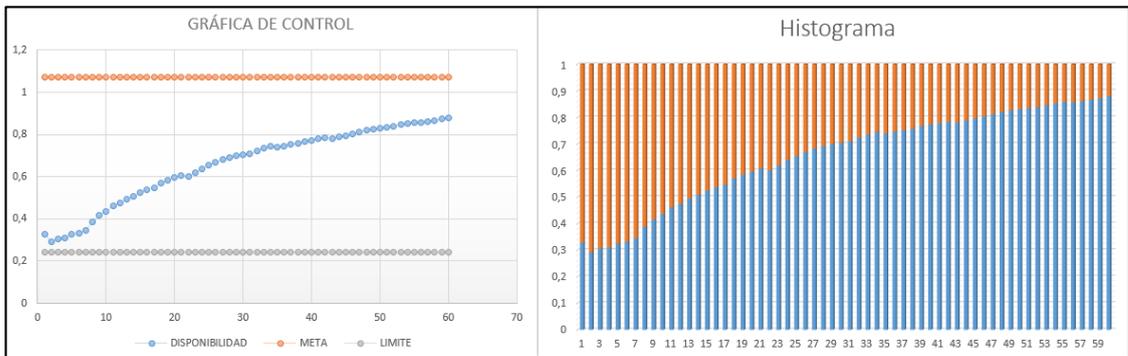


Gráfico 4- 3. Disponibilidad e Histograma según los datos de la función exponencial

Realizado por: Quito Kevin, 2021

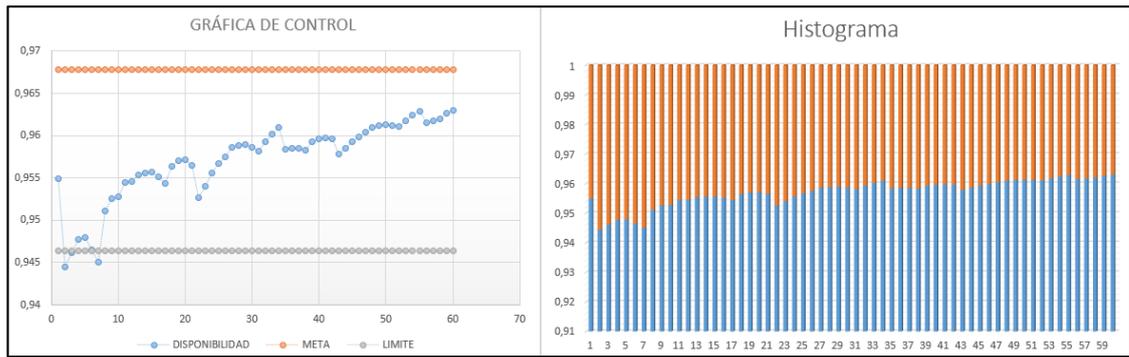


Gráfico 4- 4. Disponibilidad e Histograma según los datos de la función weibull

Realizado por: Quito Kevin, 2021

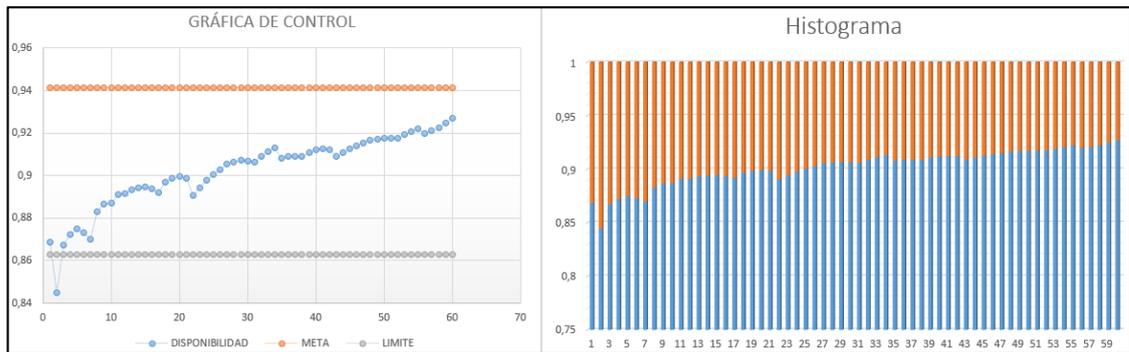


Gráfico 4- 5. Disponibilidad e Histograma según los datos de la función gamma

Realizado por: Quito Kevin, 2021

4.3 Cálculo de la fiabilidad mediante las diferentes funciones

La fiabilidad se puede observar mediante las diferentes funciones a través de las cuales se determinó la importancia de este parámetro en cada una de ellas.

Para el cálculo de la fiabilidad para los datos de la función normal se tomaron los valores a partir de la Tabla 4- 1 con los cuales se construyó la evaluación de Kolmogorov-Smirnov para observar que función se ajusta a los datos como se observa en la Tabla 4- 2.

Tabla 4- 2. Test K-5 de los datos de la función normal

Estracto de la tabla de valores criticos							
SIGNIFICANCIA							
n>50	0.20	0.15	0.10	0.05	0.02	0.01	0.001
	0,25167549	0,210124838	0,195899371	0,17532996	0,15799836	0,14690871	0,13849143

EVALUACION	
FUNCIÓN	MAX
EXPONENCIAL	0,499159138
NORMAL	0,091278944
WEIBULL	0,103289961
LOGNORMAL	0,10330168
GAMMA	0,097274907
RESULTADO	0,091278944

Realizado por: Quito Kevin, 2021

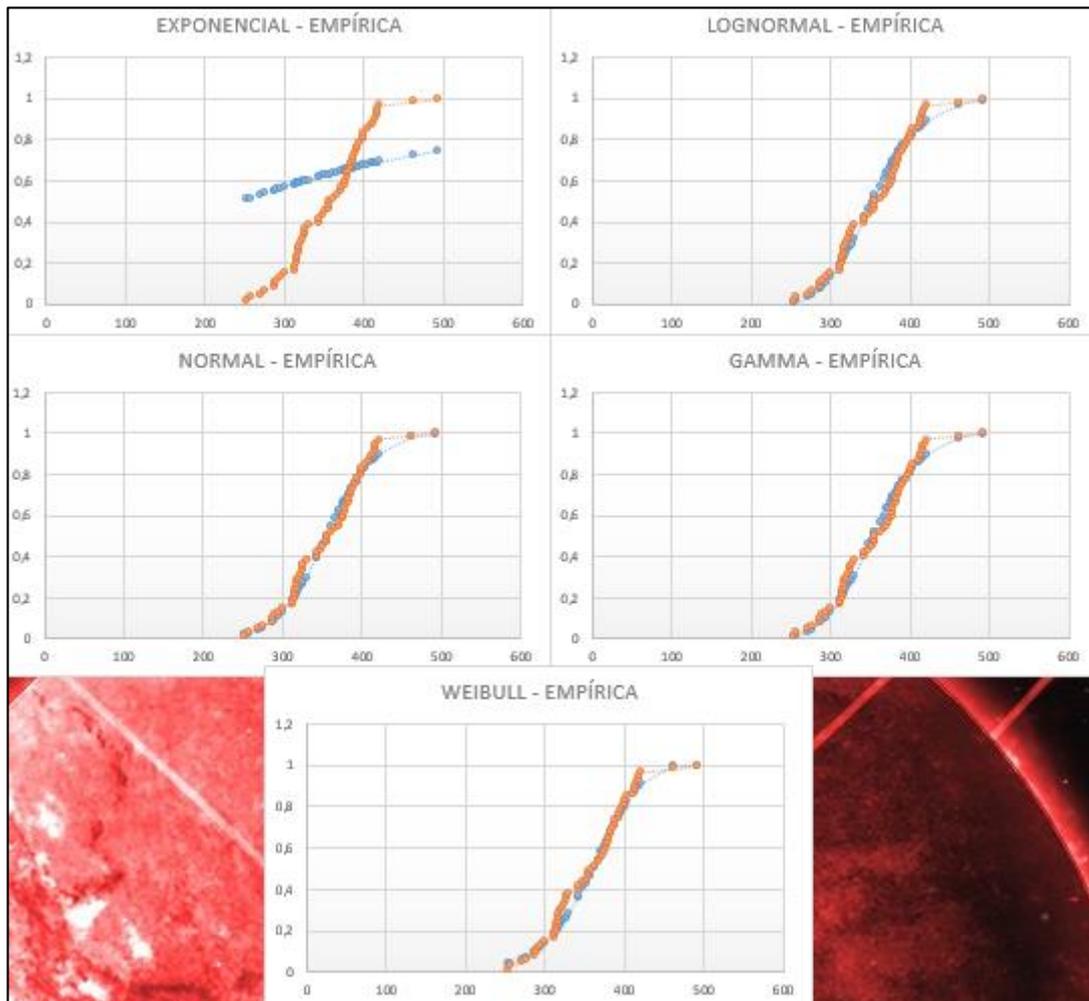


Gráfico 4- 6. Graficas de la Fiabilidad según los datos de la función normal

Realizado por: Quito Kevin, 2021

Para el cálculo de la fiabilidad para los datos de la función log normal se tomaron los valores a partir de la Tabla 4- 1 con los cuales se construyó la evaluación de Kolmogorov-Smirnov para observar que función se ajusta a los datos como se observa en la Tabla 4- 3.

Tabla 4- 3. Test K-5 de los datos de la función lognormal

Estracto de la tabla de valores criticos							
SIGNIFICANCIA							
n>50	0.20	0.15	0.10	0.05	0.02	0.01	0.001
		0,25167549	0,210124838	0,195899371	0,17532996	0,15799836	0,14690871

EVALUACION	
FUNCIÓN	MAX
EXPONENCIAL	0,126165957
NORMAL	0,268954135
WEIBULL	0,127087908
LOGNORMAL	0,102355632
GAMMA	0,281569425
RESULTADO	0,102355632

Realizado por: Quito Kevin, 2021

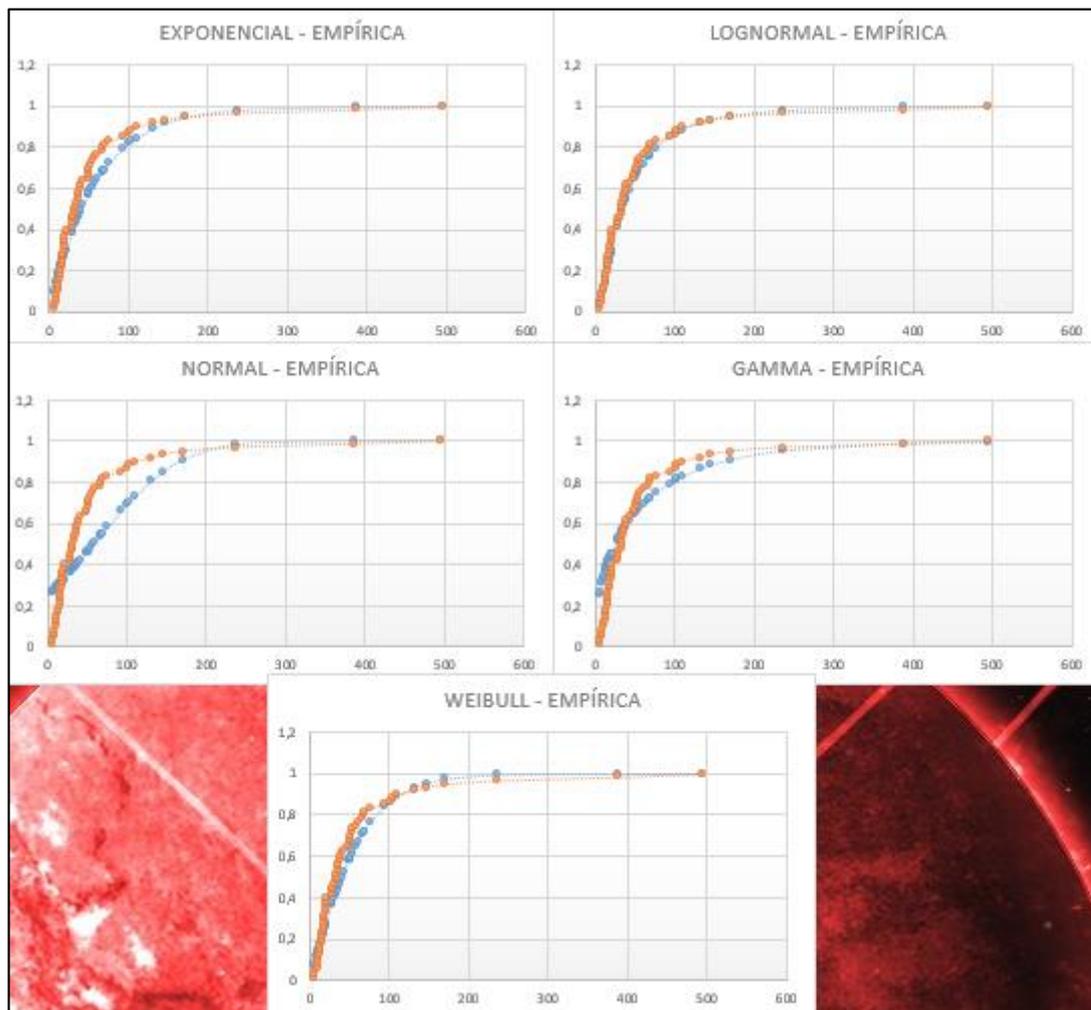


Gráfico 4- 7. Graficas de la Fiabilidad según los datos de la función lognormal

Realizado por: Quito Kevin, 2021

Para el cálculo de la fiabilidad para los datos de la función exponencial se tomaron los valores a partir de la Tabla 4- 1 con los cuales se construyó la evaluación de Kolmogorov-Smirnov para observar que función se ajusta a los datos como se observa en la Tabla 4- 4.

Tabla 4- 4. Test K-5 de los datos de la función exponencial

Estracto de la tabla de valores criticos							
SIGNIFICANCIA							
n>50	0.20	0.15	0.10	0.05	0.02	0.01	0.001
	0,25167549	0,210124838	0,195899371	0,17532996	0,15799836	0,14690871	0,13849143

EVALUACION	
FUNCIÓN	MAX
EXPONENCIAL	0,059192013
NORMAL	0,151753116
WEIBULL	0,054428838
LOGNORMAL	0,102376968
GAMMA	0,063710557
RESULTADO	0,054428838

Realizado por: Quito Kevin, 2021

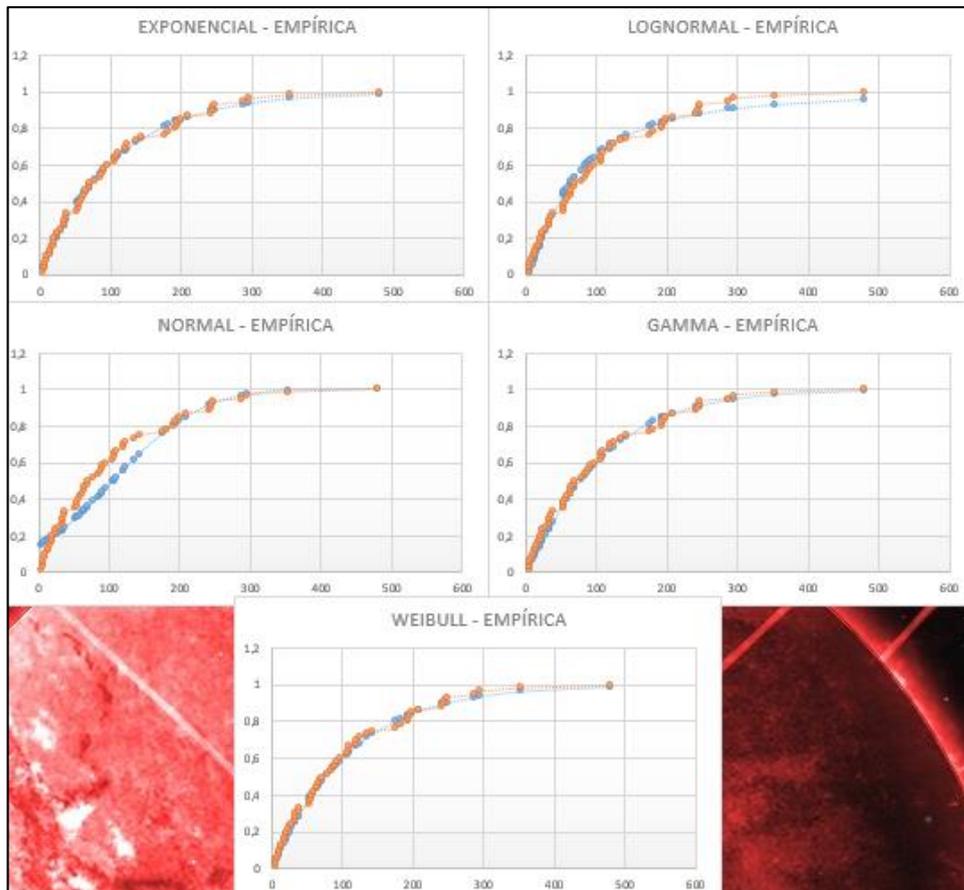


Gráfico 4- 8. Graficas de la Fiabilidad según los datos de la función exponencial

Realizado por: Quito Kevin, 2021

Para el cálculo de la fiabilidad para los datos de la función Weibull se tomaron los valores a partir de la Tabla 4- 1 con los cuales se construyó la evaluación de Kolmogorov-Smirnov para observar que función se ajusta a los datos como se observa en la Tabla 4- 5.

Tabla 4- 5. Test K-5 de los datos de la función Weibull

Estracto de la tabla de valores criticos							
SIGNIFICANCIA							
n>50	0.20	0.15	0.10	0.05	0.02	0.01	0.001
	0,25167549	0,210124838	0,195899371	0,17532996	0,15799836	0,14690871	0,13849143

EVALUACION	
FUNCIÓN	MAX
EXPONENCIAL	0,467332538
NORMAL	0,070980612
WEIBULL	0,063412324
LOGNORMAL	0,109211703
GAMMA	0,093883851
RESULTADO	0,063412324

Realizado por: Quito Kevin, 2021

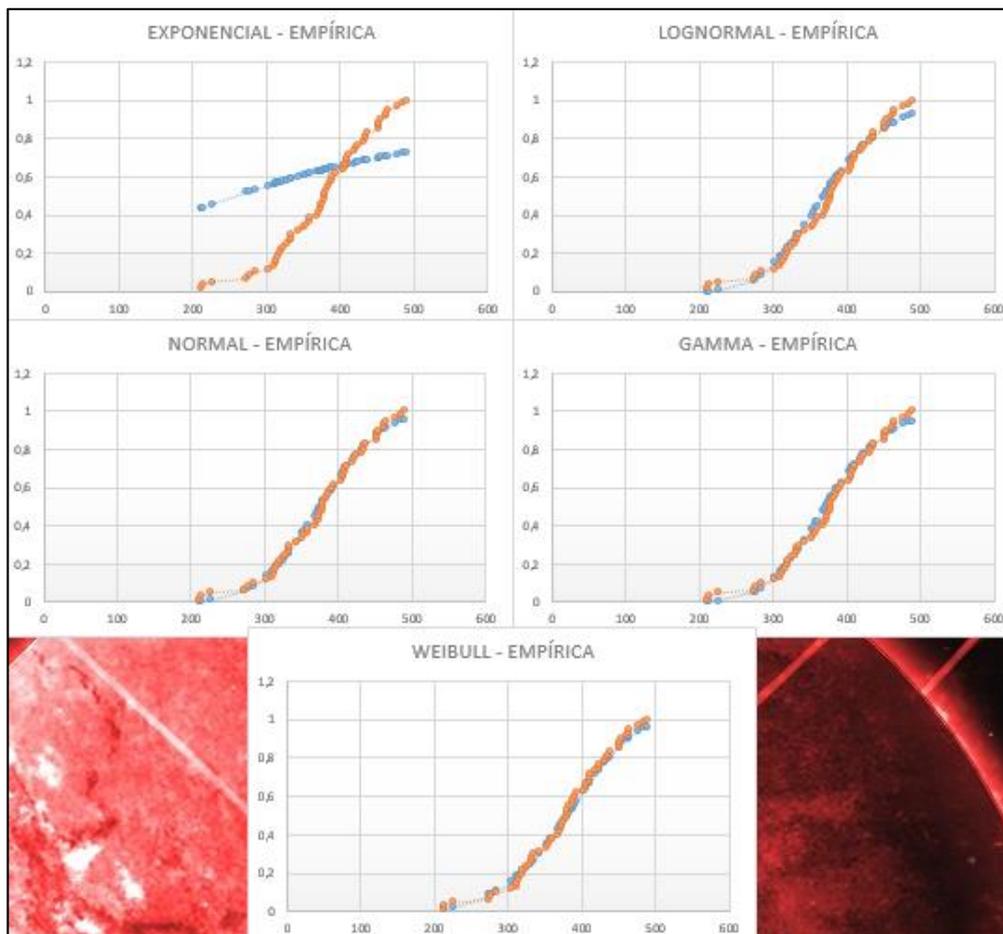


Gráfico 4- 9. Graficas de la Fiabilidad según los datos de la función weibull

Realizado por: Quito Kevin, 2021

Para el cálculo de la fiabilidad para los datos de la función gamma se tomaron los valores a partir de la Tabla 4- 1 con los cuales se construyó la evaluación de Kolmogorov-Smirnov para observar que función se ajusta a los datos como se observa en la Tabla 4- 6.

Tabla 4- 6. Test K-5 de los datos de la función gamma

Estracto de la tabla de valores criticos							
SIGNIFICANCIA							
n>50	0.20	0.15	0.10	0.05	0.02	0.01	0.001
	0,25167549	0,210124838	0,195899371	0,17532996	0,15799836	0,14690871	0,13849143

EVALUACION	
FUNCIÓN	MAX
EXPONENCIAL	0,404315543
NORMAL	0,171703321
WEIBULL	0,154948449
LOGNORMAL	0,105194256
GAMMA	0,131060782
RESULTADO	0,105194256

Realizado por: Quito Kevin, 2021

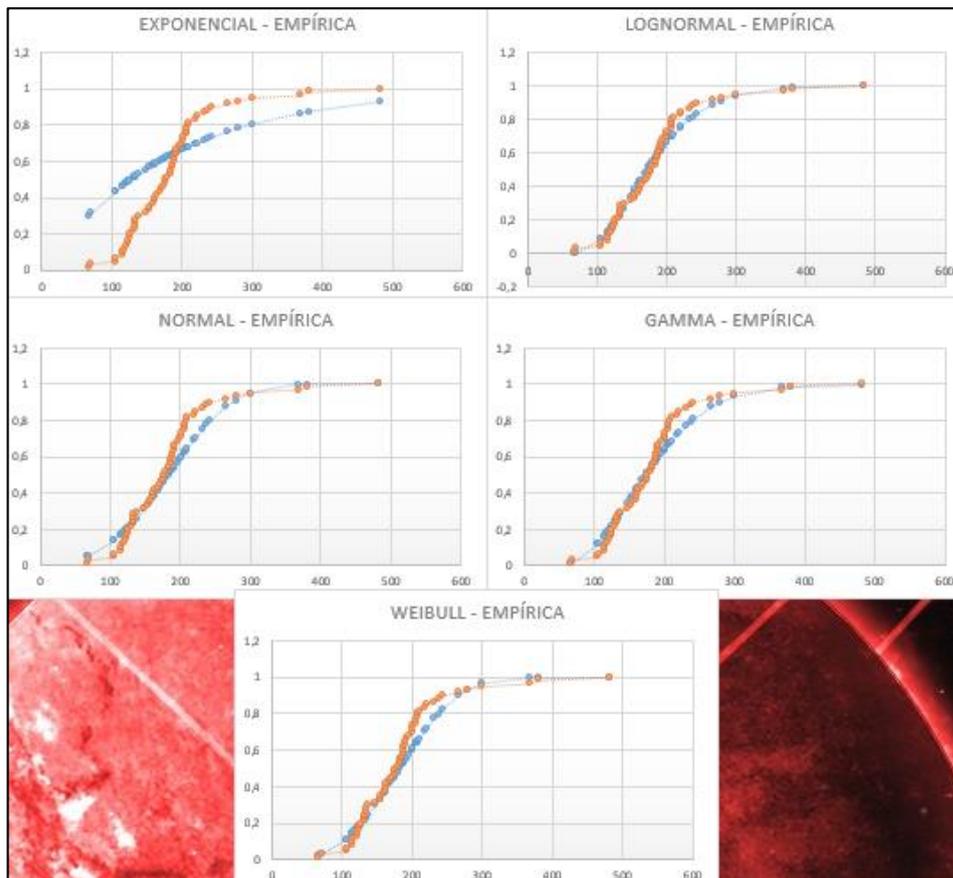


Gráfico 4- 10. Graficas de la Fiabilidad según los datos de la función gamma

Realizado por: Quito Kevin, 2021

CONCLUSIONES

- La recopilación bibliográfica realizada al inicio de esta investigación permitió reconocer las diferentes falencias que tiene el usuario con respecto al conocimiento de los indicadores de fiabilidad y su método de cálculo.
- Mediante una investigación se pudo definir los datos necesarios que se requieren para el cálculo de los indicadores de fiabilidad, así también se logró definir las ecuaciones requeridas y establecer una metodología apropiada para el cálculo de los indicadores de fiabilidad.
- En base a la investigación realizada se compararon las distintas formas que existen para la realización de la programación de la herramienta informática tomando como principal metodología de programación el lenguaje VBA de Microsoft Excel el cual nos permitió crear formularios para la herramienta informática.
- Para validar el funcionamiento total de la herramienta informática fue sometida una prueba la cual consistía en ingresar datos aleatorios que se ajuste a una función ya establecida, de acuerdo con la herramienta informática se realizó las evaluaciones de cada una de las funciones dando como resultado que efectivamente los datos establecidos en la Tabla 4- 1 pertenecen a las funciones establecidas.
- Finalmente, se da cumplimiento al fin principal, realizar una Herramienta informática que pueda mediante valores ingresados de datos aleatorios realizar el cálculo de los indicadores de fiabilidades, además nos procede a generar nuestras graficas de control y de comportamiento de la fiabilidad.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar un estudio profundo para saber el porcentaje real de falencias que tiene el usuario con respecto al conocimiento de los indicadores de fiabilidad y su método de cálculo.
- Se recomienda seleccionar investigar otros entornos de programación que faciliten el desarrollo de herramientas informáticas destinadas al cálculo de indicadores de fiabilidad-
- Se recomienda que para futuros cálculos se elimine los datos con el botón Limpiar para que no exista inconvenientes.
- Para futuras mejoras se recomienda investigar otras pruebas de bondad de ajuste para poderlas agregar a la herramienta informática.
- Se recomienda añadir claves de seguridad para establecer un superusuario con el fin de que el usuario de la herramienta no posea los permisos para realizar cambios que el en la programación de dicha herramienta.

GLOSARIO

Componente: es el primer estrato en la clasificación de activos físicos operativos en los cuales se realiza mantenimiento (ACIEM, 2018, p.13).

Equipo: Estrato de los activos físicos en el cual se realizan acciones de mantenimiento y actividades de costeo sobre el mismo (ACIEM, 2018, p.19).

Estándar: algo que se utiliza como un modelo o patrón de referencia (ACIEM, 2018, p.21).

Falla: incapacidad de un equipo para desempeñar una función de acuerdo con el modelo de rendimiento aceptable para el usuario u operador (Arróspide, 2008, p. 7).

Mantenimiento: Conjunto de tareas necesarias para que un equipo sea conservado o restaurado de tal forma que pueda permanecer con una condición especificada (Arróspide, 2008, p. 10).

Método: conjunto de pasos ordenados que se siguen para descubrir y explicar una verdad (Aguilera y otros, 2013, p.84).

Reparación: restablecimiento de un elemento a una condición aceptables de uso a través del arreglo o reposición de las partes dañadas (ACIEM, 2018, p.40).

Significancia: porcentaje de error permisible para la recolección de datos (Rodó, 2019).

BIBLIOGRAFÍA

ACIEM, *Glosario de términos de mantenimiento*. [en línea] Cundinamarca-Colombia: Asociación Colombiana de Ingenieros, 2018. [Consulta: 26 de enero de 2021]. Disponible en: https://educacion.aciem.org/CIMGA/2018/Especial/Escrito/Glosario_Terminos_Mtto_2018.pdf

AGUILERA Hintelholher, RINA Marissa. Identidad y diferenciación entre Método y Metodología. *Estudios Políticos* [en línea]. 2013, 9 (28), 81-103 [fecha de Consulta 28 de Enero de 2021]. ISSN: 0185-1616. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=426439549004>

ARRÓZPIDE, César. *Modelo de mantención y reparación*. [en línea] Santiago de Chile-Chile:Gestiopolis, 2008. [Consulta: 26 de enero de 2021]. Disponible en: <https://www.gestiopolis.com/glosario-terminos-la-gestion-mantenimiento/>

BENÍTEZ MORALES, Alejandro. *Probabilidad y estadística*. [en línea] México DF-México: Universidad Autónoma de Hidalgo, 2019. [Consulta: 24 de diciembre de 2020]. Disponible en: http://cidecame.uaeh.edu.mx/lcc/mapa/PROYECTO/libro19/52distribucin_exponencial.html.

BUCAY, Juan., & CARRILLO, Marjorie. Optimización de la gestión de mantenimiento basado en la disponibilidad operacional de equipos en la planta de pintura de la empresa Ciauto Ambato-Ecuador. [En línea] (Trabajo de Titulación) (Ingeniería) ESPOCH. Mecánica, Riobamba, Ecuador. 2018. pp.1-18. [Consulta: 7 de diciembre de 2021]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/9825/1/25T00333.pdf>.

CÁRDENAS, Markov. *Tasa de Falla y Tiempo Medio entre Fallas (MTBF)*. [En línea] Gestión de Operaciones, 2020. [Consulta: 5 de diciembre de 2020.] Disponible en: <https://www.gestiondeoperaciones.net/mantenimiento/tasa-de-falla-y-tiempo-medio-entre-fallas-mtbf/>.

CARRIÓN GARCÍA, Andrés y CAROT SÁNCHEZ, Teresa. 2003. *Introducción a la fiabilidad*. [En línea] Valencia-España: Universidad Técnica de Valencia, 2003. [Consulta: 16 de diciembre de 2020.] Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/313141291_INTRODUCCION_A_LA_FIABILIDAD

CASTELA, Francisco. *Mantenimiento industrial*. [En línea] Wordpress, 2016. [Consulta: 7 de diciembre de 2020.] Disponible en: <https://mantenimientoindustrialweb.wordpress.com/2016/06/14/fiabilidad/#:~:text=La%20fiabilidad%20de%20un%20dispositivo,un%20determinado%20per%C3%ADodo%20de%20tiempo..>

CRISMATT, Yira y VALENCIA, Darío. *Análisis de confiabilidad y disponibilidad de las líneas de producción en la empresa COMAI LTDA*. [En línea] (Ingeniería Industrial) Universidad Técnica de Bolívar, Cartagena-Colombia. pp.11-20. [Consulta: 7 de diciembre de 2020.]. Disponible en: <https://biblioteca.utb.edu.co/notas/tesis/0063090.pdf>.

DEVORE, Jay. *Función de densidad de probabilidad*. [En línea] Matemovil, 2020. [Consulta: 17 de diciembre de 2019.] Disponible en: <https://matemovil.com/funcion-de-densidad-de-probabilidad/>.

EMAIMT. CMMS. [blog] 2020. [Consulta: 4 de diciembre de 2020.] Disponible en: https://emaint.fluke.com/cmms-ppc-brand-cmms-es-0518-lp?ls=ESP%20PPC&ctype=PPC&proding=CMMS&cidn=es-maintenance-management-ppc&utm_source=google&utm_medium=ppc&utm_campaign=emaint&gclid=Cj0KCQiA2afBRDzARIsAIVQUOck6Ucmw1GkSfDw18Z_1gVOxZoCRu9Bb15nkyFfzizsK.

FIORETTI, Fernando. *La importancia de la confiabilidad*. [En línea] México: Chesterton, 2020. [Consulta: 26 de enero de 2021.] Disponible en: <https://www.chesterton.com.mx/la-importancia-de-la-confiabilidad/>

FRACTTAL. *6 Razones para implementar un Software de gestión de mantenimiento (CMMS)*. [blog].2020. [Consulta: 26 de enero de 2021.] Disponible en: <https://www.fractal.com/blog/6-razones-por-las-cuales-se-debe-implementar-un-software-de-gesti%C3%B3n-de-mantenimiento-cmms/eam>

G-MANT. *Software de Gestión de Mantenimiento*. [En línea] Uruguay: BCN Informática, 2019. [Consulta: 26 de enero de 2021.] Disponible en: https://montevideo.gub.uy/sites/default/files/concurso/materiales/gmant_descriptivo.pdf

GÓMEZ, Guadalupe & COBO, Erik. "Análisis de Supervivencia". [En línea] GH Continuada, 2004, (Barcelona) pp.51-58. [Consulta: 26 de diciembre de 2020] Disponible en: <https://www.elsevier.es/es-revista-gastroenterologia-hepatologia-continuada-8-articulo-analisis-supervivencia-70000203>

HEIZER, Jay & RENDER, Barry. *Dirección de la producción y operaciones*. [En línea] 8^{va} ed. Madrid-España: Prentice Hall, 2008. [Consulta: 6 de diciembre de 2020.] Disponible en: <https://apuntesutnpilar.files.wordpress.com/2014/03/direccic3b3n-de-la-produccic3b3n-y-de-operaciones-d-e-8va-ed-heizer-render-pearson.pdf>.

HENRIQUEZ, José. *Distribución gamma*. [En línea] Ciencias Actuariales y financieras, 2017. [Concual: 7 de enero de 2021.] Disponible en: <http://files.freddy-jose-henriquez.webnode.com.ve/200000032-6c2186e155/distribucion-gamma.pdf>.

HOSPITAL UNIVERSITARIO RAMÓN Y CAJAL. *Ejemplos de tipos de representaciones gráficas*. [En línea] Madrid-España: Hospital Universitario Ramón y Cajal, 2020. [Consulta: 20 de diciembre de 2020.] Disponible en: http://www.hrc.es/bioest/Ejemplos_histo.html.

ISO 25000. *System and Software Quality Requirements and Evaluation*.

JIMÉNEZ, Roberto. 2019. *Prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov (KS)*. [En línea] España: Universidad de las Palmas de Gran Canaria, 2019. [Consulta: 16 de enero de 2021]. Disponible en: https://www2.ulpgc.es/hege/almacen/download/5/5015/Complemento_3_Prueba_de_Bondad_de_Ajuste_de_Kolmogorov_Smirnov.pdf.

KU MOO, Enrique. *Distribuciones de probabilidad continua*. [En línea] México DF-México: Universidad Autónoma del Estado de México, 2017. [Consulta: 7 de enero de 2021]. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/154797138.pdf>.

MANUFACTURING TERMS. *Tiempo medio entre fallos (MTBF)*. [blog] 2019. [Consulta: 10 de diciembre de 2020.] Disponible en: [https://www.manufacturingterms.com/Spanish/Mean-Time-Between-Failures-\(MTBF\).html](https://www.manufacturingterms.com/Spanish/Mean-Time-Between-Failures-(MTBF).html).

MARTÍNEZ CONDE, Alberto. *Los gráficos de control de Shewhart: principios básicos*. [En línea] Madrid-España: Kailean, 2019. [Consulta: 17 de diciembre de 2020.] Disponible en: <http://kailean.es/los-graficos-control-shewhart-principios-basicos/>.

MARTÍNEZ MONSECO, Francisco Javier. 2020. *Mantenimiento Centrado en Fiabilidad: Análisis de mejoras en el mantenimiento y explotación de un sistema industrial*. [En línea] México: Predictiva21, 2020. [Consulta: 4 de diciembre de 2020.] Disponible en:

<https://predictiva21.com/analisis-mejoras-mantenimiento-explotacion-sistema-industrial/>.

MARTINS, Luis. *Mantenibilidad de los Equipos: Qué Es y Cómo Mejorarla.* [En línea] España: Infraspeak, 2020.[Consulta: 17 de diciembre de 2020.] Disponible en: <https://blog.infraspeak.com/es/mantenibilidad/#:~:text=Hay%20tres%20conceptos%20que%20e s,aver%C3%ADa%20lo%20m%C3%A1s%20r%C3%A1pido%20posible.>

MARTINS, Luis. *MTTR: Qué Es, Cómo Calcularlo y Cómo Reducirlo.* [En línea] España: Infraspeak, 2019.[Consulta: 5 de diciembre de 2020.] Disponible en: <https://blog.infraspeak.com/es/mtrr/>.

MESA GRAJALES, Darío, ORTIZ SÁNCHEZ, Yesid & PINZÓN, Manuel. “La confiabilidad, la disponibilidad y la mantenibilidad, disciplinas modernas aplicadas al mantenimiento”. [En línea] 2006 Scientia et Technica, 12(30), pp. 155-160. [Consulta: 17 de diciembre de 2020] ISSN 0122-1701. Disponible en: <https://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/6513>

MILLER, Irwin & FREUND, John. Función de distribución acumulativa de una variable aleatoria discreta. [En línea] España: Matemovil, 2019. [Consulta: 17 de diciembre de 2020]. Disponible en: <https://matemovil.com/funcion-de-distribucion-acumulativa-de-una-variable-aleatoria-discreta/>.

Navas Alvarez, Miguel Angel. Estudio de la fiabilidad de los sistemas reparables y desarrollo de un procedimiento de análisis multivariante. [En línea] (Trabajo de titulación) (Doctorado) Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, Marid, España, 2017. pp.19-122. [Consulta: 7 de diciembre de 2020] Disponible en : http://e-spacio.uned.es/fez/eserv/tesisuned:IngInd-Manavas/NAVAS_ALVAREZ_MiguelAngel_Tesis.pdf.

PACHECO, Josefina. *¿Qué es un histograma y cómo se hace?* [blog] 2020. [Consultal: 20 de diciembre de 2020]. Disponible en: <https://www.webyempresas.com/histograma/>.

QUINELA DEL RÍO, Alejandro. 2019. *Estadística básica edulcorada.* [En línea] Independently published, 2019. [Consulta: 20 de diciembre de 2020.] Disponible en: <https://bookdown.org/aquintela/EBE/variables-aleatorias-discretas.html>.

RELIASOFT. *Software y soluciones para análisis de confiabilidad y mantenimiento.* [blog] 2020. [Consulta: 4 de diciembre de 2020]. Disponible en: <https://www.reliasoft.com/es/>.

RODÓ, Paula. *Niveles de significación.* [blog] 2019 [Consulta: 17 de enero de 2021.] Disponible en: <https://economipedia.com/definiciones/niveles-de-significacion.html>.

ROLDÁN, Paula. *Indisponible.* [En línea] Economipedia, 2020. [Consulta: 17 de diciembre de 2020.] Disponible en: <https://economipedia.com/definiciones/indisponible.html#:~:text=Indisponible%20es%20un%20concepto%20que,que%20se%20cumplan%20determinadas%20circunstancias..>

RUIZ MITJANA, Laura. 2018. *Prueba de Kolmogórov-Smirnov: qué es y cómo se usa en estadística.* [En línea] España: Psicología y Mente, 2018. [Consulta: 10 de enero de 2021.] Disponible en: <https://psicologiaymente.com/miscelanea/prueba-kolmogorov-smirnov>.

SIERRA FERNÁNDEZ, Carlos & ANDREA CALVO, Emilio. *Funciones de fiabilidad.* [En línea] España: Universidad de Cantabria, 2019. [Consulta: 28 de diciembre de 2020.] Disponible en: <https://ocw.unican.es/pluginfile.php/2489/course/section/2495/Mantenimiento%204.pdf>.

SIERRA FERNÁNDEZ, Carlos & ANDREA CALVO, Emilio. *Introducción a la ingeniería de fiabilidad.* [En línea] España: Universidad de Cantabria, 2018. [Consulta: 10 de diciembre de 2020.] Disponible en: https://ocw.unican.es/pluginfile.php/2489/course/section/2495/Mantenimiento_2%20.pdf.

SOCIEDAD COLOMBIANA DE CARDIOLOGÍA Y CIRUGÍA CARDIOVASCULAR. *Análisis de supervivencia.* [En línea] Colombia: Sociedad Colombiana de Cardiología y Cirugía Cardiovascular, 2017. [Consulta: 20 de diciembre de 2020.] disponible en: <https://scc.org.co/wp-content/uploads/2017/10/Supervivencia.pdf>.

SUAREZ, Juliana. *Lo que no se mide, no se puede mejorar.* [blog] 2019. [Consulta: 4 de diciembre de 2020.] Disponible en: <https://www.aiteco.com/lo-que-no-se-mide/>.

TAMBORERO DEL PINO, José & CEJALVO LAMPEÑA, Antonio. *Fiabilidad: la distribución lognormal.* [En línea] España: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, 2004. [Consulta: 7 de enero de 2021.] Disponible en: https://app.mapfre.com/documentacion/pt/catalogo_imagenes/grupo.do?path=1031811.

TORELL, Wendy & AVELAR, Víctor. *Tiempo medio entre fallas: explicación y estándares.*

[En línea] APC Legendary Reliability, 2017. [Consulta: 10 de diciembre de 2020.] disponible en: <https://silo.tips/download/tiempo-medio-entre-fallas-explicacion-y-estandares>.

UNE-EN 13460. *Mantenimiento: Documentos para el mantenimiento.*

UNE-EN 15341. *Mantenimiento: Indicadores clave de mantenimiento.*

VALDEZ, Irene. *Pruebas de bondad de ajuste.* [En línea] México: UNAM, 2016. [Consulta: 20 de diciembre de 2020.] Disponible en: <http://dcb.ficc.unam.mx/profesores/irene/Notas/PruebaBondad.pdf>.

ZAPATA, Carlos. “Confiabilidad de Componentes No Reparables”. *Seminario Taller Nacional de Instrumentación y Control- Muestra Tecnológica* . [En línea] 2010 (Colombia) 13(12) pp. 1-7. [Consulta: 6 de diciembre de 2020.] Disponible en: <https://academia.utp.edu.co/planeamiento/files/2014/01/utp-confi-componentes-no-reparables.pdf>.



Firmado electrónicamente por:
JHONATAN RODRIGO
PARREÑO UQUILLAS



30-03-2021
0889-DBRAI-UTP-2021

ANEXOS

ANEXO A. DISTRIBUCIÓN NORMAL TIPIFICADA



$$\Phi(z) = P(Z \leq z) = \int_{-\infty}^z \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{t^2}{2}} dt$$



z	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
-3	0,0013	0,0010	0,0007	0,0005	0,0003	0,0002	0,0002	0,0001	0,0001	0,0000
-2.9	0,0019	0,0018	0,0018	0,0017	0,0016	0,0016	0,0015	0,0015	0,0014	0,0014
-2.8	0,0026	0,0025	0,0024	0,0023	0,0022	0,0022	0,0021	0,0021	0,0020	0,0019
-2.7	0,0035	0,0034	0,0033	0,0032	0,0031	0,0030	0,0029	0,0028	0,0027	0,0026
-2.6	0,0047	0,0045	0,0044	0,0043	0,0041	0,0040	0,0039	0,0038	0,0037	0,0036
-2.5	0,0062	0,0060	0,0059	0,0057	0,0055	0,0054	0,0052	0,0051	0,0049	0,0048
-2.4	0,0082	0,0080	0,0078	0,0075	0,0073	0,0071	0,0069	0,0068	0,0066	0,0064
-2.3	0,0107	0,0104	0,0102	0,0099	0,0096	0,0094	0,0091	0,0089	0,0087	0,0084
-2.2	0,0139	0,0136	0,0132	0,0129	0,0125	0,0122	0,0119	0,0116	0,0113	0,0110
-2.1	0,0179	0,0174	0,0170	0,0166	0,0162	0,0158	0,0154	0,0150	0,0146	0,0143
-2.0	0,0228	0,0222	0,0217	0,0212	0,0207	0,0202	0,0197	0,0192	0,0188	0,0183
-1.9	0,0287	0,0281	0,0274	0,0268	0,0262	0,0256	0,0250	0,0244	0,0239	0,0233
-1.8	0,0359	0,0351	0,0344	0,0336	0,0329	0,0322	0,0314	0,0307	0,0301	0,0294
-1.7	0,0446	0,0436	0,0427	0,0418	0,0409	0,0401	0,0392	0,0384	0,0375	0,0367
-1.6	0,0548	0,0537	0,0526	0,0516	0,0505	0,0495	0,0485	0,0475	0,0465	0,0455
-1.5	0,0668	0,0655	0,0643	0,0630	0,0618	0,0606	0,0594	0,0582	0,0571	0,0559
-1.4	0,0808	0,0793	0,0778	0,0764	0,0749	0,0735	0,0721	0,0708	0,0694	0,0681
-1.3	0,0968	0,0951	0,0934	0,0918	0,0901	0,0885	0,0869	0,0853	0,0838	0,0823
-1.2	0,1151	0,1131	0,1112	0,1093	0,1075	0,1057	0,1038	0,1020	0,1003	0,0985
-1.1	0,1357	0,1335	0,1314	0,1292	0,1271	0,1251	0,1230	0,1210	0,1190	0,1170
-1.0	0,1587	0,1562	0,1539	0,1515	0,1492	0,1469	0,1446	0,1423	0,1401	0,1379
-0.9	0,1841	0,1814	0,1788	0,1762	0,1736	0,1711	0,1685	0,1660	0,1635	0,1611
-0.8	0,2119	0,2090	0,2061	0,2033	0,2005	0,1977	0,1949	0,1922	0,1894	0,1867
-0.7	0,2420	0,2389	0,2358	0,2327	0,2297	0,2266	0,2236	0,2207	0,2177	0,2148
-0.6	0,2743	0,2709	0,2676	0,2643	0,2611	0,2578	0,2546	0,2514	0,2483	0,2451
-0.5	0,3085	0,3050	0,3015	0,2981	0,2946	0,2912	0,2877	0,2843	0,2810	0,2776
-0.4	0,3446	0,3409	0,3372	0,3336	0,3300	0,3264	0,3228	0,3192	0,3156	0,3121
-0.3	0,3821	0,3783	0,3745	0,3707	0,3669	0,3632	0,3594	0,3557	0,3520	0,3483
-0.2	0,4207	0,4168	0,4129	0,4090	0,4052	0,4013	0,3974	0,3936	0,3897	0,3859
-0.1	0,4602	0,4562	0,4522	0,4483	0,4443	0,4404	0,4364	0,4325	0,4286	0,4247
-0.0	0,5000	0,4960	0,4920	0,4880	0,4840	0,4801	0,4761	0,4721	0,4681	0,4641

z	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.0	0,5000	0,5040	0,5080	0,5120	0,5160	0,5199	0,5239	0,5279	0,5319	0,5359
0,1	0,5398	0,5438	0,5478	0,5517	0,5557	0,5596	0,5636	0,5675	0,5714	0,5753
0,2	0,5793	0,5832	0,5871	0,5910	0,5948	0,5987	0,6026	0,6064	0,6103	0,6141
0,3	0,6179	0,6217	0,6255	0,6293	0,6331	0,6368	0,6406	0,6443	0,6480	0,6517
0,4	0,6554	0,6591	0,6628	0,6664	0,6700	0,6736	0,6772	0,6808	0,6844	0,6879
0,5	0,6915	0,6950	0,6985	0,7019	0,7054	0,7088	0,7123	0,7157	0,7190	0,7224
0,6	0,7257	0,7291	0,7324	0,7357	0,7389	0,7422	0,7454	0,7486	0,7517	0,7549
0,7	0,7580	0,7611	0,7642	0,7673	0,7704	0,7734	0,7764	0,7794	0,7823	0,7852
0,8	0,7881	0,7910	0,7939	0,7967	0,7995	0,8023	0,8051	0,8078	0,8106	0,8133
0,9	0,8159	0,8186	0,8212	0,8238	0,8264	0,8289	0,8315	0,8340	0,8365	0,8389
1,0	0,8413	0,8438	0,8461	0,8485	0,8508	0,8531	0,8554	0,8577	0,8599	0,8621
1,1	0,8643	0,8665	0,8686	0,8708	0,8729	0,8749	0,8770	0,8790	0,8810	0,8830
1,2	0,8849	0,8869	0,8888	0,8907	0,8925	0,8944	0,8962	0,8980	0,8997	0,9015
1,3	0,9032	0,9049	0,9066	0,9082	0,9099	0,9115	0,9131	0,9147	0,9162	0,9177
1,4	0,9192	0,9207	0,9222	0,9236	0,9251	0,9265	0,9279	0,9292	0,9306	0,9319
1,5	0,9332	0,9345	0,9357	0,9370	0,9382	0,9394	0,9406	0,9418	0,9429	0,9441
1,6	0,9452	0,9463	0,9474	0,9484	0,9495	0,9505	0,9515	0,9525	0,9535	0,9545
1,7	0,9554	0,9564	0,9573	0,9582	0,9591	0,9599	0,9608	0,9616	0,9625	0,9633
1,8	0,9641	0,9649	0,9656	0,9664	0,9671	0,9678	0,9686	0,9693	0,9699	0,9706
1,9	0,9713	0,9719	0,9726	0,9732	0,9738	0,9744	0,9750	0,9756	0,9761	0,9767
2,0	0,9772	0,9778	0,9783	0,9788	0,9793	0,9798	0,9803	0,9808	0,9812	0,9817
2,1	0,9821	0,9826	0,9830	0,9834	0,9838	0,9842	0,9846	0,9850	0,9854	0,9857
2,2	0,9861	0,9864	0,9868	0,9871	0,9875	0,9878	0,9881	0,9884	0,9887	0,9890
2,3	0,9893	0,9896	0,9898	0,9901	0,9904	0,9906	0,9909	0,9911	0,9913	0,9916
2,4	0,9918	0,9920	0,9922	0,9925	0,9927	0,9929	0,9931	0,9932	0,9934	0,9936
2,5	0,9938	0,9940	0,9941	0,9943	0,9945	0,9946	0,9948	0,9949	0,9951	0,9952
2,6	0,9953	0,9955	0,9956	0,9957	0,9959	0,9960	0,9961	0,9962	0,9963	0,9964
2,7	0,9965	0,9966	0,9967	0,9968	0,9969	0,9970	0,9971	0,9972	0,9973	0,9974
2,8	0,9974	0,9975	0,9976	0,9977	0,9977	0,9978	0,9979	0,9979	0,9980	0,9981
2,9	0,9981	0,9982	0,9982	0,9983	0,9984	0,9984	0,9985	0,9985	0,9986	0,9986
3	0,9987	0,9990	0,9993	0,9995	0,9997	0,9998	0,9998	0,9999	0,9999	1,0000

ANEXO B. INFORMACIÓN TÉCNICA SEGÚN LA NORMA UNE-EN13460

	Nombre del documento	Descripción del documento	Información
5.1	Datos técnicos	Especificaciones proporcionadas por el fabricante del elemento.	<p>Fabricante</p> <p>Fecha de fabricación</p> <p>Modelo/tipo/número de serie</p> <p>Dimensiones</p> <p>Peso</p> <p>Capacidad</p> <p>Requisitos de potencia y servicio</p> <p>Especificaciones de las interfases</p> <p>Otros: referidos a naturaleza física, detalles de montaje y datos de operación</p>
5.2	Manual de operación	Instrucciones técnicas para conseguir un desempeño funcional idóneo de acuerdo con sus especificaciones técnicas y condiciones de seguridad.	<p>Modelo/tipo</p> <p>Fecha del manual (edición)</p> <p>Detalles técnicos del elemento</p> <p>Descripción funcional del elemento</p> <p>Capacidades y desempeño funcionales</p> <p>Diseño, seguridad y margen de operación</p> <p>Procedimientos para:</p> <ul style="list-style-type: none"> - puesta en servicio/puesta en marcha; - rodaje; - operación en servicio continuo; - parada controlada <ul style="list-style-type: none"> - incidencias y emergencias <p>Limitaciones de operación/precauciones</p> <p>Preceptos legales y reglamentos que le conciernen</p>

5.3	Manuales de mantenimiento	Instrucciones técnicas destinadas a preservar un elemento en un estado en el que pueda desarrollar las funciones requeridas, o restituirle a tal estado.	<p>Modelo/tipo</p> <p>Fecha del manual (edición)</p> <p>Detalles técnicos del elemento</p> <p>Operaciones/acciones de mantenimiento preventivo:</p> <ul style="list-style-type: none"> - inspecciones; - calibración/ajuste; - sustitución de componentes; <ul style="list-style-type: none"> - lubricación. Procedimientos para: - búsqueda de causa de averías; - desmontaje/montaje; - reparación; - ajuste. <p>Diagramas causa-efecto</p> <p>Herramientas especiales requeridas</p> <p>Repuestos recomendados</p> <p>Requisitos de seguridad (señales, ropa de trabajo, control de fuente de energía,)</p>
5.4	Relación de componentes repuestos	Relación completa de los elementos que forman parte de otro.	<p>Descripción de la avería del equipo</p> <p>Elemento de nivel superior (encabezamiento de la relación) (Modelo/tipo/número de serie)</p> <p>Número del elemento</p> <p>Descripción del elemento Cantidad de elementos</p>
5.5	Disposición	Plano que muestra la distribución de posiciones de los componentes reemplazables de un elemento.	<p>Código e identificación del plano</p> <p>Fecha (edición/revisión)</p> <p>Dimensiones</p> <p>Identificación y localización de los componentes del elemento</p> <p>Espacio necesario para desmontaje y mantenimiento</p> <p>Información relevante acerca de los detalles de conexión</p> <p>Cuando sea necesario: puntos de elevación, ventanas de inspección, escalas, ...</p>

5.6	Detalle	Plano con lista de componentes para asegurar el desmontaje, reparación y montaje de elementos.	Código de identificación del elemento que se detalla Plano de montaje mostrando las posiciones de las partes Identificación de cada componente del plano: – número del componente; – descripción; – número de unidades. Cualquier otra información relevante para operaciones de montaje y desmontaje
5.7	Plano de engrase	Plano que muestra la posición de cada punto de engrase del elemento, con datos y especificaciones de engrase.	Código e identificación del plano Fecha (edición/revisión) Identificación del elemento (código y nombre) Posición del punto de engrase (plano) Identificación del punto de engrase Descripción del punto de engrase Especificaciones del lubricante Ruta de engrase, cuando sea necesario
5.8	Esquema unifilar	Diagrama general de distribución de energía – eléctrico; – neumático; – hidráulico. Esta clase de diagramas incluye los circuitos del cuadro de distribución.	Código e identificación del diagrama Fecha (edición/revisión) Unidades de distribución de potencia (generadores, transformadores, conmutadores, rectificadores, ...) Consumidores finales (solamente para los conmutadores de alta tensión) Líneas de puesta a tierra para sistemas, equipos y cableado (se incluirán los principios generales de puesta a tierra)
5.9	Diagrama lógico	Diagrama del sistema de control para aclarar la lógica general del sistema.	Código e identificación del diagrama Fecha (edición/revisión) Funciones lógicas (símbolos, interconexiones y flujo de control) Modos de operación (por ejemplo:

			arranque, parada, alarma, funciones en caso de fallo)
5.10	Esquema eléctrico desarrollado	Diagrama de circuitos de distribución general y control.	<p>Código e identificación del diagrama</p> <p>Fecha (edición/revisión)</p> <p>Todas las conexiones internas para control, alarmas, protección, enclavamientos, funciones de fallo, monitorización, ...</p> <p>Reglaje de temporizadores, y relés de protección térmica y magnética</p> <p>Numeración de hilos conductores y cables</p> <p>Numeración de terminales</p> <p>Relación de componentes de los sistemas de control y sistemas de protección en línea</p> <p>Código de localización de conmutador/cuadro de maniobra</p> <p>Código de localización de receptores/generadores</p> <p>Detalles de terminación y tipo de señal externa (señales de fallo por fuego o gas, etc.)</p> <p>Valores nominales de potencia e intensidad</p> <p>Planos de referencia</p>
5.11	Diagrama de tuberías e instrumentación	Diagrama de conducciones generales de fluidos (aire, vapor, aceite, combustible, ...) y de control.	<p>Código e identificación del diagrama</p> <p>Fecha (edición/revisión)</p> <p>Todas las conexiones internas para control, alarmas, protección, enclavamientos, funciones de fallo, monitorización, ...</p> <p>Numeración de tuberías</p> <p>Código de localización de válvulas</p> <p>Numeración de terminales</p> <p>Relación de componentes de los sistemas de control y sistemas de protección en línea</p> <p>Código de localización de receptores/generadores</p> <p>Detalles de terminación y tipo de</p>

			<p>señal externa (color, señal de avería por fuego y gas, etc.)</p> <p>Valores nominales de presión, flujo y temperatura</p> <p>Planos de referencia</p>
5.12	Emplazamiento	Plano que contiene la posición de todos los elementos de campo en la zona considerada.	<p>Código e identificación del plano</p> <p>Fecha (edición/revisión)</p> <p>Identificación de zona (código y nombre)</p> <p>Identificación del elemento y código de la ubicación</p> <p>Dibujos o símbolos del elemento, sin expresión de dimensiones exactas</p>
5.13	Distribución en planta	Plano que muestra todas las zonas de una planta determinada.	<p>Código e identificación del plano</p> <p>Fecha (edición/revisión)</p> <p>Nombre de la planta (y código, cuando sea necesario)</p> <p>Zonas: posición relativa, dimensiones, nombres y códigos</p>
5.14	Informe del protocolo de pruebas	Informe de puesta en servicio que pone de manifiesto que un elemento cumple las especificaciones.	<p>Fabricante Modelo/tipo/número de serie Fecha de fabricación</p> <p>Fecha de puesta en servicio</p> <p>Periodo y condiciones de la garantía</p> <p>Descripción de los detalles técnicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - tamaño (si se requiere); - peso (si se requiere); - requisitos de potencia y servicio (alimentación); - capacidad/desempeño (producción o servicio); - otros: relativos a la naturaleza física,

			<p>detalles de montaje y datos de operación.</p> <p>Nombre y firma del usuario final del elemento, aceptando los datos anteriores.</p>
5.15	Certificados	<p>Certificados específicos relativos a reglamentos legales y de seguridad de elementos (equipos de elevación, calderas de vapor, recipientes a presión, etc.).</p>	<p>Fabricante</p> <p>Modelo/tipo/número de serie</p> <p>Fecha de fabricación</p> <p>Concepto a certificar</p> <p>Fecha del certificado</p> <p>Organismo/oficina de certificación y firma/sello</p>

ANEXO C. INDICADORES TÉCNICOS SEGÚN LA NORMA UNE-EN 15341

T1	$\frac{\text{Tiempo total de funcionamiento}}{\text{Tiempo total de funcionamiento} + \text{tiempo de indisponibilidad por mantenimiento}}$	× 100 (disponibilidad relacionada con mantenimiento)
T2	$\frac{\text{Tiempo de disponibilidad conseguido durante el tiempo requerido}}{\text{Tiempo requerido}}$	× 100 (disponibilidad operacional)
T3	$\frac{\text{Número de fallos debidos a mantenimiento que generan daño ambiental}}{\text{Tiempo de calendario}}$	
T4	$\frac{\text{Volumen anual de residuos o efectos nocivos relacionados con mantenimiento}}{\text{Tiempo de calendario}}$	
T5	$\frac{\text{Número de lesiones del personal debidas al mantenimiento}}{\text{Tiempo de trabajo}}$	
T6	$\frac{\text{Tiempo total de funcionamiento}}{(\text{Tiempo total de funcionamiento} + \text{tiempo de indisponibilidad por fallos})}$	× 100
T7	$\frac{\text{Tiempo total de funcionamiento}}{(\text{Tiempo total de funcionamiento} + \text{tiempo de indisponibilidad por mantenimiento planificado y programado})}$	× 100
T8	$\frac{\text{Tiempo de mantenimiento preventivo que origina tiempo de indisponibilidad}}{\text{Tiempo total de indisponibilidad por mantenimiento}}$	× 100
T9	$\frac{\text{Tiempo de mantenimiento sistemático que origina tiempo de indisponibilidad}}{\text{Tiempo total de indisponibilidad por mantenimiento}}$	× 100
T10	$\frac{\text{Tiempo de mantenimiento basado en la condición que origina tiempo de indisponibilidad}}{\text{Tiempo total de indisponibilidad por mantenimiento}}$	× 100
T11	$\frac{\text{Número de fallos que causan lesiones al personal}}{\text{Número total de fallos}}$	× 100
T12	$\frac{\text{Número de fallos que pueden causar lesiones al personal}}{\text{Número total de fallos}}$	× 100
T13	$\frac{\text{Número de fallos que causan daños al medio ambiente}}{\text{Número total de fallos}}$	× 100
T14	$\frac{\text{Número de fallos que pueden causar daños al medio ambiente}}{\text{Número total de fallos}}$	× 100
T15	$\frac{\text{Tiempo total de funcionamiento}}{\text{Número de órdenes de trabajo de mantenimiento que causan tiempo de indisponibilidad}}$	
T16	$\frac{\text{Tiempo total de funcionamiento}}{\text{Número de órdenes de trabajo de mantenimiento}}$	
T17	$\frac{\text{Tiempo total de funcionamiento}}{\text{Número de fallos}}$	= MTBF
T18	$\frac{\text{Número de sistemas cubiertos por un análisis de criticidad}}{\text{Número total de sistemas}}$	× 100
T19	$\frac{\text{Horas-hombre usadas para planificar en un proceso de planificación de mantenimiento sistemático}}{\text{Horas hombre totales de personal interno de mantenimiento}}$	× 100
T20	$\frac{\text{Tiempo de mantenimiento planificado y programado que causa tiempo de indisponibilidad en la producción}}{\text{Tiempo total de mantenimiento planificado y programado que requiere tiempo de indisponibilidad}}$	× 100
T21	$\frac{\text{Tiempo total de recuperación}}{\text{Número de fallos}}$	= MTTR

ANEXO D. TABLA DE VALORES DE BONDAD DE KOLMOGOROV SMIRNOV

VALORES CRITICOS. TEST DE KOLMOGOROV-SMIRNOV							
n	Y						
	0.001	0.01	0.02	0.05	0.10	0.15	0.20
1		0,99500	0,99000	0,97500	0,95000	0,92500	0,90000
2	0,97764	0,92930	0,90000	0,84189	0,77639	0,72614	0,68377
3	0,92063	0,82900	0,78456	0,70760	0,63604	0,59582	0,56481
4	0,85046	0,73421	0,68887	0,62394	0,56522	0,52476	0,49265
5	0,78137	0,66855	0,62718	0,56327	0,50945	0,47439	0,44697
6	0,72479	0,61660	0,57741	0,51926	0,46799	0,43526	0,41035
7	0,67930	0,57580	0,53844	0,48343	0,43607	0,40497	0,38145
8	0,64098	0,54180	0,50654	0,45427	0,40962	0,38062	0,35828
9	0,60846	0,51330	0,47960	0,43001	0,38746	0,36006	0,33907
10	0,58042	0,48895	0,45662	0,40925	0,36866	0,34250	0,32257
11	0,55588	0,46770	0,43670	0,39122	0,35242	0,32734	0,30826
12	0,53422	0,44905	0,41918	0,37543	0,33815	0,31408	0,29573
13	0,51490	0,43246	0,40362	0,36143	0,32548	0,30233	0,28466
14	0,49753	0,41760	0,38970	0,34890	0,31417	0,29181	0,27477
15	0,48182	0,40420	0,37713	0,33760	0,30397	0,28233	0,26585
16	0,46750	0,39200	0,36571	0,32733	0,29471	0,27372	0,25774
17	0,45440	0,38085	0,35528	0,31796	0,28627	0,26587	0,25035
18	0,44234	0,37063	0,34569	0,30936	0,27851	0,25867	0,24356
19	0,42119	0,36166	0,33685	0,30142	0,27135	0,25202	0,23731
20	0,42085	0,35240	0,32866	0,29407	0,16473	0,24587	0,23152
25	0,37843	0,31656	0,30349	0,26404	0,23767	0,22074	0,20786
30	0,34672	0,28988	0,27704	0,24170	0,21756	0,20207	0,19029
35	0,32187	0,26898	0,25649	0,22424	0,20184	0,18748	0,17655
40	0,30169	0,25188	0,23993	0,21017	0,18939	0,17610	0,16601
45	0,28482	0,23780	0,22621	0,19842	0,17881	0,16626	0,15673
50	0,27051	0,22585	0,21460	0,18845	0,16982	0,11579	0,14886
mayor a 50	1,94947/√n	1,62762/√n	1,51743/√n	1,35810/√n	1,22385/√n	1,13795/√n	1,07275/√n

ANEXO E. PROGRAMACION DE EXCEL MEDIANTE VISUAL BASIC

```
Microsoft Visual Basic para Aplicaciones - tesis evaluacion.xlsm - [formulario (Código)]
Archivo Edición Ver Insertar Formato Depuración Ejecutar Herramientas Complementos Veggana Ayuda
Proyecto - VBAProject [UserForm] [Activar]
Formulario (Código)
Hoja5 (DES)
Hoja6 (EX)
Hoja7 (NO)
Hoja8 (VE)
Hoja9 (LOC)
ThisWorkbook
Formularios
Filtrar
formulario
Inicio_01
OT
Módulos
Propiedades - formulario
Formulario UserForm
Alfabetica Por categoria
(Name) formulario
BackColor #800000
BorderColor #800000
BorderStyle -1 -borderde
Caption BASE DE DA
Cycle 0 - fmCycle
DrawBuffer 32000
Enabled True
Font Tahoma
ForeColor #800000
Height 900
HelpContextID 0
KeepScrolls 3 - fmScroll
Left 3
MouseIcon (ninguno)
MousePointer 0 - fmMouse
Picture (ninguno)
PictureAlign 2 - fmPictur
PictureSizeMode 0 - fmPictur
PictureTiling False
RightToLeft False
ScrollBars 0 - fmScroll
ScrollHeight 0
ScrollLeft 0
ScrollTop 0
Private Sub bt_agregar_Click()
    nombrev = Me.txt_nombre.Value
    codigov = Me.txt_codigo.Value
    If nombrev = "" Or codigov = "" Then
        MsgBox ("Ingrese nombre del equipo y su codigo por favor")
    End If
    uno = WorksheetFunction.CountIf(Range("C:C"), nombrev)
    dos = WorksheetFunction.CountIf(Range("D:D"), codigov)
    If sumando = uno + dos
        MsgBox ("El registro ya existe")
    Else
        Range("B4").EntireRow.Insert
        Range("B4").Value = Me.txt_numero.Value
        Range("C4").Value = Me.txt_nombre.Value
        Range("D4").Value = Me.txt_codigo.Value
        Range("E4").Value = Me.txt_marca.Value
        Range("F4").Value = Me.txt_modelo.Value
        Range("G4").Value = Me.txt_linea.Value
        Range("H4").Value = Me.txt_area.Value
        Range("I4").Value = Me.txt_fecha.Value
        Range("J4").Value = Me.txt_horas.Value
        txt_numero.Value = Range("B2").Value
        Me.txt_nombre.Value = Empty
        Me.txt_codigo.Value = Empty
        Me.txt_marca.Value = Empty
        Me.txt_modelo.Value = Empty
        Me.txt_linea.Value = Empty
        Me.txt_area.Value = Empty
        Me.txt_fecha.Value = Empty
        Me.txt_horas.Value = Empty
        Me.LISTA.RowSource = "CLIENTES"
        Me.LISTA.ColumnCount = 9
    End If
End Sub
Private Sub BT_busqueda_Click()
```

```
Microsoft Visual Basic para Aplicaciones - tesis evaluacion.xlsm - [formulario (Código)]
Archivo Edición Ver Insertar Formato Depuración Ejecutar Herramientas Complementos Veggana Ayuda
Proyecto - VBAProject [UserForm] [Activar]
Formulario (Código)
Hoja5 (DES)
Hoja6 (EX)
Hoja7 (NO)
Hoja8 (VE)
Hoja9 (LOC)
ThisWorkbook
Formularios
Filtrar
formulario
Inicio_01
OT
Módulos
Propiedades - formulario
Formulario UserForm
Alfabetica Por categoria
formulario
Private Sub BT_busqueda_Click()
    numerodatos = Sheets("BD").Range("B" & Rows.Count).End(xlUp).Row
    LISTA = Clear
    LISTA.RowSource = Clear
    y = 0
    For fila = 4 To numerodatos
        nombre = ActiveSheet.Cells(fila, 3).Value
        If UCase(nombre) Like "*" & UCase(Me.txt_busqueda.Value) & "*" Then
            Me.LISTA.AddItem
            Me.LISTA.List(y, 0) = ActiveSheet.Cells(fila, 2).Value
            Me.LISTA.List(y, 1) = ActiveSheet.Cells(fila, 3).Value
            Me.LISTA.List(y, 2) = ActiveSheet.Cells(fila, 4).Value
            Me.LISTA.List(y, 3) = ActiveSheet.Cells(fila, 5).Value
            Me.LISTA.List(y, 4) = ActiveSheet.Cells(fila, 6).Value
            Me.LISTA.List(y, 5) = ActiveSheet.Cells(fila, 7).Value
            Me.LISTA.List(y, 6) = ActiveSheet.Cells(fila, 8).Value
            Me.LISTA.List(y, 7) = ActiveSheet.Cells(fila, 9).Value
            Me.LISTA.List(y, 8) = ActiveSheet.Cells(fila, 10).Value
            y = y + 1
        End If
    Next
End Sub
Private Sub bt_editar_Click()
    If LISTA.ListIndex = -1 Then
        MsgBox ("Seleccione un registro")
    Else
        formulario.Height = 900
        Me.bt_agregar.Enabled = False
        Me.bt_modificar.Enabled = True
    End If
End Sub
```

```

Microsoft Visual Basic para Aplicaciones - tesis evaluacion.xlsm - [formulario] (Código)
Archivo Edición Ver Insertar Formato Depuración Ejecutar Herramientas Complementos Ventana Ayuda
Proyecto - VBAProject [Activar]
UserForm
Private Sub bt_eliminar_Click()
    valor_buscado = txt_numero.Value
    datos = txt_nombre.Value & " " & txt_codigo.Value
    If LISTA.ListIndex = -1 Then
        MsgBox ("Seleccione un registro")
    Else
        respuesta = Application.InputBox("¿Desea eliminar el registro seleccionado: " & datos, "Ingrese clave")
        If respuesta = 123 Then
            Set fila = Sheets("BD").Range("B:B").Find(valor_buscado, lookat:=xlWhole)
            linea = fila.Row
            Range("B" & linea).EntireRow.Delete
        End If
    End If
End Sub

Private Sub bt_limpiar_Click()
    formulario.Height = 224
    Me.txt_nombre.Value = Empty
    Me.txt_codigo.Value = Empty
    Me.txt_marca.Value = Empty
    Me.txt_modelo.Value = Empty
    Me.txt_linea.Value = Empty
    Me.txt_area.Value = Empty
    Me.txt_fecha.Value = Empty
    Me.txt_horas.Value = Empty
    Me.txt_buscada.Value = Empty
    Me.LISTA.RowSource = "CLIENTES"
    Me.LISTA.ColumnCount = 9
End Sub

Private Sub bt_modificar_Click()
    Dim fila As Object
    Dim linea As Integer
    valor_buscado = Me.txt_numero.Value
    Set fila = Sheets("BD").Range("B:B").Find(valor_buscado, lookat:=xlWhole)
    linea = fila.Row
    Range("C" & linea).Value = Me.txt_nombre.Value
    Range("D" & linea).Value = Me.txt_codigo.Value
    Range("E" & linea).Value = Me.txt_marca.Value
    Range("F" & linea).Value = Me.txt_modelo.Value
    Range("G" & linea).Value = Me.txt_linea.Value
End Sub

```

```

Microsoft Visual Basic para Aplicaciones - tesis evaluacion.xlsm - [formulario] (Código)
Archivo Edición Ver Insertar Formato Depuración Ejecutar Herramientas Complementos Ventana Ayuda
Proyecto - VBAProject [Activar]
Click
Range("G" & linea).Value = Me.txt_linea.Value
Range("H" & linea).Value = Me.txt_area.Value
Range("I" & linea).Value = Me.txt_fecha.Value
Range("J" & linea).Value = Me.txt_horas.Value
End Sub

Private Sub bt_registrar_Click()
    formulario.Height = 500
    Me.bt_modificar.Enabled = False
    Me.txt_numero.Value = Range("B2").Value
    Me.bt_agregar.Enabled = True
End Sub

Private Sub LISTA_Click()
    Dim codigo As Integer
    codigo = LISTA.List(ListA.ListIndex, 0)
    Me.txt_numero.Value = codigo
    Me.bt_agregar.Enabled = False
    Me.bt_modificar.Enabled = True
End Sub

Private Sub txt_numero_Change()
    Dim codigo As Integer
    codigo = txt_numero.Value
    Me.txt_nombre = Application.WorksheetFunction.VLookup(codigo, Sheets("BD").Range("B:J"), 2, 0)
    Me.txt_codigo = Application.WorksheetFunction.VLookup(codigo, Sheets("BD").Range("B:J"), 3, 0)
    Me.txt_marca = Application.WorksheetFunction.VLookup(codigo, Sheets("BD").Range("B:J"), 4, 0)
    Me.txt_modelo = Application.WorksheetFunction.VLookup(codigo, Sheets("BD").Range("B:J"), 5, 0)
    Me.txt_linea = Application.WorksheetFunction.VLookup(codigo, Sheets("BD").Range("B:J"), 6, 0)
    Me.txt_area = Application.WorksheetFunction.VLookup(codigo, Sheets("BD").Range("B:J"), 7, 0)
    Me.txt_fecha = Application.WorksheetFunction.VLookup(codigo, Sheets("BD").Range("B:J"), 8, 0)
    Me.txt_horas = Application.WorksheetFunction.VLookup(codigo, Sheets("BD").Range("B:J"), 9, 0)
End Sub

Private Sub UserForm_Activate()
    Me.txt_numero.Enabled = False
    Me.LISTA.RowSource = "CLIENTES"
    formulario.Height = 224
    LISTA.ColumnHeaders = True
End Sub

```

```

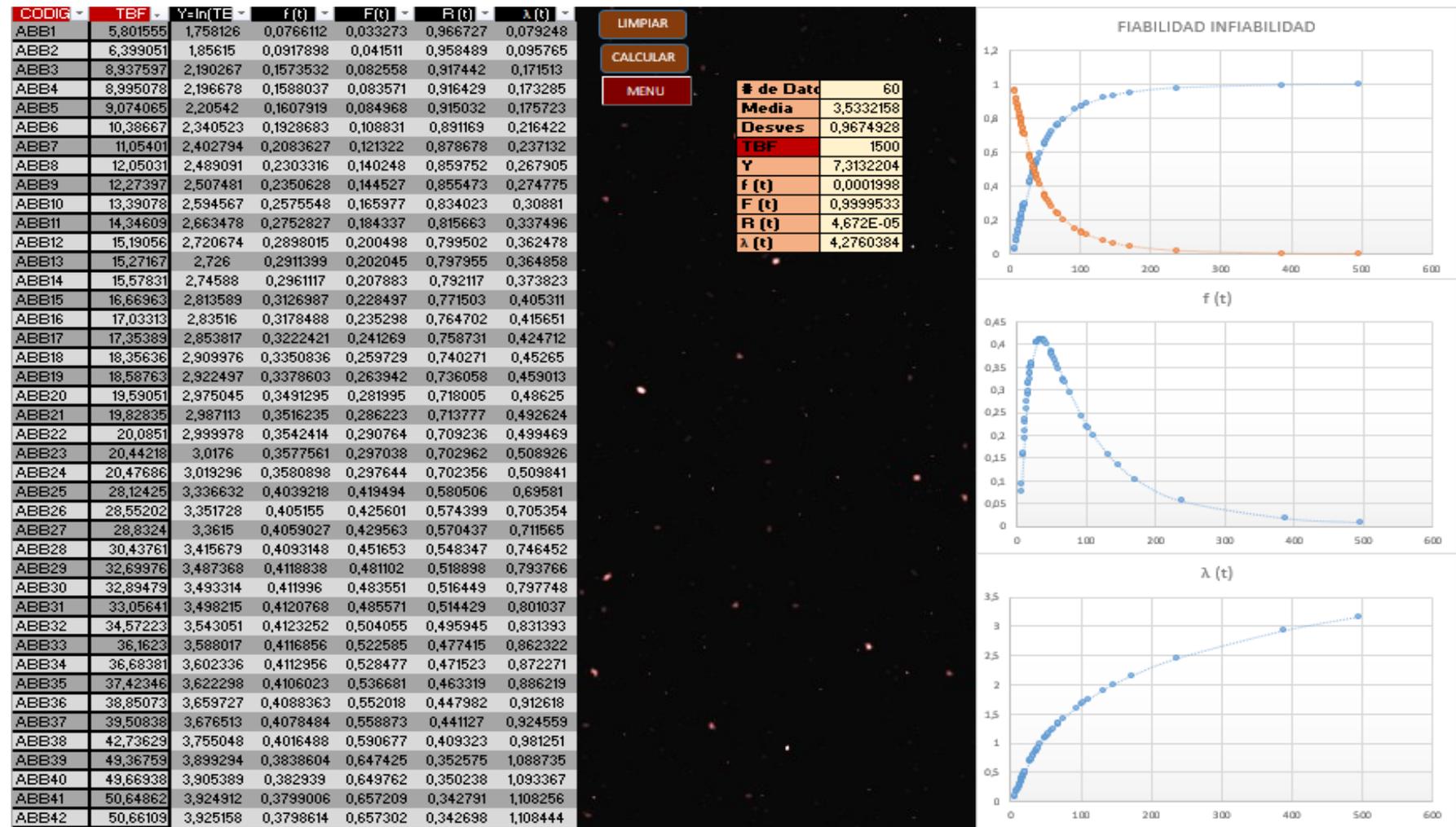
Microsoft Visual Basic para Aplicaciones - tesis evaluacion.xlsm - [OT] (Código)
Archivo Edición Ver Insertar Formato Depuración Ejecutar Herramientas Complementos Ventana Ayuda
Proyecto - VBAProject [Activar]
UserForm
Private Sub bt_agregar_Click()
    nombrev = Me.txt_codigo.Value
    codigov = Me.txt_nto.Value
    If nombrev = "" Or codigov = "" Then
        MsgBox ("Seleccione un equipo y genere su número de orden de trabajo")
        Exit Sub
    End If
    uno = WorksheetFunction.CountIf(Range("C:C"), nombrev)
    dos = WorksheetFunction.CountIf(Range("D:D"), codigov)
    sumando = uno + dos
    If sumando = 2 Then
        MsgBox ("Ya orden de trabajo ya existe")
    Else
        Range("B4").EntireRow.Insert
        Range("B4").Value = Me.txt_numero.Value
        Range("C4").Value = Me.txt_codigo.Value
        Range("D4").Value = Me.txt_nto.Value
        Range("E4").Value = Me.txt_tot.Value
        Range("F4").Value = Me.txt_fiot.Value
        Range("G4").Value = Me.txt_hiot.Value
        Range("H4").Value = Me.txt_ffot.Value
        Range("I4").Value = Me.txt_hfot.Value
        Range("J4").Value = Me.txt_observa.Value
        txt_numero.Value = Range("B2").Value
        Me.txt_codigo.Value = Empty
        Me.txt_nto.Value = Empty
        Me.txt_tot.Value = Empty
        Me.txt_fiot.Value = Empty
        Me.txt_hiot.Value = Empty
        Me.txt_ffot.Value = Empty
        Me.txt_hfot.Value = Empty
        Me.txt_observa.Value = Empty
        Me.ORDER.RowSource = "OT"
        Me.ORDER.ColumnCount = 9
    End If
End Sub

Private Sub bt_editar_Click()
    If ORDER.ListIndex = -1 Then

```

```
Microsoft Visual Basic para Aplicaciones - tesis evaluacion.xlsm - [OT (Código)]
Archivo Edición Ver Insertar Formato Depuración Ejecutar Herramientas Complementos Vegtana Ayuda
Proyecto - VBAProject [UserForm] [Activate]
Hojas3 (Hoja)
Hojas4 (KOL)
Hojas5 (OIS)
Hojas6 (EIG)
Hojas7 (NOI)
Hojas8 (WE)
Hojas9 (LDC)
ThisWorkbook
Formularios
Filtrar
formulario
inicio_01
OT
Propiedades - OT
OT UserForm
Alfabetica | Por categorias
(Name) OT
BackColor #800000
BorderColor #800000
BorderStyle 0 - fmBorderStyle
Caption Ingreso de
Cycle 0 - fmCycle
DrawBuffer 32000
Enabled True
Font Tahoma
ForeColor #800000
Height 433.8
HelpContextID 0
KeepScrolls 3 - fmScroll
Left -3
MouseIcon (Ninguno)
MousePointer 0 - fmMouse
Picture (Ninguno)
PictureAlign 2 - fmPicture
PictureSizeMode - fmPicture
PictureTiling False
RightToLeft False
ScrollBars 0 - fmScroll
ScrollHeight 0
ScrollLeft 0
ScrollTop 0
End Sub
Private Sub bt_editar_Click()
If ORDEN.ListIndex = -1 Then
MsgBox ("Seleccione un registro")
Else
OT.Height = 430
Me.bt_agregar.Enabled = False
Me.bt_modificar.Enabled = True
End If
End Sub
Private Sub bt_eliminar_Click()
valor_buscado = txt_numero.Value
datos = txt_codigo.Value & " " & txt_nto.Value
If ORDEN.ListIndex = -1 Then
MsgBox ("Seleccione un registro")
Else
respuesta = Application.InputBox("¿Desea eliminar el registro seleccionado: " & datos, "Ingrese clave")
If respuesta = 123 Then
Set fila = Sheets("TAB").Range("B:B").Find(valor_buscado, lookat:=xlWhole)
linea = fila.Row
Range("B" & linea).EntireRow.Delete
End If
End If
End Sub
Private Sub bt_limpiar_Click()
OT.Height = 392
Me.txt_codigo.Value = Empty
Me.txt_nto.Value = Empty
Me.txt_tot.Value = Empty
Me.txt_hiot.Value = Empty
Me.txt_hiot.Value = Empty
Me.txt_ffot.Value = Empty
Me.txt_hfot.Value = Empty
Me.txt_observa.Value = Empty
End Sub
Microsoft Visual Basic para Aplicaciones - tesis evaluacion.xlsm - [OT (Código)]
Archivo Edición Ver Insertar Formato Depuración Ejecutar Herramientas Complementos Vegtana Ayuda
Proyecto - VBAProject [txt_numero] [Change]
Hojas3 (Hoja)
Hojas4 (KOL)
Hojas5 (OIS)
Hojas6 (EIG)
Hojas7 (NOI)
Hojas8 (WE)
Hojas9 (LDC)
ThisWorkbook
Formularios
Filtrar
formulario
inicio_01
OT
Propiedades - OT
OT UserForm
Alfabetica | Por categorias
(Name) OT
BackColor #800000
BorderColor #800000
BorderStyle 0 - fmBorderStyle
Caption Ingreso de
Cycle 0 - fmCycle
DrawBuffer 32000
Enabled True
Font Tahoma
ForeColor #800000
Height 433.8
HelpContextID 0
KeepScrolls 3 - fmScroll
Left -3
MouseIcon (Ninguno)
MousePointer 0 - fmMouse
Picture (Ninguno)
PictureAlign 2 - fmPicture
PictureSizeMode - fmPicture
PictureTiling False
RightToLeft False
ScrollBars 0 - fmScroll
ScrollHeight 0
ScrollLeft 0
ScrollTop 0
Private Sub bt_modificar_Click()
Dim fila As Object
Dim linea As Integer
v_buscado = Me.txt_numero
Set fila = Sheets("TAB").Range("B:B").Find(v_buscado, lookat:=xlWhole)
linea = fila.Row
Range("C" & linea).Value = Me.txt_codigo.Value
Range("D" & linea).Value = Me.txt_nto.Value
Range("E" & linea).Value = Me.txt_tot.Value
Range("F" & linea).Value = Me.txt_hiot.Value
Range("G" & linea).Value = Me.txt_hiot.Value
Range("H" & linea).Value = Me.txt_ffot.Value
Range("I" & linea).Value = Me.txt_hfot.Value
Range("J" & linea).Value = Me.txt_observa.Value
End Sub
Private Sub bt_registrar_Click()
OT.Height = 430
Me.bt_modificar.Enabled = False
Me.txt_numero.Value = Range("B2").Value
Me.bt_agregar.Enabled = True
End Sub
Private Sub ORDEN_Click()
Dim codigo As Integer
codigo = ORDEN.List(ORDEN.ListIndex, 0)
Me.txt_numero.Value = codigo
End Sub
Private Sub txt_numero_Change()
Dim codigos As Integer
codigos = txt_numero.Value
Me.txt_codigo = Application.WorksheetFunction.VLookup(codigos, Sheets("TAB").Range("B:J"), 2, 0)
Me.txt_nto = Application.WorksheetFunction.VLookup(codigos, Sheets("TAB").Range("B:J"), 3, 0)
Me.txt_tot = Application.WorksheetFunction.VLookup(codigos, Sheets("TAB").Range("B:J"), 4, 0)
Me.txt_hiot = Application.WorksheetFunction.VLookup(codigos, Sheets("TAB").Range("B:J"), 5, 0)
Me.txt_hiot = Application.WorksheetFunction.VLookup(codigos, Sheets("TAB").Range("B:J"), 6, 0)
Me.txt_ffot = Application.WorksheetFunction.VLookup(codigos, Sheets("TAB").Range("B:J"), 7, 0)
Me.txt_hfot = Application.WorksheetFunction.VLookup(codigos, Sheets("TAB").Range("B:J"), 8, 0)
Me.txt_observa = Application.WorksheetFunction.VLookup(codigos, Sheets("TAB").Range("B:J"), 9, 0)
End Sub
Private Sub UserForm_Activate()
Me.ORDEN.RowSource = "OT"
End Sub
Microsoft Visual Basic para Aplicaciones - tesis evaluacion.xlsm - [inicio_01 (Código)]
Archivo Edición Ver Insertar Formato Depuración Ejecutar Herramientas Complementos Vegtana Ayuda
Proyecto - VBAProject [BT_grafico] [Click]
Hojas3 (Hoja)
Hojas4 (KOL)
Hojas5 (OIS)
Hojas6 (EIG)
Hojas7 (NOI)
Hojas8 (WE)
Hojas9 (LDC)
ThisWorkbook
Formularios
Filtrar
formulario
inicio_01
OT
Propiedades - inicio_01
inicio_01 UserForm
Alfabetica | Por categorias
(Name) inicio_01
BackColor #800000
BorderColor #800000
BorderStyle 0 - fmBorderStyle
Caption #B#N#ENDC
Cycle 0 - fmCycle
DrawBuffer 32000
Enabled True
Font Tahoma
ForeColor #800000
Height 418.8
HelpContextID 0
KeepScrolls 3 - fmScroll
Left -3
MouseIcon (Ninguno)
MousePointer 0 - fmMouse
Picture (Ninguno)
PictureAlign 2 - fmPicture
PictureSizeMode - fmPicture
PictureTiling False
RightToLeft False
ScrollBars 0 - fmScroll
ScrollHeight 0
ScrollLeft 0
ScrollTop 0
Private Sub BT_EQUIPOS_Click()
Hojas1.Activate
End Sub
Private Sub BT_grafico_Click()
Hojas5.Activate
MsgBox ("Ingresar el valor de los datos en las columnas CODIGO, TBF, TTR")
End Sub
Private Sub BT_OT_Click()
Hojas2.Activate
End Sub
Private Sub CommandButton1_Click()
Hojas7.Activate
End Sub
Private Sub CommandButton2_Click()
Hojas8.Activate
End Sub
Private Sub CommandButton3_Click()
Hojas6.Activate
End Sub
Private Sub CommandButton4_Click()
Hojas9.Activate
End Sub
Private Sub CommandButton5_Click()
Hojas4.Activate
End Sub
Private Sub CommandButton6_Click()
Hojas10.Activate
End Sub
```


ANEXO F. EVALUACION DE LA HERRAMIENTA INFORMATICA (RESULTADOS)

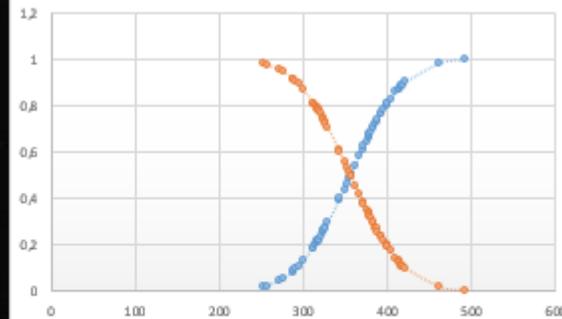


CODIG	TBF	f (t)	F (t)	R (t)	λ (t)
ABB1	253,1578	0,000959	0,019822	0,980178	0,000978
ABB2	256,3998	0,001093	0,023145	0,976855	0,001119
ABB3	270,8697	0,001864	0,044194	0,955806	0,001951
ABB4	275,998	0,002208	0,054621	0,945379	0,002336
ABB5	287,7497	0,003127	0,085801	0,914199	0,003421
ABB6	287,961	0,003146	0,086464	0,913536	0,003443
ABB7	290,5925	0,003374	0,095041	0,904959	0,003729
ABB8	294,276	0,003705	0,108076	0,891924	0,004154
ABB9	300,1411	0,004253	0,131406	0,868594	0,004897
ABB10	311,8348	0,005375	0,187703	0,812297	0,006618
ABB11	312,0092	0,005392	0,188642	0,811358	0,006646
ABB12	314,2557	0,005604	0,200994	0,799006	0,007014
ABB13	315,7063	0,005739	0,209222	0,790778	0,007258
ABB14	315,7159	0,00574	0,209277	0,790723	0,007259
ABB15	316,947	0,005854	0,216413	0,783587	0,00747
ABB16	317,7355	0,005926	0,221057	0,778943	0,007607
ABB17	318,1425	0,005963	0,223477	0,776523	0,007678
ABB18	320,2196	0,006148	0,236055	0,763945	0,008048
ABB19	323,2399	0,006409	0,255021	0,744979	0,008603
ABB20	324,3579	0,006502	0,262239	0,737761	0,008813
ABB21	326,0003	0,006636	0,273028	0,726972	0,009128
ABB22	326,3551	0,006664	0,275388	0,724612	0,009197
ABB23	329,4336	0,0069	0,29627	0,70373	0,009804
ABB24	342,5674	0,007671	0,392412	0,607588	0,012625
ABB25	343,3221	0,007701	0,398213	0,601787	0,012798
ABB26	348,6296	0,00787	0,439573	0,560427	0,014044
ABB27	351,8256	0,007931	0,464833	0,535167	0,01482
ABB28	354,8033	0,007959	0,488497	0,511503	0,015559
ABB29	356,1252	0,007962	0,499021	0,500979	0,015893
ABB30	356,5835	0,007962	0,502669	0,497331	0,016009
ABB31	361,8855	0,007912	0,544789	0,455211	0,01738
ABB32	366,7839	0,007788	0,58327	0,41673	0,018688
ABB33	370,8082	0,007633	0,614315	0,385685	0,01979
ABB34	372,0997	0,007573	0,624135	0,375865	0,020149
ABB35	375,0875	0,007419	0,646537	0,353463	0,020988
ABB36	377,054	0,007304	0,661015	0,338985	0,021548
ABB37	377,8531	0,007255	0,666832	0,333168	0,021776
ABB38	379,2576	0,007165	0,67696	0,32304	0,022181
ABB39	380,3223	0,007094	0,684551	0,315449	0,022489
ABB40	382,9794	0,006906	0,703153	0,296847	0,023264
ABB41	383,3191	0,006881	0,705495	0,294505	0,023364
ABB42	386,3769	0,006645	0,72618	0,27382	0,024269
ABB43	388,854	0,006507	0,732241	0,270559	0,024411

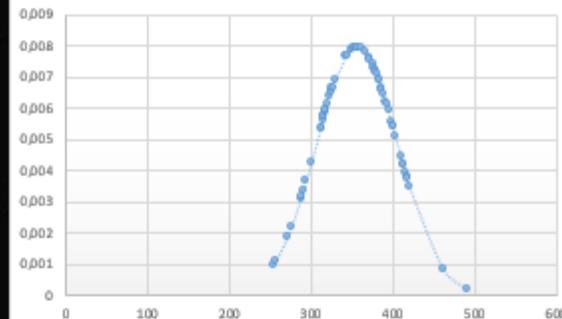
LIMPIAR
CALCULAR
MENU

# DATOS	60
MEDIA	356,2483
DESV	50,10595
TBF	300
f (t)	0,00424
F (t)	13,08%
R (t)	86,92%
λ (t)	0,004878

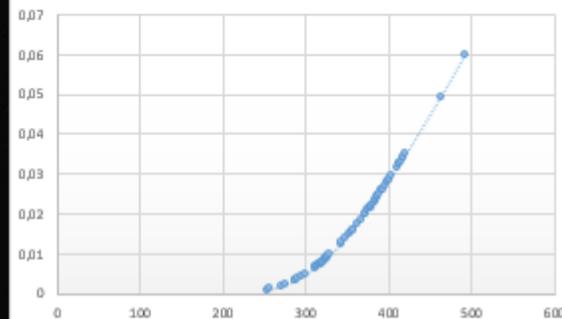
FIABILIDAD INFIABILIDAD



f (t)



λ (t)

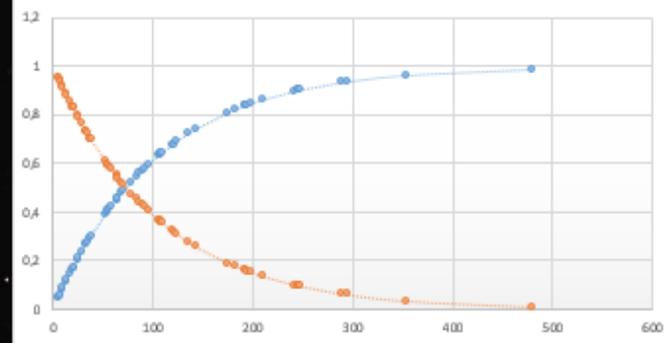


CODIG	TBF	f (t)	F(t)	R (t)	λ (t)
ABB1	4,888408	0,009039	0,045226	0,954774	0,009468
ABB2	5,452722	0,008991	0,050314	0,949686	0,009468
ABB3	6,023619	0,008943	0,055433	0,944567	0,009468
ABB4	6,492925	0,008903	0,059621	0,940379	0,009468
ABB5	8,997416	0,008694	0,081656	0,918344	0,009468
ABB6	9,856815	0,008624	0,089098	0,910902	0,009468
ABB7	12,99491	0,008372	0,115762	0,884238	0,009468
ABB8	13,70374	0,008316	0,121677	0,878323	0,009468
ABB9	16,94072	0,008065	0,148186	0,851814	0,009468
ABB10	19,10874	0,007901	0,165491	0,834509	0,009468
ABB11	19,76522	0,007852	0,170662	0,829338	0,009468
ABB12	20,07171	0,007829	0,173065	0,826935	0,009468
ABB13	23,8087	0,007557	0,201811	0,798189	0,009468
ABB14	24,62518	0,007499	0,207957	0,792043	0,009468
ABB15	28,59916	0,007222	0,237203	0,762797	0,009468
ABB16	33,18879	0,006915	0,269638	0,730362	0,009468
ABB17	33,20219	0,006914	0,269731	0,730269	0,009468
ABB18	33,62379	0,006886	0,27264	0,72736	0,009468
ABB19	37,12228	0,006662	0,296337	0,703663	0,009468
ABB20	37,79725	0,00662	0,300819	0,699181	0,009468
ABB21	52,55677	0,005756	0,392001	0,607999	0,009468
ABB22	54,3861	0,005657	0,40244	0,59756	0,009468
ABB23	54,95466	0,005627	0,405648	0,594352	0,009468
ABB24	56,35437	0,005553	0,413473	0,586527	0,009468
ABB25	58,38443	0,005447	0,424638	0,575362	0,009468
ABB26	63,2161	0,005204	0,450364	0,549636	0,009468
ABB27	63,54236	0,005188	0,452059	0,547941	0,009468
ABB28	64,96782	0,005118	0,459404	0,540596	0,009468
ABB29	68,61417	0,004944	0,477748	0,522252	0,009468
ABB30	70,08461	0,004876	0,484968	0,515032	0,009468
ABB31	78,41091	0,004506	0,524009	0,475991	0,009468
ABB32	83,66827	0,004288	0,547121	0,452879	0,009468
ABB33	86,22104	0,004185	0,557935	0,442065	0,009468
ABB34	89,1193	0,004072	0,5699	0,4301	0,009468
ABB35	91,16687	0,003994	0,578158	0,421842	0,009468
ABB36	95,92264	0,003818	0,59673	0,40327	0,009468
ABB37	105,9897	0,003471	0,633391	0,366609	0,009468
ABB38	106,4158	0,003457	0,634867	0,365133	0,009468
ABB39	107,9295	0,003408	0,640062	0,359938	0,009468
ABB40	109,3191	0,003363	0,644766	0,355234	0,009468
ABB41	119,2088	0,003063	0,676518	0,323482	0,009468
ABB42	120,1659	0,003035	0,679436	0,320564	0,009468
ABB43	123,7267	0,002934	0,690063	0,309937	0,009468
ABB44	125,1688	0,002907	0,692776	0,307224	0,009468

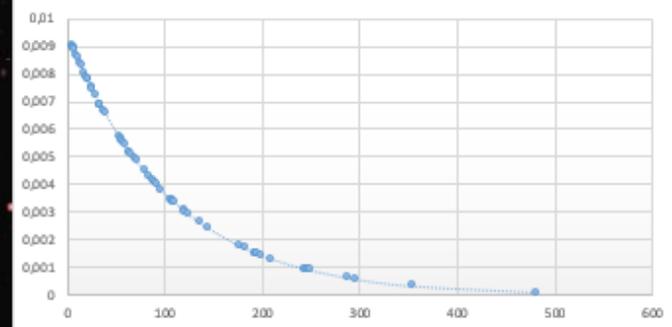
LIMPIAR
CALCULAR
MENU

# DATOS	60
SUMA TOTAL	6337,4599
TASA DE FALL	0,0094675
e	2,7182818
TBF	100
f (t)	0,0036734
F (t)	61,20%
R (t)	38,80%
λ (t)	0,0094675

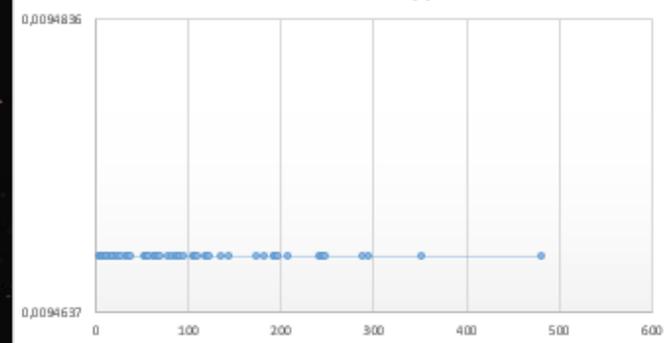
FIABILIDAD INFIABILIDAD



f (t)



RIESGO λ (t)



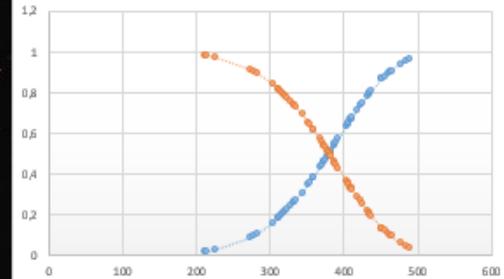
CODIG	TBF	# DAT	MEDIAN	Y	X	f(t)	F(t)	R(t)	λ(t)
ABB1	211,8911	1	0,0163934	-4,102621	5,356073	0,000533439	0,018466	0,981534	0,000543
ABB2	213,0455	2	0,0327869	-3,401105	5,361506	0,000548311	0,01909	0,98091	0,000559
ABB3	225,7001	3	0,0491803	-2,987152	5,419207	0,000733177	0,027155	0,972845	0,000754
ABB4	273,4575	4	0,0655738	-2,69086	5,611146	0,001860750	0,086182	0,913818	0,002036
ABB5	277,4152	5	0,0819672	-2,45898	5,625515	0,001987783	0,093796	0,906204	0,002194
ABB6	283,8644	6	0,0983607	-2,267791	5,648497	0,002205606	0,107311	0,892689	0,002471
ABB7	303,1998	7	0,1147541	-2,104638	5,714392	0,002930559	0,156807	0,843193	0,003476
ABB8	310,7488	8	0,1311475	-1,961965	5,738985	0,003236707	0,180079	0,819921	0,003948
ABB9	311,6367	9	0,147541	-1,834896	5,741838	0,003273305	0,182969	0,817031	0,004006
ABB10	313,6782	10	0,1639344	-1,7201	5,748368	0,003357827	0,189738	0,810262	0,004144
ABB11	316,3598	11	0,1803279	-1,6152	5,75688	0,003469514	0,198892	0,801108	0,004331
ABB12	318,7784	12	0,1967213	-1,518439	5,764496	0,003570727	0,207406	0,792594	0,004505
ABB13	320,7044	13	0,2131148	-1,42848	5,77052	0,003651536	0,21436	0,78564	0,004648
ABB14	324,2145	14	0,2295082	-1,344284	5,781405	0,003798986	0,227437	0,772563	0,004917
ABB15	329,0057	15	0,2459016	-1,265024	5,796075	0,00399698	0,246119	0,753881	0,005305
ABB16	332,1089	16	0,2622951	-1,190033	5,805463	0,004128697	0,258732	0,741268	0,00557
ABB17	333,1336	17	0,2786885	-1,118761	5,808544	0,004171027	0,262984	0,737016	0,005659
ABB18	333,9109	18	0,295082	-1,050755	5,810874	0,004203027	0,266239	0,733371	0,005728
ABB19	343,2798	19	0,3114754	-0,985629	5,838546	0,004578540	0,307393	0,692607	0,006611
ABB20	351,7141	20	0,3278689	-0,923059	5,862819	0,004892231	0,347353	0,652647	0,007496
ABB21	354,249	21	0,3442623	-0,862763	5,87	0,004980233	0,359866	0,640134	0,00778
ABB22	358,2359	22	0,3606557	-0,804498	5,881192	0,005111514	0,379987	0,620013	0,008244
ABB23	359,2134	23	0,3770492	-0,748052	5,883917	0,005142249	0,384988	0,615002	0,008361
ABB24	367,8767	24	0,3934426	-0,693235	5,907748	0,005385894	0,430642	0,569358	0,00946
ABB25	370,3729	25	0,4098361	-0,639881	5,91451	0,005445394	0,444161	0,555839	0,009797
ABB26	373,1717	26	0,4262295	-0,58784	5,922039	0,005505753	0,459488	0,540512	0,010186
ABB27	373,4922	27	0,442623	-0,536976	5,922897	0,005512221	0,461254	0,538746	0,010232
ABB28	375,6148	28	0,4590164	-0,487164	5,928564	0,005552642	0,472997	0,527003	0,010536
ABB29	378,242	29	0,4754098	-0,438291	5,935534	0,005596721	0,487645	0,512355	0,010924
ABB30	379,315	30	0,4918033	-0,390251	5,938367	0,005612760	0,493658	0,506342	0,011085
ABB31	379,3494	31	0,5081967	-0,342946	5,938458	0,005613256	0,493852	0,506148	0,01109
ABB32	381,4764	32	0,5245902	-0,296282	5,944049	0,005641507	0,505822	0,494178	0,011416
ABB33	382,9422	33	0,5409836	-0,250169	5,947884	0,005658223	0,514104	0,485896	0,011645
ABB34	386,9841	34	0,557377	-0,204522	5,958384	0,005692263	0,537049	0,462951	0,012296
ABB35	388,2912	35	0,5737705	-0,159257	5,961756	0,005699375	0,544494	0,455506	0,012512
ABB36	390,0986	36	0,5901639	-0,114291	5,966399	0,005705987	0,554801	0,445199	0,012817
ABB37	392,9305	37	0,6065574	-0,069543	5,973633	0,005708680	0,570966	0,429034	0,013306
ABB38	404,0312	38	0,6229508	-0,024929	6,001492	0,005625507	0,634015	0,365985	0,015371
ABB39	405,6222	39	0,6393443	0,019637	6,005422	0,005601066	0,642946	0,357054	0,015687
ABB40	406,9464	40	0,6557377	0,064243	6,008681	0,005578311	0,650348	0,349652	0,015954
ABB41	409,6151	41	0,6721311	0,108981	6,015218	0,005525803	0,665167	0,334833	0,016503
ABB42	410,2639	42	0,6885246	0,153952	6,016801	0,005511699	0,668748	0,331252	0,016639

LIMPIAR
 CALCULAR
 MENU

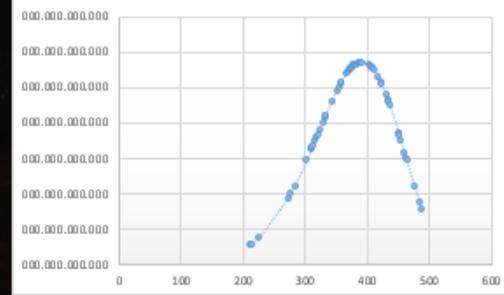
# DATOS	60,00
INTERCE	-37,07
R^2	0,98
α	403,69
β	6,18
TMBF	375,12
TBF	100
f(t)	1,11E-05
F(t)	0,02%
R(t)	99,98%
λ(t)	1,11E-05



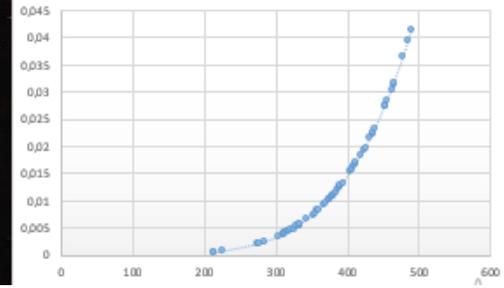
FIABILIDAD INFIABILIDAD



f(t)



λ(t)

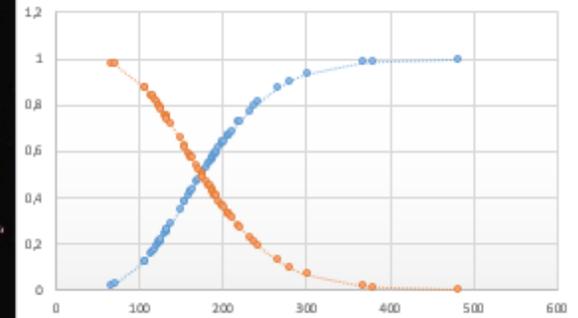


CODIG	TBF	(Ti-media(t))	f(t)	F(t)	R(t)	$\lambda(t)$
ABB1	66,10506	13797,70716	0,001214	0,017201	0,982799	0,001235
ABB2	70,06789	12882,43573	0,001461	0,022494	0,977506	0,001495
ABB3	105,6674	6068,606774	0,004105	0,120958	0,879042	0,00467
ABB4	106,0168	6014,299362	0,00413	0,122397	0,877603	0,004706
ABB5	114,1943	4812,80432	0,004674	0,158443	0,841557	0,005554
ABB6	115,3279	4656,809239	0,004744	0,163781	0,836219	0,005673
ABB7	117,9766	4302,325023	0,0049	0,176555	0,823445	0,005951
ABB8	120,5757	3968,122582	0,005044	0,18948	0,81052	0,006223
ABB9	122,7178	3702,837627	0,005156	0,200406	0,799594	0,006448
ABB10	123,6856	3585,986861	0,005205	0,20542	0,79458	0,00655
ABB11	125,0128	3428,794711	0,005269	0,21237	0,78763	0,006689
ABB12	125,8249	3334,344011	0,005307	0,216664	0,783336	0,006774
ABB13	130,7455	2790,293943	0,005515	0,243305	0,756695	0,007289
ABB14	131,879	2671,823637	0,005558	0,249581	0,750419	0,007407
ABB15	132,9574	2561,501155	0,005597	0,255596	0,744404	0,007519
ABB16	133,4091	2515,98537	0,005613	0,258127	0,741873	0,007565
ABB17	133,8238	2474,551294	0,005627	0,260458	0,739542	0,007608
ABB18	137,6002	2113,101887	0,005743	0,281934	0,718066	0,007998
ABB19	148,4361	1234,297825	0,005953	0,345468	0,654532	0,009095
ABB20	153,7763	887,5878713	0,00599	0,377376	0,622624	0,009621
ABB21	154,5066	844,6053647	0,005992	0,381751	0,618249	0,009692
ABB22	159,2201	592,8554411	0,005987	0,409395	0,590005	0,010147
ABB23	161,12	503,9445798	0,005976	0,421359	0,578641	0,010328
ABB24	161,8894	469,9926981	0,00597	0,425955	0,574045	0,0104
ABB25	162,7154	434,8623723	0,005963	0,430883	0,569117	0,010478
ABB26	168,5357	225,9909682	0,005891	0,4654	0,5346	0,011019
ABB27	170,5293	170,0260823	0,005857	0,477111	0,522889	0,011201
ABB28	174,4952	82,32838377	0,005777	0,500185	0,499815	0,011558
ABB29	176,2034	54,24782059	0,005737	0,510019	0,489981	0,011709
ABB30	176,2846	53,05862243	0,005735	0,510485	0,489515	0,011716
ABB31	179,5409	16,22334186	0,005653	0,529029	0,470971	0,012002
ABB32	183,0794	0,239414472	0,005552	0,548856	0,451144	0,012307
ABB33	183,8056	0,056102668	0,00553	0,55288	0,44712	0,012369
ABB34	186,2064	6,957382256	0,005455	0,566068	0,433932	0,012572
ABB35	187,1002	12,47157714	0,005426	0,570931	0,429069	0,012647
ABB36	188,0607	20,1778216	0,005395	0,576128	0,423872	0,012727
ABB37	188,9012	28,4354498	0,005366	0,580651	0,419349	0,012797
ABB38	190,6075	49,54486055	0,005308	0,589758	0,410242	0,012938
ABB39	191,1629	57,67138789	0,005288	0,5927	0,4073	0,012983
ABB40	191,7877	67,55179692	0,005266	0,595997	0,404003	0,013035
ABB41	195,4934	142,199353	0,00513	0,615262	0,384738	0,013334
ABB42	199,7691	262,4529284	0,004965	0,636848	0,363152	0,013673
ABB43	200,3578	281,8739466	0,004942	0,639764	0,360236	0,013719

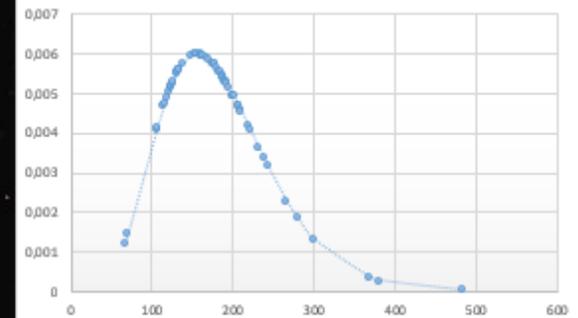
LIMPIAR
CALCULAR
MENU

# DE DA	60
TBF TOT	11014,12
MEDIA	183,5687
sumatori	298657,7
α	6,656955
β	27,57548
TBF	100
f(t)	0,003691
F(t)	0,098854
R(t)	0,901146
$\lambda(t)$	0,004096

FIABILIDAD INFIABILIDAD



f(t)



$\lambda(t)$

