



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
ÁREA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA ELÉCTRICA



Postgrado Ingeniería
Universidad de Carabobo

**CONFIABILIDAD OPERACIONAL
EN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN EN NIVEL DE 400 kV**

Autor:

Ing. Emilia Canelón

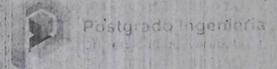
Tutor Académico:

MSc. Ing. Cesar Augusto Salazar

Valencia, Mayo 2023



**Acta de discusión y veredicto del Jurado en la
Presentación de Trabajo de Grado
en modalidad presencial
TG-4**



Valencia, 28 de Octubre de 2023

En atención a lo dispuesto en los artículos 148, 137 y 138 del Reglamento de Estudios de Postgrado de la Universidad de Carabobo, Gaceta 619, quienes suscribimos como jurado designado por el Consejo de la Facultad de Ingeniería y según oficio CPEI-010-2023, de fecha 19/07/2023, para revisar y evaluar el Trabajo de Grado Titulado:

Confiabilidad operacional en líneas de transmisión en nivel de 400kV

Bajo la línea de investigación: **Eficiencia energética y calidad de energía**

Presentado por la Estudiante graduada **Emilia Rosángelad Canelón Briceño**, cédula de identidad **V-14.310.814**, para optar al título de Magister en Ingeniería Eléctrica, ha decidido que el mismo está:

Apellidos y Nombres del Jurado	Cédula de identidad	Veredicto individual
MSC. ING. CESAR AUGUSTO SALAZAR VILLALBA (PRESIDENTE)	V - 1.195.033	Aprobado
MSC. ING. LEDY LAURA GUERRA (JURADO INTERNO)	V - 13.442.503	Aprobado
MSC. ING. IRAHIS DESIREE RODRÍGUEZ GOMEZ (JURADO EXTERNO)	V - 4.871.349	Aprobado

Valencia, 28 de Octubre de 2023

Veredicto final:

En atención a lo dispuesto en los artículos 148, 137 y 138 del Reglamento de Estudios de Postgrado de la Universidad de Carabobo, Gaceta 619, quienes suscribimos como jurado designado por el Consejo de la Facultad de Ingeniería y según Tomando en cuenta que las razones que motivan la decisión son:

- Respecto al análisis de la situación contexto o problema: El análisis del problema es ajustado a la naturaleza del mismo, resaltando adecuadamente su importancia y pertinencia tecnológica.
- Respecto a la fundamentación teórica: Incluye los aspectos relevantes para sustentar el desarrollo del trabajo.
- Respecto al método desarrollado: La metodología empleada permitió la ejecución de las actividades programadas en las diferentes fases conducentes a logro de los objetivos.
- Respecto a los análisis derivados: Los análisis realizados fueron acordes a la naturaleza del problema y de las técnicas implementadas.
- Respecto al uso de fuentes bibliográficas: Fueron suficientes, pertinentes y bien utilizadas.
- Respecto a la monografía: Su redacción y presentación acordes con la investigación desarrollada.

El Presidente del Jurado, previamente identificado anteriormente, después de oír los miembros del Jurado, toma la palabra y expone: Estando dentro del lapso concedido al estudiante, y ya subsanado en cada una de las observaciones hechas con antelación, se da por cumplido los extremos establecidos en el artículo 140 del Reglamento de los Estudios de Postgrado de la Universidad de Carabobo. No habiendo más nada que tratar, se da por terminado el acto a las 10:30 am. Se leyó y conformes firman.

[Firma]
Miembro del Jurado
MSc. Ing. Ledy Laura Guerra

[Firma]
Presidente del Jurado
MSc. Cesar Augusto Salazar Villalba



[Firma]
Miembro del Jurado
MSc. Ing. Irahís Desiree Rodríguez Gómez



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
ÁREA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA ELÉCTRICA



Postgrado Ingeniería
Universidad de Carabobo

Constancia de Aceptación del Tutor y Aprobación del Profesor del Seminario

**CONFIABILIDAD EN LINEAS DE TRANSMISION EN NIVEL
DE 400 kV**

APROBADO EN EL ÁREA DE POSTGRADO DE LA UNIVERSIDAD DE
CARABOBO POR:

Prof. Betty Fariás de Márquez

Profesora del Seminario de Investigación

Acepto la Tutoría del presente Trabajo según las condiciones del Área de Postgrado
de la Universidad de Carabobo

MSc. Ing. César Augusto Salazar Villael

Campus Bárbula, Mayo del 2023

Dedicatoria

A la memoria de mi madre, Emilia Rosa, quien fue ese ser motivador, ejemplo de lucha, preparación académica y superación constante.

A mis tres hijos Alejandro, Camila y Jesús.

Agradecimientos

A Dios Todopoderoso, agradezco cada día y cada logro en mi vida.

A mi esposo Enrique, quien me apoya en cada meta trazada y me impulsa a crecer siempre.

Al MSc. Ing. Cesar Salazar, quien fue mi tutor y guía, en este proceso investigativo, siempre dispuesto a aportar sus conocimientos e ideas en la formación profesional en Pregrado y Post grado.

A todos aquellos, que no nombro, pero que contribuyeron con este Trabajo Especial de Grado...

Emilia Rosángelad

Índice General

Constancia de Aceptación del Tutor y Aprobación del Profesor del Seminario	ii
Dedicatoria	iii
Agradecimientos	iv
Índice de Figuras	ix
Índice de Tablas.....	x
Índice de Gráficos.....	xi
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
INTRODUCCION	1
CAPITULO I	3
1.1 Planteamiento del Problema.....	3
1.2 Formulación del Problema	5
1.3 Objetivos de la Investigación.....	6
1.3.1 Objetivo General	6
1.3.2 Objetivos Específicos.....	6
1.4 Justificación de la Investigación.....	7
1.5 Alcance y Delimitación de la Investigación	8
CAPITULO II.....	9
MARCO TEÓRICO.....	9
2 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	9
2.1 Antecedentes nacionales.....	9
2.2 Antecedentes internacionales	11

2.3 BASES TEÓRICAS.....	13
2.4 MARCO LEGAL.....	35
CAPÍTULO III	37
MARCO METODOLÓGICO.....	37
3.1. Diseño de la investigación	37
3.2 Tipo de investigación	37
3.3 Población o universo de la investigación	38
3.4 Muestra de la investigación	39
3.5 Técnicas de recolección de la información	39
3.6 Instrumentos de recolección de datos	39
3.7 Procesamiento de los Datos.....	40
3.8 Fases metodológicas del proyecto.....	40
Cronograma de Actividades	43
CAPITULO IV.....	44
ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	44
Gráfico 1. Porcentaje de Eventos de Falla.....	44
Gráfico 2. Diagrama de Pareto de las frecuencias absolutas y relativas de la línea de transmisión	46
CONCLUSIONES	53
RECOMENDACIONES	55
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56
<i>Apéndice</i>	<i>59</i>
Apéndice 1. Registro de Fallas, en la Línea de Transmisión Planta Centro – Yaracuy. Periodo de 36 meses.....	60

<i>Apéndice 2. Tabla de cálculos (Distribución Exponencial) de Confiabilidad, Infiabilidad, función densidad de falla (pdf) y rata de fallas $r(t)$, para la línea de Transmisión .</i>	67
Apéndice 3. Curva de Confiabilidad (Distribución Exponencial), para la Línea de Transmisión.....	70
Apéndice 4. Curva de Infiabilidad (Distribución Exponencial), para la Línea de Transmisión.....	71
Apéndice 5. Comparación de curvas Confiabilidad e Infiabilidad, mediante la Distribución Exponencial.....	72
Apéndice 6. Curva de Función densidad de probabilidad de fallas (pdf) mediante la Distribución Exponencial.....	73
Apéndice 7. Comparación de curvas de Confiabilidad, Infiabilidad y Función densidad de probabilidad de fallas (pdf) mediante la Distribución Exponencial.....	74
Apéndice 8. Curva de rata de fallas $r(t)$, mediante distribución exponencial.....	75
Apéndice 9 Tabla de cálculos (Distribución de Weibull) de Confiabilidad, Infiabilidad, función densidad de falla (pdf) y rata de fallas $r(t)$, para la línea de Transmisión	76
Apéndice 10. Curva de confiabilidad (Distribución de Weibull), para la línea de Transmisión.....	79
Apéndice 11. Curva de infiabilidad (Distribución de Weibull), para la línea de.....	80
Transmisión.....	80
Apéndice 12. Curva de rata de fallas (Distribución de Weibull), para la línea de Transmisión.....	81
Apéndice 13. Función Densidad de Probabilidad de Fallas pdf (Distribución de Weibull), para la línea de Transmisión	82
Apéndice 14. Curva de la Bañera, para la Línea de Transmisión (Distribución de Weibull)	83

Apéndice 15. Tabla de cálculos (Distribución Exponencial) de la Mantenibilidad M (t), para la línea de Transmisión	84
Apéndice 16. Curva de la Mantenibilidad M (t), para la línea de Transmisión.	87
Apéndice 17. Comparación de las curvas de la Mantenibilidad M (t) y Probabilidad de Supervivencia Ps, para la línea de transmisión.	88
Apéndice 18. Cálculos de Distribución de Weibull, con mínimos cuadrados	89
Apéndice 19. Cálculos de Distribución de Weibull, con mínimos cuadrados.	93
Vida Característica (V) y Parámetro de dispersión $K = b$.....	93

Índice de Figuras

Figura 1. Factores de la Confiabilidad Operacional	23
Figura 2. Herramientas para la Confiabilidad Operacional	25
Figura 3. Representación gráfica de los parámetros de mantenimiento	29
Figura 4. Curva de la Bañera	49

Índice de Tablas

Tabla 1. Cantidad de eventos en las líneas de transmisión	38
Tabla 2. Porcentaje de eventos de falla en las líneas de transmisión	45

Índice de Gráficos

Gráfico 1. Porcentaje de eventos de falla en las líneas de transmisión	44
Gráfico 2. Diagrama de Pareto de la línea de transmisión	46



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
ÁREA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA ELÉCTRICA



**CONFIABILIDAD OPERACIONAL
EN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN EN NIVEL DE 400 kV**

Autor: Ing. Emilia Canelón
Tutor: MSc. Cesar Salazar
Fecha: Mayo, año 2023

RESUMEN

En la operación de los sistemas eléctricos, los indicadores de gestión de mantenimiento son los que permiten establecer las actividades más efectivas para lograr el óptimo funcionamiento, es por ello que en esta investigación se estudió la confiabilidad operacional en una línea de transmisión en nivel de 400 kV, perteneciente a la región centro occidental de la empresa Corpoelec. La industria eléctrica, requiere como proceso fundamental el desarrollo de planes de mantenimiento que permitan asegurar la calidad y continuidad del servicio prestado, por lo que a través de métodos estadísticos, se establecieron los valores críticos, logrando en esta investigación a través de un diseño de campo – no experimental, fundamentado en métodos cuantitativos, caracterizar las condiciones de operación del sistema eléctrico de transmisión de niveles de 400 kV, hacer el cálculo de los parámetros de gestión de mantenimiento, para posteriormente analizar cada uno de los valores obtenidos, a través de teorías de confiabilidad, para el mejoramiento de los planes a seguir a corto y mediano plazo. Se usó la teoría de Confiabilidad Operacional, encontrando las curvas de Confiabilidad a tasa de fallas constantes, con lo cual se pudo calcular los aspectos relevantes, causas que originan los eventos de falla; se determinó que el método que más se ajusta al modelo de operación de la Línea de Transmisión es el Método de distribución de Weibull que considera la tasa de fallas variable, y toma el parámetro de forma β , en sus tres niveles: fallas tempranas, vida útil y desgaste. Como resultados en el nivel de Confiabilidad de la línea se demostró que los métodos coinciden, además de que se comprobó que la misma, cumple con el esquema de un sistema reparable, que una vez restaurado regresa a su condición de operación inicial, finalmente, se verificó que los factores que inciden en la Confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad de la Línea de Transmisión son los tiempos calculados, lo que genera la necesidad urgente de plantear planes de mantenimiento preventivos asociados a la reducción del tiempo promedio para fallar, para lograr aumentar la Confiabilidad de la línea de transmisión.

Palabras claves: Confiabilidad, mantenimiento, líneas de transmisión, gestión de mantenimiento
Línea de Investigación: Eficiencia energética y calidad de la energía
Área Prioritaria: Energía



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
ÁREA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA ELÉCTRICA



Postgrado Ingeniería
Universidad de Carabobo

OPERATIONAL RELIABILITY IN TRANSMISSION LINES AT THE 400 kV LEVEL

Author: Ing. Emilia Canelón
Tutor: MSc. Cesar Salazar
Date: Mayo, año 2023

ABSTRACT

In the operation of electrical systems, the maintenance management indicators are those that allow establishing the most effective activities to achieve optimum performance, which is why in this investigation the operational reliability of a transmission line at level 400 was studied. kV, belonging to the central-western region of the company Corpoelec. The electrical industry, requires as a fundamental process the development of maintenance plans that allow to ensure the quality and continuity of the service provided, so that through statistical methods, the critical values were established, achieving in this investigation through a design of field - non-experimental, based on quantitative methods, to characterize the operating conditions of the electrical transmission system of 400 kV levels, to calculate the maintenance management parameters, to later analyze each of the values obtained, through reliability theories, for the improvement of the plans to follow in the short and medium term. The Operational Reliability theory was used, finding the Reliability curves at constant failure rate, with which it was possible to calculate the relevant aspects, causes that originate the failure events; It was determined that the method that best fits the Transmission Line operation model is the Weibull distribution method, which considers the variable failure rate, and takes the shape parameter β , at its three levels: early failures, life useful and wear. As results in the Reliability level of the line, it was demonstrated that the methods coincide, in addition to the fact that it was verified that it complies with the scheme of a repairable system, which once restored returns to its initial operating condition, finally, it is verified that the factors that affect the Reliability, Maintainability and Availability of the Transmission Line are the calculated times, which generates the urgent need to propose preventive maintenance plans associated with the reduction of the average time to failure, in order to increase Reliability of the transmission line.

Keywords: Reliability, maintenance, transmission lines, maintenance management

Research Line: Energy efficiency and power quality

Priority Area: Energy

INTRODUCCION

El presente Trabajo Especial de Grado, se fundamentó en la necesidad de determinar los indicadores de Gestión de Mantenimiento en Líneas de Transmisión en nivel de 400 kV, componentes esenciales del sistema eléctrico de potencia, ya que transportan los grandes bloques de energía, por ello las labores de mantenimiento representan el día a día para evitar los eventos de falla y el tiempo fuera de servicio.

En Venezuela, existe poca información en referencia al tópico mencionado, debido a que, el mantenimiento en las líneas de transmisión, se enfoca hacia las labores rutinarias, más que hacia el estudio sistemático y predictivo del proceso como tal. Por esta razón, se presentan en esta investigación los cálculos a través de los métodos estadísticos básicos (distribución exponencial) y métodos específicos (distribución de Weibull), para obtener los valores críticos que indican los porcentajes y tiempos ideales para la ejecución de las labores de mantenimiento.

En el texto, se incluyen los capítulos mediante los cuales se desarrolló la investigación, desglosados de la siguiente manera:

En el capítulo I, se realizó el planteamiento del problema, indicando el objetivo general y los específicos, además de la justificación, alcance y limitaciones del estudio.

El capítulo II, presenta aspectos bibliográficos asociados al problema, tales como antecedentes, así como teorías y conceptos, referentes a líneas de transmisión, tipos de fallas, mantenimiento especializado de las mismas, teorías de mantenimiento, tipos, indicadores de gestión de mantenimiento, métodos estadísticos, entre otros.

En el capítulo III, se muestra el marco metodológico, explicando en él el tipo de investigación, técnicas e instrumentos de recolección de datos, población y muestra, fases de la investigación, entre otros.

El Capítulo IV, demuestra el análisis de los resultados; iniciando por la caracterización de la Línea de Transmisión, de acuerdo al histórico de fallas y los cálculos

efectuados con cada uno de los métodos estadísticos seleccionados, culminando con la construcción de la recta de regresión para probar la correlación de los datos estadísticos.

Para finalizar se presentan las conclusiones y recomendaciones, obtenidas luego de la investigación.

CAPITULO I

EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del Problema

Con el transcurrir del tiempo, los cambios debidos a aumentos en la mecanización de procesos, complejidad de las maquinarias y de los sistemas en general, llevaron a la inclusión de teorías de confiabilidad en los sistemas asociadas al mantenimiento, que representen nuevas expectativas, nuevos patrones de fallas de equipos y nuevas técnicas de reparación, que incidan en la mantenibilidad, capacidad del sistema, disponibilidad y flexibilidad del mismo.

Según Nava (2001), la confiabilidad de un sistema o equipo, se relaciona con la idea de la probabilidad que dicho elemento permanezca en funcionamiento por un número de horas (años) sin fallas. De allí, la importancia de conocer en cada dispositivo los tipos de fallas, para lograr que el mantenimiento alcance sus objetivos, aplicando técnicas y herramientas aceptables para disminuir las salidas de funcionamiento imprevistas, evitando los daños que ellas producen en cualquier sistema. Por ello, los indicadores asociados a la confiabilidad, disponibilidad, mantenimiento y seguridad de los sistemas, son de considerable interés para todos los involucrados en los procesos. El análisis de estos indicadores, se lleva a cabo para proporcionar una base, en las decisiones de ingeniería, fabricación y operaciones.

De acuerdo a Donald (1997), en los sistemas eléctricos, el área de transmisión, es la que se encarga de transportar los grandes bloques de energía desde los centros de generación hasta todos los puntos del sistema, a través de las líneas de transmisión, compuestas por conductores y equipos necesarios, soportados a través de estructuras

metálicas denominadas torres, diseñadas específicamente para cada nivel de tensión a utilizar.

En Venezuela, el Sistema Interconectado Nacional posee niveles de transmisión entre los 765 kV, 400 kV y 230 kV, con longitudes de líneas que suman más de 13.000 kilómetros de extensión, a lo largo de la geografía nacional, siendo la Corporación Eléctrica Nacional (CORPOELEC), adscrita al Ministerio del Poder Popular para la Energía Eléctrica, quien se encarga de supervisar, mantener y operar el sistema eléctrico, para lo cual divide el territorio nacional en zonas, donde se ubican cada una de las Gerencias o Direcciones de Generación, Transmisión o Distribución de Energía, que atienden a los usuarios del área geográfica que corresponda. La realización de esta investigación se desarrollará en la Región Centro – Occidental, que comprende líneas de transmisión en nivel de 400 kV, distribuidas en los estados Carabobo, Falcón y Yaracuy.

En este sentido, se pudo constatar, a través de la exploración de los reportes de cuatro (04) años del área de mantenimiento de líneas de transmisión (los cuales están reflejados con fecha, frecuencia diaria, duración del evento, nivel de tensión, nombre de la línea, tipo de falla y causa), que se producen fallas o eventos por causas comunes (baja tensión, contaminación, fallas de aislamiento, protecciones, incendios, vegetación, entre otros) y fallas o eventos por condiciones propias del sistema (déficit de generación, exceso en límites de transmisión, pérdida de carga, sobrecargas, sobretensión, entre otras), que producen la interrupción del servicio, en niveles de 400 kV, esto se traduce en dejar de entregar grandes bloques de energía, que representan la potencia necesaria para el consumo de uno o varios Estados del país, ocasionando como consecuencia el colapso del sistema eléctrico.

Estos insumos mencionados, son utilizados en el Departamento de Mantenimiento para cálculos de parámetros como: Tiempo Total de Interrupción (TTI); energía que se deja de entregar; entre otras. Sin embargo, no existe la aplicación de estos datos para calcular indicadores como: confiabilidad $R(t)$, la mantenibilidad $M(t)$ y la disponibilidad $D(t)$, parámetros que son complementarios entre sí y que en conjunto permiten evaluar y mejorar la gestión de mantenimiento, basándose en la utilización de parámetros relacionados como:

tiempo operativo (TO), tiempo fuera de servicio (TFS) o tiempo para reparar (TPR), tiempo entre fallas (TEF) y tiempo fuera de control (TFC).

Por estas razones, en esta investigación se pretende determinar en una línea de transmisión en nivel de 400 kV, la confiabilidad operacional del sistema, aplicando métodos estadísticos como la distribución exponencial, distribución de Weibull con mínimos cuadrados y curvas de bañera (Regla de Sturges), para obtener indicadores que permitan establecer las actividades más efectivas de mantenimiento en función de la criticidad de los activos pertenecientes a dicho sistema, tomando en cuenta los posibles efectos que originarán los modos de fallas de estos, a la seguridad, al ambiente y a las operaciones.

De acuerdo, a Donald (1994), los sistemas de potencia eléctrica, están compuestos por tres bloques denominados: Generación, Transmisión y Distribución; desde el año 2018, según registros del Observatorio venezolano de servicios públicos (OVSP), el país atraviesa una severa crisis en el área de Generación de Energía, lo cual pone en prioridad la operación y mantenimiento del bloque intermedio (Transmisión) para evitar aumentos en la interrupción del servicio, en los momentos en los cuales no se aplica el Programa de administración de cargas (PAC).

1.2 Formulación del Problema

Debido a lo expuesto, en esta investigación se pretende responder las siguientes interrogantes:

¿De qué manera inciden los eventos de falla y los parámetros de gestión de mantenimiento en la operación del sistema eléctrico de transmisión en nivel de 400 kV, de la región centro occidental venezolana, que comprende los estados de Falcón, Carabobo y Yaracuy?

¿Cómo influyen las condiciones de operación del sistema eléctrico de transmisión de niveles de 400 kV, en la determinación de las particularidades, componentes y eventos relevantes del mismo?

¿Cuáles valores de los parámetros de gestión de mantenimiento en niveles de 400 kV, se podrán calcular a través de métodos estadísticos?

¿Cómo influyen los parámetros de gestión de mantenimiento en el mejoramiento de los planes a seguir a corto y mediano plazo?

1.3 Objetivos de la Investigación

1.3.1 Objetivo General

Determinar la confiabilidad operacional en líneas de transmisión en nivel de 400 kV, a través de métodos estadísticos, para el establecimiento de los valores críticos que incidan en el desarrollo de los planes de mantenimiento a corto, mediano y largo plazo.

1.3.2 Objetivos Específicos

1.-Caracterizar las condiciones de operación del sistema eléctrico de transmisión de niveles de 400 kV, pertenecientes a la región centro occidental venezolana, mediante el análisis de la data de fallas, para el establecimiento de las particularidades, componentes y eventos relevantes del mismo.

2.-Calcular los parámetros de gestión de mantenimiento en niveles de 400 kV, a través de la aplicación de métodos estadísticos como la distribución exponencial, distribución de Weibull con mínimos cuadrados y curvas de bañera (Regla de Sturges) para el establecimiento de los factores que inciden en la gestión de mantenimiento del sistema eléctrico de Transmisión

3.-Analizar cada uno de los parámetros de gestión de mantenimiento obtenidos a través de teorías de confiabilidad para el mejoramiento de los planes a seguir a corto y mediano plazo.

1.4 Justificación de la Investigación

Los sistemas eléctricos de potencia, dentro de ellos el subsistema de líneas de transmisión, se diseñan para asegurar la calidad y continuidad del servicio prestado, desde la generación hasta el usuario, en la topografía específica que recorre el trayecto de las líneas de transmisión, donde descargas atmosféricas, vegetación, velocidad del viento, entre otras, provocan numerosas fallas en el sistema eléctrico.

La importancia técnica e institucional de esta investigación, consistirá en contribuir a mantener actualizado el cálculo de indicadores como: confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad del sistema eléctrico, para las propuestas de mejoras a corto y mediano plazo, logrando incidir directamente en la operatividad, que se traduce en reducción de pérdidas de dinero, tanto para la empresa eléctrica mediante la facturación, así como para el consumidor final por energía no suministrada, daños a equipos, entre otros. Adicionalmente en las labores propias de mantenimiento, la duración de las mismas, poseen costos operativos y de recursos humanos (horas/hombre), sustentando según Navas (1999), en la teoría de la mantenibilidad, la localización de averías en el tiempo óptimo permitido, contribuye a la reducción de costos de mantenimiento de un producto durante su uso.

En este orden de ideas, la relevancia social y económica de esta investigación, se centra en el hecho de que con los resultados obtenidos se podrán proponer planes de mantenimiento que mantengan un sistema eléctrico que opere con los criterios establecidos, que permitan ofrecer un servicio bajo los criterios de confiabilidad, eficiencia y calidad, donde el usuario reciba la energía eléctrica sin interrupciones y con los niveles de tensión que le proporcionen seguridad en la operación de los equipos conectados ya sea a nivel residencial o industrial. A su vez estas condiciones le podrán permitir a la empresa realizar el proceso de facturación y en consecuencia el retorno de las inversiones realizadas.

Adicionalmente esta investigación, desde el punto de vista académico representa una nueva contribución a la línea de investigación denominada: Calidad de la energía y

eficiencia energética, del Programa de Maestría en Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Carabobo, luego de su culminación podrá servir como antecedente a futuras investigaciones, que pretendan abocarse a la solución de problemas relacionados con la confiabilidad en transmisión de energía eléctrica.

1.5 Alcance y Delimitación de la Investigación

El desarrollo de esta investigación se orientó hacia el cálculo de la confiabilidad operacional en líneas de transmisión en niveles de 400 kV de la región centro occidental venezolana, que comprende los estados Carabobo, Falcón y Yaracuy; utilizando datos de eventos de fallas en un periodo de 36 meses, comprendido entre los años 2015 a 2018. Se enmarcara dentro de la línea de investigación denominada: Calidad de la energía y eficiencia energética, del Programa de Maestría en Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Carabobo. Se efectuaron cálculos a través de métodos estadísticos, los cálculos de probabilidad de fallas, probabilidad de supervivencia y tasa de fallas en las líneas, encontrando así los indicadores que permiten establecer los factores de incidencia de eventos. Esta investigación luego de su culminación, podrá ser aplicada a cualquier región del país, donde operen líneas de transmisión en niveles de 400 kV.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

Para Arias, 2006: “El marco teórico se refiere al desarrollo de los aspectos generales del tema, comprenden un conjunto de conceptos y proposiciones que constituyen un punto de vista o enfoque determinado, dirigido a explicar el fenómeno o problema planteado”. También para García, L. (2018), los antecedentes de la investigación son todos aquellos trabajos de investigación que preceden al que se está realizando, pero que además guardan mucha relación con los objetivos del estudio que se aborda. Es por ello, que en este Capítulo se presentaran como primeros aspectos los antecedentes nacionales e internacionales, que se relacionan directamente con estudios de confiabilidad operacional aplicada a distintos sistemas y que se servirán de base para esbozar la solución más adecuada al problema de investigación planteado. Seguidamente se desglosaran las bases teóricas iniciando por los aspectos básicos de una línea de transmisión, hasta llegar al detalle de los planes de mantenimiento y las teorías de confiabilidad operacional de los sistemas, finalmente se enunciaran las bases legales que soportan este Trabajo Especial de Grado.

2 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1 Antecedentes nacionales

Desde los años 1560, según escritos de Kaiser, R (1968), ya se utilizaba el término confiable en Alemania y Francia, de estas primeras investigaciones, es en el año 1962, cuando se esboza formalmente la confiabilidad técnica, que planteaba el análisis formal de confiabilidad del proceso, confiabilidad de los equipos y confiabilidad humana. Es por

ello, que a continuación se presentan algunas investigaciones previas que contribuirán a la ejecución de esta investigación, como lo son:

Sanabria M. y Fernández J; (2019), publicaron en la revista científica arbitrada Ingenio, especializada en ingeniería de la Universidad Nacional Experimental de la Fuerza Armada Nacional, el artículo titulado: Gestión estratégica de mantenimiento para la confiabilidad operacional de las obras e instalaciones del sistema de riego El Cenizo, en el Estado Trujillo, su principal objetivo se centró en verificar los parámetros de confiabilidad a través de estadística descriptiva, utilizando el método de función exponencial, presentando la investigación de tipo documental, descriptiva y evaluativa, mediante un diseño no experimental de campo, entre sus resultados se muestran los puntos críticos de la confiabilidad humana, de activos y de procesos, que les permitieron proponer un plan de gestión estratégica a partir de la evaluación del impacto que produce su aplicación en la operatividad del sistema de riego. Se formularon lineamientos estratégicos para permitir mejorar la gestión del mantenimiento adaptada a las necesidades de los usuarios del sistema. Esta investigación se selecciona como referencia, ya que sus aportes teóricos pueden ser de interés para determinar los puntos críticos de la confiabilidad operacional del sistema eléctrico de transmisión en niveles de 400 kV, así como para verificar la incidencia de los parámetros de gestión en los planes de mantenimiento.

De igual forma, Terán M.(2018), en su Trabajo Especial de Grado, presentado para obtener el título de Magister en Ingeniería Eléctrica en la Universidad de Carabobo, realizó el Análisis de parámetros de confiabilidad ampliada (RAM) de la Subestación Eléctrica Guacara I, 115 KV /34,5 KV -13,8 KV, la metodología empleada se fundamentó en el uso de la estadística mediante la distribución exponencial y de Weibull; en este proyecto la autora se planteó como objetivo general realizar el análisis de parámetros como confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad en la subestación eléctrica Guacara I, 115 Kv/34.5-13.8 Kv, a través de los datos de fallas de la instalación, para procesarlos con herramientas computacionales, obteniendo como resultado el pronóstico en el tiempo, el comportamiento de los equipos y de la subestación en general. Concluyendo esta investigación en la importancia de contar con un histórico de fallas, para obtener los

parámetros de gestión de mantenimiento y recomendar con ellos los planes de mantenimiento preventivos y correctivos. El aporte de esta referencia es fundamental, ya que la metodología empleada fue basada en el análisis de datos de fallas de un sistema eléctrico, para su procesamiento a través de métodos estadísticos, obteniendo los valores críticos que indican los momentos en los cuales se deben realizar las labores de mantenimiento, adecuadas a cada equipo, por lo que será fundamentalmente el mismo proceso a desarrollar. .

Así mismo, autores como Mago M.; Vallés y Olaya (2014), publicaron un artículo técnico, en la revista científica Ingeniería, de la Universidad de Carabobo, citado como: Determinación de la Confiabilidad o Tiempo Promedio entre Fallas (TPEF) en transformadores de distribución, en esta investigación se persiguió como objetivo principal desarrollar una teoría aplicada a la confiabilidad en sistemas eléctricos, para determinar el tiempo promedio entre fallas (TPEF) en transformadores monofásicos de poste. Utilizando las ecuaciones de Weibull, aplicadas a una muestra representativa de ellos, lo que facilitó predecir el periodo de vida de estos equipos. Obteniendo como resultado la base de cálculo sustentada en métodos estadísticos, para la obtención de curvas a estudiar en el cálculo de parámetros de confiabilidad, criticidad y disponibilidad de sistemas. Esta investigación, es referencia debido a que lo que se plantea se relaciona directamente con el uso de métodos estadísticos en el cálculo de los parámetros de gestión de mantenimiento, llegando a obtener las curvas características que indican en qué etapa de vida útil, se encuentra la línea de transmisión a estudiar.

2.2 Antecedentes internacionales

A nivel internacional, se han realizado investigaciones relacionadas con la aplicación de teorías de mantenimiento centrado en confiabilidad, algunos de los cuales se tomaron en consideración:

Villa J. y Vernaza V., (2020) desarrollaron una investigación como Proyecto Especial de Grado en la especialidad de Gerencia de Mantenimiento en la Universidad de Antioquia Colombia, titulado: Análisis de indicadores de confiabilidad para las centrales eléctricas de generación, allí los autores establecieron como objetivo general evaluar la información de los reportes que se generan en el sistema de información de salidas programadas y forzadas de las unidades de las centrales Guadalupe III, Guadalupe IV y Troneras, mediante una investigación descriptiva, realizaron el modelamiento de los indicadores de confiabilidad y disponibilidad, con el propósito de proporcionar puntos de decisión en la programación de las actividades de mantenimiento, ajustando a su vez la gestión de mismas a un modelo de productividad y rentabilidad. Se tomara como referente fundamental en esta investigación debido a que se modelaran a través de métodos estadísticos los parámetros de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad de la línea de transmisión en nivel de 400 kV, para indicar los puntos críticos, así como las acciones a seguir para el mejoramiento de los planes de mantenimiento del sistema eléctrico.

De igual forma, Cruzado R. (2020), realizo un Trabajo Especial de Grado en la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Piura, Perú, denominado: Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) en las bombas de carga de una refinería ubicada en la ciudad de Talara (Piura, Perú), presento por objetivo general realizar la aplicación de la metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) en las bombas de carga de una refinería, por ello se analizaron a fondo los activos, con la finalidad de conocer los modos de fallas, con sus respectivas consecuencias e implementar un plan de mantenimiento que pudiese minimizar los costos y garantizar la disponibilidad de estos equipos. Como resultado, se realizó la propuesta de mantenimiento en las bombas de carga de la unidad de destilación primaria, así como el análisis del costo de ciclo de vida. Adicionalmente, se obtuvieron las hojas de información tanto de la bomba centrífuga como del elemento crítico de la bomba, el sello mecánico. Finalmente, a través del plan de mantenimiento propuesto, se comprobó que la confiabilidad operacional depende considerablemente de la forma en la que se realizan las actividades preventivas durante la operación de los equipos. Esta investigación planteada, servirá de antecedente debido a

que de manera análoga, se analizaran los datos de falla de la línea de transmisión para conocer las causas y consecuencias, a través de la metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad, pretendiendo con ello obtener la detección de los puntos críticos que inciden en la confiabilidad operacional de la línea de transmisión, obteniendo con esto mejoras en los planes de mantenimiento y operatividad del sistema eléctrico.

De esta manera, Campos T. y Toledo (2019), desarrollaron una investigación dirigida a la publicación de la Revista “Científica”, N° 23, del Instituto Politécnico Nacional de México, denominado: Mantenimiento centrado en confiabilidad, considerando taxonomía de equipos, base de datos y criticidad de efectos. En este trabajo se propone una metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad aumentada, que además de incluir los pasos que señalados en las normas mexicanas, incluyen algunos pasos adicionales que facilitan la aplicación. Esta metodología propuesta, la obtienen después de analizar normas para la confiabilidad operacional, la metodología de análisis de modos de falla y efectos, la norma ISO 14224, la base de datos de la Agencia de Desarrollo de Energía Renovable (OREDA) y algunos casos de estudio. Se obtuvo como resultado una metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad aumentada que incluye pasos adicionales tales como: recopilación de información, utilización de la norma ISO 14224 para uniformizar la información del equipo, utilización de bases de datos como OREDA para las causas de falla y la evaluación de efectos de falla para definir los números de prioridad de riesgo y jerarquizar las fallas. Servirá como antecedente a esta investigación porque se tomarán los pasos sugeridos por ellos en lo referente a recopilación de datos de fallas de la línea de transmisión, determinación de causas y consecuencias, evaluación de los números encontrados en los parámetros de confiabilidad, para sugerir recomendaciones y acciones a seguir en los planes de mantenimiento.

2.3 BASES TEÓRICAS

Arias (2012), afirma que “Las bases teóricas implican un desarrollo amplio de los conceptos y proposiciones que conforman el punto de vista o enfoque adoptado, para sustentar o explicar el problema planteado”. (p. 107), por esta razón en el desarrollo de esta investigación, se desglosaran los siguientes tópicos:

Sistemas de Transmisión de Energía Eléctrica: se puede definir como el medio de conexión entre los consumidores y los centros de generación, y cuya función principal es la de permitir el intercambio de energía entre los involucrados a todo lo largo de su recorrido.

De allí que, los componentes de un sistema o red de transmisión, son las líneas de transmisión y las subestaciones. Una red se caracteriza por tener distintos niveles de voltaje de operación. Esta diferencia técnica necesaria, permite que el intercambio se dé en condiciones que reduzcan al mínimo las pérdidas de energía, logrando de esta forma el uso eficiente de la misma, por parte de todos los integrantes del sistema eléctrico. Toda red de transmisión está compuesta por elementos tales como: a) central eléctrica; b) los transformadores, que elevan o reducen el voltaje de la energía eléctrica generada a altas tensiones utilizadas en las líneas de transporte; c) las líneas de transmisión; d) las subestaciones; e) las líneas de distribución y f) los transformadores que bajan el voltaje a valores utilizados por los consumidores. Cabe considerar, que debido a que en esta investigación, se estudiaran los fenómenos de operación de las líneas de transmisión, se definen a continuación:

Por lo descrito por Donald (1997), en el Manual de Ingeniería Eléctrica, las líneas de transmisión, se pueden definir como un conjunto de elementos que sirve para transmitir o guiar energía de un punto a otro, que puede ser de muchas formas y tamaños. A primera vista, se puede identificar el tipo de línea por el tamaño de las torres o apoyos, la distancia entre conductores, las largas series de platillos de que constan los aisladores y la existencia de un cable de guarda o un cable más fino que es la línea de tierra.

Los tipos de líneas de transmisión, pueden ser de dos: aéreas las que consisten en conductores desnudos, suspendidos en el aire y subterráneas las que consisten en conductores aislados, ubicados bajo nivel del terreno. En esta perspectiva, el uso propio de estos elementos ocasiona fallas o eventos de suspensión del servicio, donde se pueden destacar los más frecuentes:

- a. Caída de las líneas de transmisión, según lo especificado por Ramírez (2005) estas suelen suceder principalmente debido a cortocircuitos provocados por diversas causas, desde condiciones climáticas y contaminación de aisladores, hasta electrocución de aves. Para prevenir estas fallas, todas las líneas de transmisión deben contar con sistemas de protecciones que frente a un cortocircuito en una fase, despejen la falla y reconecten automáticamente en tiempos cercanos a los 800 milisegundos, evitando así la pérdida de suministro. También se pueden dar interrupciones cuando el sistema de puesta a tierra de las líneas se ve afectado generalmente por descargas atmosféricas.
- b. Caída de las torres soporte de las líneas de transmisión: En muchas ocasiones, las estructuras que soportan los elementos conductores, por algún evento externo colapsan, por contaminación, viento, caída de árboles, terceros, entre otros.

De acuerdo, al Manual de mantenimiento especializado de líneas de transmisión de CORPOELEC (2012) la clasificación de eventos (interrupciones o salidas) por funcionamiento del Sistema Eléctrico, está dada por:

1. Déficit de generación: es una interrupción del suministro eléctrico que se produce cuando la demanda eléctrica (Potencia eléctrica requerida por los consumidores) supera la capacidad de entrega de las unidades generadoras de potencia.
2. Exceso de límites de transmisión: es una interrupción del suministro eléctrico que se produce cuando la corriente eléctrica que circula por los conductores de las líneas de transmisión, supera la capacidad nominal de los mismos.

3. Pérdida de carga: es un término usado para describir tipos de pérdida de presión de un sistema. La pérdida de carga eléctrica se produce en las unidades generadoras cuando quedan en vacío y se altera de manera significativa la velocidad de giro de las turbinas, lo cual obliga a las protecciones a sacar de servicio a la máquina eléctrica.
4. Sobrecargas: es una interrupción del suministro eléctrico que se produce cuando la suma de la potencia de los aparatos que están conectados al circuito eléctrico es superior a la potencia para la cual está diseñado.
5. Sobretensión: es un aumento, por encima de los valores establecidos como máximos, de la tensión eléctrica entre dos puntos de un circuito o instalación eléctrica.

De la misma manera, en el Manual de mantenimiento especializado de líneas de transmisión de CORPOELEC (2012), existe la clasificación de eventos (interrupciones o salidas de funcionamiento del sistema eléctrico) por causas comunes, entre ellas tenemos:

1. Fallas producidas por animales: son interrupciones de servicio, producidas por los animales, generalmente aves que se electrocutan cuando se ponen en contacto con los conductores de las líneas de transmisión.
2. Baja Tensión: es una disminución por debajo de los valores establecidos como máximos, de la tensión eléctrica entre dos puntos de un circuito o instalación eléctrica.
3. Contaminación: es una causa de interrupción del servicio eléctrico producida por la ionización de la superficie de las cadenas de aisladores, facilitando la aparición de las corrientes de fuga y a su vez las fallas bifásicas en el circuito eléctrico.

4. Corrección de anomalías: es una causa de interrupción del servicio eléctrico producida por la necesidad de dejar sin tensión a una parte del circuito eléctrico, para realizar trabajos de mantenimiento.
5. Equipamiento o compensación de equipamiento: se produce por operaciones de mantenimiento que se ejecutan con la finalidad de reemplazar equipos que se encuentran dañados para sustituirlos o agregar otros para reforzar su funcionamiento.
6. Errores humanos: son interrupciones de servicio que se producen por maniobras equivocadas en las subestaciones eléctricas.
7. Falla de aislamiento o apantallamiento: se produce por la ruptura de uno o varios elementos de las cadenas de aisladores.
8. Fallas por incendios: los incendios producen el aumento de la temperatura de los conductores eléctricos del sistema de transmisión y esta condición hace que las protecciones de los mismos, actúen sacando de funcionamiento la línea de transmisión.
9. Fallas por presencia de vegetación: son fallas producidas cuando las ramas de árboles actúan como punto de unión entre dos o más líneas del sistema eléctrico, ocasionando generalmente son fallas monofásicas y bifásicas.

Operación y Mantenimiento del Sistema Eléctrico de Transmisión, según el Manual de mantenimiento especializado de líneas de transmisión CORPOELEC (2012):

Operación. Se basa en la conexión y desconexión de líneas y unidades de energía, para satisfacer las condiciones de carga, la operación no consiste simplemente en restablecer el

servicio en forma expedita después de una interrupción, sino también en detectar y sacar de servicio los aparatos defectuosos, para evitar así el desarrollo de fallas.

Debido a la globalización y a los procesos altamente competitivos con los cuales las empresas de servicios eléctricos deben enfrentarse en la actualidad, los sistemas de mantenimiento juegan un papel importante en el funcionamiento y las operaciones de las mismas, siendo así que un buen sistema de mantenimiento, garantiza la continuidad en los procesos eléctricos y asegura una calidad de energía satisfactoria.

En este sentido, Duffa (2007) define Mantenimiento como: “la combinación de actividades mediante las cuales un equipo o un sistema se mantiene o se restablece a un estado en el que se pueden realizar las funciones designadas”. Siendo necesarias actividades de planeación, que comprenden la filosofía, el pronóstico de carga, la capacidad, organización y la programación del mantenimiento.

Por ello, los objetivos del mantenimiento se centran en mantener el sistema eléctrico funcionando en forma adecuada de manera que pueda proporcionar energía a los consumidores, con calidad de servicio exigida en las normativas respectivas a un costo global óptimo. Son los resultados específicos que se pretenden encontrar con el mantenimiento a mediano y largo plazo, estos son esenciales para el éxito de la organización de mantenimiento porque establecen un curso, ayudan a la evaluación, producen sinergia, asignan prioridades, permiten la coordinación y establecen las bases para planificar, organizar, motivar y controlar con eficacia.

Los objetivos deben incluir un lapso de ejecución, ser concisos y claros, ser dinámicos, es decir, que puedan ser flexibles a medida que el entorno y las oportunidades cambien, por último, pueden ser formulados en términos que permitan cuantificarlos y medirlos o en términos cualitativos. Deben convertir la misión de la empresa eléctrica en medidas específicas de desempeño y representar un compromiso de la gerencia a conseguir resultados concretos mediante estrategias.

Dentro de este marco, es necesario realizar una breve descripción de las actividades de planeación nombradas anteriormente, como lo son:

Filosofía del Mantenimiento, se trata básicamente de tener el mínimo de personal de mantenimiento que sea consistente con la optimización de la producción y disponibilidad de un sistema, sin que se comprometa la seguridad. Para lograrlo se requieren ejecutar las diferentes estrategias correctivas, preventivas, de oportunidad, de reparación en general y de reemplazo.

Tipos de mantenimiento, según el Manual de mantenimiento especializado de líneas de transmisión CORPOELEC (2012):

Mantenimiento Programado: toma como base las instrucciones técnicas recomendadas por los fabricantes, constructores, diseñadores, usuarios y experiencias conocidas, para obtener ciclos de revisión y/o sustituciones para los elementos más importantes del sistema a objeto de determinar la carga de trabajo que es necesario programar. La frecuencia de ejecución cubre desde quincenal hasta generalmente periodos de un año, es ejecutado por las cuadrillas que se dirigen al sitio para realizar las labores incorporadas en un calendario anual. Su planificación se especifica en el Programa Anual de Mantenimiento (PAM).

Mantenimiento No Programado: es aquel que se ejecuta por averías o reparaciones cuando aparece una falla, su objetivo es mantener en servicio adecuado al sistema, minimizando los tiempos de interrupción. Es ejecutado por el personal de la organización de mantenimiento, la atención a la falla debe ser inmediata y por tanto no da tiempo a ser programada pues implica el aumento en costos y de paradas innecesarias de personal y equipos. Su ejecución se especifica en el Programa Anual de Mantenimiento No Programado (NO PAM).

Mantenimiento Correctivo: comprende las actividades de todo tipo encaminadas a tratar de eliminar las fallas que se presentan así como necesidad de mantenimiento. Las acciones más comunes que se realizan son: modificación de elementos de máquinas, estructura de las líneas, aisladores, cambios de especificaciones en conductores, ampliaciones, revisión de elementos básicos de mantenimiento y conservación.

Mantenimiento Preventivo: el estudio de fallas de un sistema muestra que de ellas se derivan dos tipos de averías; aquellas que generan resultados que obligan a la atención de los sistemas productivos mediante mantenimiento correctivo y las que se presentan con cierta regularidad y que ameritan su prevención. Este mantenimiento el que utiliza todos los medios disponibles, incluso los estadísticos, para determinar la frecuencia de las inspecciones, revisiones, sustitución de piezas claves, probabilidad de aparición de averías, vida útil, entre otras. Su objetivo es adelantarse a la aparición o predecir la presencia de las fallas.

Mantenimiento Predictivo: este tipo de mantenimiento se basa en predecir la falla antes de que se produzca, se trata de conseguir adelantarse a la falla o al momento en que el equipo o elemento deja de trabajar en sus condiciones óptimas, para conseguir estos se utilizan herramientas y técnicas de monitoreo de parámetros físicos.

En la empresa eléctrica, normalmente se hace la inspección periódica de las líneas, sobretodo dependiendo de la geografía del terreno en que esté tendida la línea y de la importancia de la misma. Las cuadrillas de inspección pueden recorrer la línea a pie, en autos e incluso en helicópteros, dependiendo de las características de las vías de acceso. Generalmente cada estructura o torre, posee asociada una numeración de manera que pueda ser identificada efectivamente al realizar los reportes de inspección.

Pronóstico de la carga de Mantenimiento: Es el proceso mediante el cual se predice la carga de mantenimiento, es esencial para alcanzar el nivel deseado de eficacia y utilización de los recursos.

Planeación de la capacidad de Mantenimiento: Es el proceso que determina los recursos necesarios para satisfacer la demanda de trabajos de mantenimiento. Entre los aspectos fundamentales de este aspecto se incluyen la cantidad de trabajadores, sus habilidades, las herramientas necesarias, entre otras.

Organización del Mantenimiento: Depende de la carga de mantenimiento, el tamaño de la empresa, la capacidad técnica de los operadores, pudiendo organizarse por departamentos, por área, centralizada ó en cascada.

Programación del Mantenimiento: Es el proceso de asignación de recursos y personal para los trabajos que tienen que realizarse. Específicamente, en la empresa eléctrica venezolana se utilizan herramientas como los reportes de inspección, que son las planillas que completa la cuadrilla de mantenimiento, una vez culminada la labor de recorrido de una línea de transmisión específica.

Existen programas definidos, con los cuales la empresa eléctrica desarrolla actividades de mantenimiento como los citados a continuación:

Programa Pica y Poda: es un tipo de mantenimiento efectuado periódicamente por la empresa eléctrica para quitar malezas, recortar árboles y suprimir la madera peligrosa que pueda ocasionar fallas. Se puede ejecutar con personal propio o a través de la contratación del servicio con empresas externas.

Plan Maestro de Transformación: para el rescate y desarrollo del Sistema Eléctrico 2010-2030. Este plan se sustenta en la adopción de decisiones coherentes, compatibles e integradas, conducentes a una acción organizada, ejecutada de manera coordinada, entre el gobierno y la comunidad, con el apoyo de un ente rector el Ministerio del Poder Popular para la Energía Eléctrica y CORPOELEC como ente ejecutor.

Plan de Adecuación y Mejoras: es un tipo de mantenimiento que consiste en adaptar el Sistema Eléctrico a las condiciones actuales de operación, por ejemplo cambio de un conductor por otro de mayor calibre cuando la corriente supera el 80% de la capacidad nominal del mismo. Las mejoras por su parte, representan la acción de reemplazar partes o elementos con desgaste o dañados, por otros que garanticen la calidad y continuidad del servicio eléctrico.

Cada una de las labores efectuadas inciden en la gestión del mantenimiento, que consiste en coordinar, dirigir y organizar los recursos materiales, humanos y flujos de información destinados al correcto funcionamiento, reparación y prolongación de la vida de los equipos disponibles, para que además de lograr el óptimo funcionamiento en las labores propias, se centre en la reducción de los gastos. Para que los trabajos de mantenimiento sean eficientes es necesaria la planificación, el control, la planeación del trabajo y la distribución correcta de la fuerza humana. Esta eficiencia puede ser medida a través de indicadores de gestión de mantenimiento.

En este sentido, los indicadores surgen de la necesidad de gestionar las actividades de mantenimiento, para lo cual es necesario el control de variables como: tiempo entre fallas, tiempo fuera de servicio, entre otros, estos permiten analizar un sistema según su vida operacional y ayudan a generar planes que se anticipen a posibles sucesos que afecten el desempeño de los equipos.

Los indicadores de clase mundial son: la confiabilidad $R(t)$, la mantenibilidad $M(t)$ y la disponibilidad $D(t)$, estos tres parámetros son complementarios entre sí y en conjunto permiten evaluar la gestión de mantenimiento, mediante la cuantificación de las fallas, el tiempo de duración de las mismas y la capacidad del sistema para realizar su función en un tiempo determinado. Estos indicadores están relacionados con los tiempos como: Tiempo operativo (TO), Tiempo fuera de servicio (TFS) o Tiempo para reparar (TPR), Tiempo entre fallas (TEF) y Tiempo fuera de control (TFC).

Confiabilidad Operacional. Basado en el material Confiabilidad Operacional de equipos: Metodologías y Herramientas recopilado por Fernando Espinosa Fuentes (2008), se define la confiabilidad operacional como:

“Una serie de procesos de mejora continua, que incorporan en forma sistemática, avanzadas herramientas de diagnóstico, metodologías de análisis y nuevas tecnologías, para optimizar la gestión, planeación, ejecución y control de la producción industrial. La confiabilidad operacional lleva implícita la capacidad de una instalación (Procesos, tecnología, gente), para cumplir su función o el propósito que se espera de ella, dentro de sus límites de diseño y bajo un específico contexto operacional”.

Se dice que, es la capacidad de un sistema o componente, para cumplir su función o el propósito que se espera de ella, dentro de sus límites de diseño y bajo un contexto operacional específico. Es importante, resaltar que en un sistema de confiabilidad operacional es necesario el análisis de sus cuatro parámetros operativos: confiabilidad humana, confiabilidad de los procesos, mantenibilidad y confiabilidad de los equipos.

En la Figura 1, se pueden observar los factores de la confiabilidad operacional, compuestos por las áreas humanas, mantenibilidad de equipos, confiabilidad de equipos y confiabilidad de procesos.



Figura 1: Factores de la Confiabilidad Operacional

Fuente: The Woodhouse Partnership Ltd. Operational Reliability, Headley Common Road, Newbury Berkshire, England RG198LT.

Aplicación de la Confiabilidad Operacional

Las estrategias de confiabilidad operacional se usan ampliamente en los casos relacionados con:

1. Elaboración de los planes y programas de mantenimiento e inspección de equipos e instalaciones industriales.
2. Solución de problemas recurrentes en los activos fijos que afecten los costos y la efectividad de las operaciones.
3. Determinación de las tareas que permitan minimizar riesgos en los procesos, equipos e instalaciones y medio ambiente.
4. Establecer procedimientos operacionales y prácticas de trabajo seguro.
5. Determinar el alcance y frecuencia óptima de paradas de planta.
6. Herramientas de la Confiabilidad Operacional

La confiabilidad como metodología de análisis, debe fundamentarse en una serie de herramientas que evalúan el comportamiento del sistema o componente, de una forma sistemática a fin de poder determinar el nivel de operatividad, el nivel de riesgo y las demás acciones que se requieren, para asegurar su integridad y continuidad operacional. Son múltiples las herramientas de que se sirve la confiabilidad con el fin de formular planes estratégicos para lograr la excelencia en las actividades de mantenimiento. Las más utilizadas son:

1.-Análisis de Criticidad (CA). Es una técnica que permite jerarquizar sistemas, equipos e instalaciones, en función de su impacto global, con el fin de facilitar la toma de decisiones.

2.-Análisis de Modos y Efectos de Falla y Criticidad (FMECA). Es una metodología que permite determinar los modos de falla de los componentes de un sistema, el impacto y la frecuencia con que se presentan.

3.-Análisis Causa Raíz (RCFA). Es una técnica sistemática que se aplica con el objetivo de determinar las causas que originan las fallas, sus impactos y frecuencias de aparición, para poder mitigarlas o eliminarlas.

4.-Inspección Basada en Riesgos (RBI). Es una técnica que permite definir la probabilidad de falla de un equipo o sistema, y las consecuencias que las fallas pueden generar sobre la gente, el ambiente y los procesos.

5.-Análisis Costo Riesgo Beneficio (BRCA). Es una metodología que permite establecer una combinación óptima entre los costos de hacer una actividad y los logros o beneficios que la actividad genera, considerando el riesgo que involucra la realización o no de tal actividad.

6.-Costo del Ciclo de Vida (LCC). El análisis LCC es una metodología que permite elegir entre opciones de inversión o acciones de incremento de la confiabilidad con base en su efecto en el costo total del ciclo de vida de un activo nuevo o en servicio.

Gráficamente, se pueden observar en la Figura 2, las herramientas para la confiabilidad operacional.



Figura 2: Herramientas para la Confiabilidad Operacional.
Fuente: Espinosa F, F. (2014)

Principios y conceptos básicos para formular el diseño de sistemas con confiabilidad:

Confiabilidad. B. Sotskov (1972) define la Confiabilidad o Fiabilidad como “propiedad del artículo (pieza, componente, elemento, aparato, sistema) de cumplir las funciones prefijadas, mantener sus índices de explotación en los límites establecidos para regímenes y condiciones de explotación dados durante el intervalo de tiempo requerido o las horas de trabajo necesarias”.

En otras palabras, es la probabilidad de que un equipo cumpla su función específica, no falle bajo condiciones de operación determinadas en un lapso de tiempo específico. La Confiabilidad está relacionada con la tasa de fallas (cantidad de fallas) y con el Tiempo Medio de Operación (MUT: Mean Up Time). Para Salazar C. (2013), mientras el número de fallas de un equipo indique aumento o el Tiempo Medio de Operación disminuya, la confiabilidad del mismo será menor.

Desde el punto de vista de Ingeniería la confiabilidad es la probabilidad de que un aparato o dispositivo o una persona desarrolle una determinada función bajo condiciones fijadas, durante un período de tiempo establecido, es decir entre 0 y t.

El estudio de confiabilidad permite analizar desde el punto de vista estadístico y matemático la confiabilidad de un sistema. Por ello, se requiere de los registros de operaciones y fallas, en los que se detallan los eventos y sus respectivas duraciones, el cual permita realizar un análisis del comportamiento del sistema o equipo. Por consiguiente, es necesario el cálculo de los siguientes parámetros:

Tiempo para fallar (TPF): es el tiempo que tarda cada elemento del sistema en fallar, en horas, contando desde la instalación del sistema o desde el arranque por alguna reparación.

Con este dato se obtiene el tiempo promedio para fallar (TPPF) nos indican el tiempo promedio que tardan en aparecer las fallas, se calcula de la siguiente manera:

$$TPPF = \sum_{i=1}^n \frac{TPF}{N^{\circ} \text{ de fallas}} \quad (1)$$

Donde:

TPPF = Tiempo promedio para fallar (Horas).

Σ TPF = Sumatoria de los tiempos para fallar (Horas).

N° de fallas = Número total de fallas (Adimensional)

Y la tasa o rata de falla instantánea (λ) que es la frecuencia con que ocurren las fallas y se calcula de la siguiente forma:

$$\lambda = \frac{1}{TPPF} \quad (2)$$

Donde:

λ = Tasa de falla instantánea (Unidad de tiempo inverso, 1/horas)

TPPF = Tiempo promedio para fallar (Horas)

Cálculo de parámetros a través de la Distribución Exponencial.

La Confiabilidad es también conocida como fiabilidad o probabilidad de supervivencia, es denotada por R (t). Para el cálculo de la confiabilidad usando la distribución exponencial, se establece una función cuya variable aleatoria es el tiempo en que tarda en fallar el equipo, por lo que la función de confiabilidad es la siguiente:

$$R(t) = e^{-\lambda(t)} \quad (3)$$

Donde:

R (t) = Confiabilidad del equipo (Adimensional)

λ = Tasa de fallas instantánea (Unidad de tiempo inverso, 1/horas)

t = Tiempo de operatividad en el cual se desea hacer el cálculo (Horas)

e = 2,7183 constante (Adimensional)

Ya calculada la confiabilidad, se calcula La infiability del equipo o sistema usando la ecuación siguiente:

$$Q(t) = 1 - R(t) \quad (4)$$

$$Q(t) = 1 - e^{-\lambda(t)} \quad (5)$$

Donde:

Q (t) = Infiabilidad del equipo (Adimensional)

R (t) = Confiabilidad del equipo (Adimensional)

Función de densidad de probabilidad de fallas. La función de densidad de probabilidad de fallas, también conocida como la primera falla es el número de fallas por unidad de tiempo, referido a la cantidad inicial de elementos de un lote. Es definida por la siguiente función:

$$pdf = \lambda(t). e^{-\lambda(t)} \quad (6)$$

Donde:

Pdf = Función de densidad de probabilidad (Adimensional)

λ = Tasa de falla instantánea= 1/ TPPF (Unidad de tiempo inverso, 1/horas)

t = Tiempo de operatividad en el cual se desea hacer el cálculo (Horas)

e = 2,7183 constante (Adimensional)

Rata o tasa de falla

La rata de falla es el número de fallas por unidad de tiempo, referido al número de elementos que se encuentran operables en el instante t, y se denota por r (t). Para un dispositivo que aún no es afectado por desgaste, es correcto en teoría suponer que su rata de falla es constante. La rata de falla se calcula con la siguiente ecuación:

$$r(t) = \frac{Q(t)}{R(t)} \quad (7)$$

Donde:

r (t) = rata de falla (Adimensional)

Q (t) = Infiabilidad del equipo (Adimensional)

R (t) = Confiabilidad del equipo (Adimensional)

La rata de fallas se expresa cuantitativamente en unidades de tiempo inversas, por lo general horas inversas: 1/ h; se puede interpretar como la probabilidad de que el elemento

falle por unidad de tiempo a partir de un instante de tiempo t dado, con la condición de que no haya fallado hasta dicho instante. De ahí que esta magnitud también se identifique como rata de fallas condicional. La representación gráfica de los parámetros en Confiabilidad se muestra a continuación, en la Figura 3:

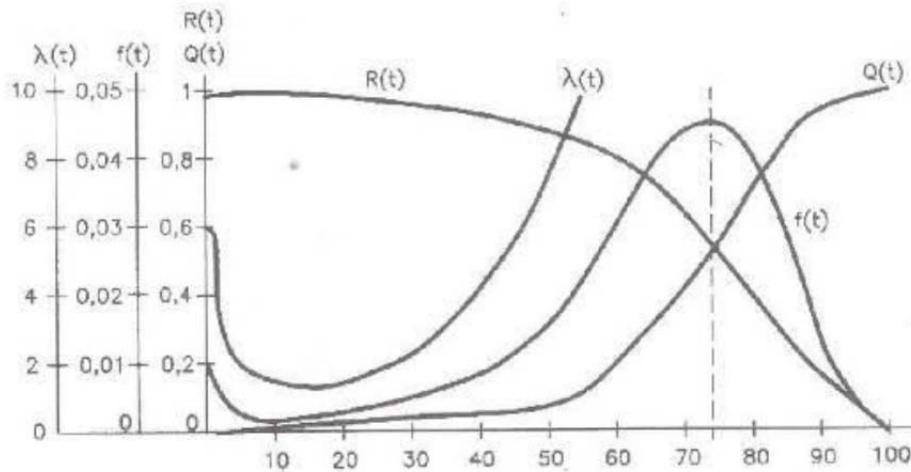


Figura 3: Representación gráfica general de los parámetros de confiabilidad.
Fuente: Salazar, C. (2013)

Donde:

$R(t)$ = Confiabilidad.

$Q(t)$ = Infiabilidad o probabilidad de falla.

$f(t)$ = Densidad de fallas.

$\lambda(t)$ = Tasa instantánea de falla.

Mantenibilidad. Como lo refiere Navas, J. D. (2001) “la mantenibilidad es la probabilidad de que un componente o equipo pueda ser restaurado a una condición operacional satisfactoria dentro de un período de tiempo dado, cuando su mantenimiento es realizado de acuerdo a procedimientos preestablecidos”.

Knezevic, J. (1996) define a la mantenibilidad como la característica inherente de un elemento, asociada a su capacidad de ser recuperado para el servicio cuando se realiza la tarea de mantenimiento necesaria según se especifica.

Dentro del mismo orden de ideas, la mantenibilidad es la función de eficiencia que mide la capacidad de un componente o equipo de cambiar de un estado inoperante a uno de operación satisfactoria. Conviene acotar que es la probabilidad de que un componente o equipo sea devuelto a un estado en el que pueda cumplir su misión en un tiempo dado, después de aparecida una falla, utilizando procedimientos previamente establecidos. Por consiguiente, el tiempo para reparar requerido se calcula de la siguiente manera en las hojas de cálculos:

$$TPR = (((((\$Di - \$Bi) * 24) - 24) + \text{hora} (\$Ei) + (24 - \text{hora} (\$Ci))) * 60) + \text{minuto} (\$Ei) - \text{minuto} (\$Ci)) / 60 \quad (8)$$

Donde:

TPR = Tiempo para reparar (Horas).

$\$Bi$ = Día de la falla (Día).

$\$Ci$ = Hora de la falla (Horas).

$\$Di$ = Día fin de la falla (Día).

$\$Ei$ = Hora fin de la falla (Horas)

El parámetro fundamental para calcular la mantenibilidad es el tiempo promedio para reparar (TPPR):

$$TPPR = \sum_{i=1}^N \frac{TPR}{N^{\circ} \text{ de fallas}} \quad (9)$$

Donde:

TPPR = Tiempo promedio para reparar (Horas)

ΣTPR = Sumatoria de los tiempos para reparar (Horas)

No. de Fallas = Número total de fallas (Adimensional)

El TPFS o comúnmente llamada la media del tiempo fuera de servicio (MTFS), es el parámetro básico de la mantenibilidad, el cual puede ser obtenido analítica o gráficamente, basándose en el número total de horas fuera de servicio por causa de una falla y el número de acciones de mantenimiento llevado a cabo por concepto de esas fallas.

El tiempo fuera de servicio es el transcurrido desde que el tiempo es desconectado hasta que es entregado de nuevo al grupo de operaciones listo para cumplir su función. Para calcular la mantenibilidad, es importante calcular la tasa de reparaciones y se calcula de la siguiente forma:

$$\mu = \frac{1}{TPPR} \quad (10)$$

Donde:

μ = Tasa de reparaciones (Unidad de tiempo inverso, 1/horas)

TPPR = Tiempo promedio para reparar (Horas)

Ya calculada la tasa de reparaciones se calcula la mantenibilidad con la siguiente ecuación:

$$M(t) = 1 - e^{-\mu(t)} \quad (11)$$

Donde:

$M(t)$ = Mantenibilidad del equipo (Adimensional)

μ = Tasa de reparaciones = 1 / TMPR (Unidad de tiempo inverso, 1/horas)

t = Intervalo en el cual se desea conocer la mantenibilidad del equipo, partiendo de un tiempo $t_1 = 0$.

$e = 2,7183$ constante (Adimensional)

Disponibilidad

La disponibilidad es el principal parámetro asociado al mantenimiento, dado que limita la capacidad de producción. Se define como la probabilidad de que una máquina esté preparada para producción en un período de tiempo determinado, o sea que no esté parada por averías o ajustes. La disponibilidad teórica se calcula de la siguiente manera:

$$D = \frac{T_o}{T_o + T_p} \quad (12)$$

Donde:

D= Disponibilidad teórica (Adimensional).

To= Tiempo total de operación (horas)

Tp= Tiempo total de parada (horas)

Los períodos de tiempo nunca incluyen las paradas planificadas, ya sea por mantenimiento planificado, o por paradas de producción, dado a que estas no son debidas al fallo de la máquina. Aunque la anterior es la definición natural de la disponibilidad, se acostumbra definir, como una función de confiabilidad y mantenibilidad es simplemente cuál es la frecuencia en que un equipo fallará y cuanto es el tiempo que toma el mismo en restablecer sus condiciones de producción originales (después de haber fallado). La confiabilidad, mantenibilidad y por ende la disponibilidad están determinadas por la interacción de diseño, producción y funciones del mantenimiento. Con la siguiente ecuación se calcula la disponibilidad:

$$D = \frac{TPPF}{TPPF + TPPR} * 100 \quad (13)$$

Donde:

D= Disponibilidad (porcentual, %)

TPPF= Tiempo promedio para fallar (horas)

TPPR= Tiempo promedio para reparar (horas)

Cálculos de parámetros a través de la distribución de Weibull. Recibe su nombre del ingeniero y matemático sueco Waloddi Weibull, que la describió detalladamente en 1951. Esta distribución permite encontrar la distribución de fallas de un componente que se pretende controlar y que a través del registro de fallas se observa que estos varían a lo largo del tiempo normal de uso. Facilita la identificación de las variables que influyen en la tasa

de fallas y su consideración, además de disponer de una herramienta de predicción del comportamiento futuro, metodología bastante útil para las empresas que desarrollan programas de mantenimiento preventivo de sus instalaciones.

Las gráficas de Weibull son útiles para planear el mantenimiento, particularmente el RCM (Mantenimiento centrado en la confiabilidad) β (parámetro de forma) indica si las inspecciones programadas o no y las revisiones (o reparaciones) son necesarias. Sus principales ecuaciones son:

$$\text{Confiabilidad } R(t) = e^{-(t/\eta)^\beta}$$

$$\text{Infiabilidad } Q(t) = 1 - e^{-(t/\eta)^\beta}$$

$$\text{Función densidad de probabilidad de fallas } f(t) = \beta/\eta * (T_i - \tau/\eta)^{\beta-1} * e^{-(T_i - \tau/\eta)^\beta}$$

$$\text{Rata de fallas } r(t) = \beta/\eta * (T_i - \tau/\eta)^{\beta-1}$$

Donde β es el parámetro de forma y η es el parámetro de escala

Mantenimiento centrado en la confiabilidad (MCC). Es una metodología en la cual un equipo multidisciplinario de trabajo, se encarga de aplicar la confiabilidad operacional de un sistema, que funciona bajo condiciones de trabajo establecidas, poniendo las actividades más efectivas de mantenimiento en función de la criticidad de los activos pertenecientes a dicho sistema, tomando en cuenta los posibles efectos que originarán las fallas de estos activos, a la seguridad, al ambiente y a las operaciones.

El mantenimiento centrado en la confiabilidad permite identificar estrategias efectivas de mantenimiento, que permitan garantizar el cumplimiento de los estándares requeridos por los procesos de producción.

Sánchez, R.(2011) se refiere al Mantenimiento centrado en la confiabilidad como una metodología que forma parte de la práctica de un sistema de Confiabilidad Operacional, y persigue como fin fundamental establecer planes de óptimos de Mantenimiento basado en una perfecta armonía proceso-gente-tecnología, que garantice el

nivel requerido de confiabilidad operacional. De allí que las principales premisas del MCC son:

Análisis enfocados en las funciones que el proceso o sistema requiere (ej. comprimir, bombear, calentar, entre otros) y no en los equipo o componentes que forman parte del proceso (ej. compresor, bomba, válvula).

Análisis realizados por equipos naturales de trabajo (operador, mantenedor, programador, especialistas) dirigidos por un facilitador, especialista en la metodología del MCC.

Ejecución de la aplicación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (MCC)

La ejecución de toda aplicación del MCC tiene asociado tres etapas:

1. Análisis: bajo responsabilidad del equipo natural de trabajo conformado y cuyo producto son las tareas de mantenimiento, acciones de rediseño y recomendaciones a ejecutarse para el control de los modos de fallas del sistema estudiado.
2. Auditoría y planificación: cuya responsabilidad está en las gerencias de las plantas a quienes les pertenece el sistema y que contempla la auditoría y validación de los resultados de los análisis así como la disposición de los recursos para la implantación de las recomendaciones de los análisis.
3. Ejecución: donde se implantan y ejecutan las distintas recomendaciones y tareas producto del análisis, cuya responsabilidad está en los custodios de la operación y mantenimiento de los sistemas estudiados.

2.4 MARCO LEGAL

El desarrollo de esta investigación, está sustentado en las bases legales establecidas como: la Ley Orgánica del Sistema y Servicio Eléctrico, 2010. Gaceta Oficial N° 39.573, que establece en su artículo 16, numeral 33, que la Transmisión: Es una de las actividades del sistema eléctrico que consiste en el transporte de electricidad desde los puntos de entrega de la generación hasta los puntos de recepción de la red de distribución, mediante el uso de líneas, subestaciones y equipos necesarios para la transformación y el control de los niveles de tensión, así como los equipos requeridos para su operación y mantenimiento.

Así mismo, la Ley Orgánica de Servicio Eléctrico, en el Artículo 27, numeral 22, expresa que: El Ministerio del Poder Popular con competencia en materia de energía eléctrica, tendrá entre otras las siguientes atribuciones: Coordinar y autorizar los planes de mantenimiento de las instalaciones de generación, transmisión y distribución, puestos a su disposición.

En este orden de ideas se utilizará como base legal, la Norma COVENIN 3049-93, esta Norma Venezolana en su sección 2, contempla como objeto y campo de aplicación: “Esta Norma venezolana establece el marco conceptual de la función de mantenimiento, con el fin de lograr la unificación de criterios y principios básicos de dicha función. Su aplicación está dirigida a aquellos sistemas en operación, sujetos a acciones de mantenimiento. En esta Norma se detallan los conceptos básicos del mantenimiento, así como de los principales parámetros de gestión como confiabilidad, mantenibilidad, disponibilidad, los cuales serán de uso fundamental para esta investigación.

De la misma manera, se usaran las normas técnicas para la operación del sistema eléctrico de CORPOELEC (2012) en el Artículo 13, se especifica: “En los planes de mantenimiento anuales, se evaluarán y autorizarán la ejecución de las actividades, presentadas en el último trimestre de cada año por el operador y prestador del servicio para

ser ejecutados durante el próximo año”. Esta investigación, permitirá dar sugerencias a la programación y ejecución de actividades de mantenimiento programadas por la empresa prestadora del servicio eléctrico.

Decreto de creación de CORPOELEC: fue creada mediante decreto presidencial N° 5.330, en julio de 2007, donde el entonces Presidente de la República, Hugo Rafael Chávez Frías, estableció la reorganización del Sector Eléctrico Nacional SEN con la finalidad de mejorar el servicio en toda Venezuela.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

Según Sabino (1992), el marco metodológico es el conjunto de acciones destinadas a describir y analizar el fondo del problema planteado, a través de procedimientos específicos que incluye las técnicas de observación y recolección de datos, determinando el “cómo” se realizará el estudio, esta tarea consiste en hacer operativa los conceptos y elementos del problema que se estudiara. Por esta razón, a continuación se presentarán los procedimientos que llevaron a la obtención del análisis de los datos encontrados en la línea de transmisión, su procesamiento y análisis:

3.1. Diseño de la investigación

Arias (2006), establece que el diseño es la estrategia general que adopta el investigador para responder al problema planteado, para esta investigación se plantea un diseño de campo – no experimental, fundamentado en métodos cuantitativos, ya que solo se recopilaran los datos, con ausencia de manipulación de variables. La información fue tomada en el mismo lugar donde se produce y directamente de las personas involucradas en el estudio.

3.2 Tipo de investigación

Arias (2006), se refiere al grado de profundidad con que se aborda un fenómeno u objeto de estudio, en esta investigación se hará una investigación aplicada – no experimental, debido a que se utilizaron conocimientos de las ciencias de la ingeniería eléctrica y de mantenimiento, con el fin de emplearlas en los cálculos de confiabilidad en líneas de transmisión en niveles de 400 kV, haciendo una enumeración detallada de sus

características, para luego analizarlas obteniendo las conclusiones respectivas. Es de nivel descriptivo, puesto que se hace el procesamiento de los datos asociados a eventos en líneas de transmisión de nivel de 400 kV, los mismos se agruparon por lógica de clases y se realizó el cálculo de las relaciones para definir causas, duración, factores de incidencia, en el desarrollo de las operaciones y funcionamiento del sistema eléctrico.

La investigación se enmarca dentro de la Línea de investigación de calidad de energía y eficiencia energética, aporta en el área prioritaria de energía eléctrica, del Programa de Maestría en Ingeniería Eléctrica de la ilustre Universidad de Carabobo.

3.3 Población o universo de la investigación

Sabino (2010), indica que el universo, es el conjunto de unidades o fuentes de datos que se requieren en una investigación, por esto para el desarrollo de esta investigación se utilizaron como universo las líneas de transmisión activas en nivel de 400 kV, pertenecientes a la región centro occidental de CORPOELEC, descartando los tramos generadores, debido a que la distancia de los mismos es despreciable en comparación con los kilómetros de distancia que recorren sus componentes homólogos, en la Tabla 1 se pueden observar el resumen de eventos por año de las mencionadas líneas de transmisión.

Tabla 1 *Cantidad de eventos en las líneas de transmisión*

Línea de Transmisión, nivel de 400 KV	Fallas por año de ocurrencia			Total
	Año 2016	Año 2017	Año 2018	
Arenosa – Planta Centro L1	17	12	19	48
Arenosa – Planta Centro L2	12	14	8	34
Arenosa - Termocarabobo I	25	12	7	44
Arenosa – Yaracuy	7	4	5	16
Planta Centro –Termocarabobo	7	2	3	12
Planta Centro – Yaracuy	33	30	42	105

Fuente: La Autora (2023)

3.4 Muestra de la investigación

Para Castellanos (1996), la muestra es un grupo relativamente pequeño de unidades de población, que supuestamente representa en mayor o menor medida las características de dicha población. En este sentido, pudiendo asegurar que: la población es conocida, se puede identificar, es accesible, es posible ubicar en ella cada uno de los elementos que la conforman, así como sus características. Se consideró en este estudio la línea Planta Centro – Yaracuy, ya que representa el 42,8% de los eventos totales, siendo la muestra representativa y confiable.

3.5 Técnicas de recolección de la información

Hurtado (2002), define la técnica de recolección de datos como: “una técnica en la cual se recurre a información escrita, ya sea bajo la forma de datos que pueden haber sido producto de mediciones hechas por otros, o como textos que en sí mismos constituyen los eventos de estudio.” (p. 427). En esta investigación la técnica fue la revisión documental, debido a que se analizaron los datos recopilados en el área de mantenimiento especializado de líneas de transmisión.

3.6 Instrumentos de recolección de datos

Tamayo y Tamayo (2007), expone que: el instrumento se define como una ayuda o una serie de elementos que el investigador construye con la finalidad de obtener información, facilitando así la medición de los mismos, en esta investigación los instrumentos con que se recogieron los datos fueron las hojas de cálculo del Departamento de mantenimiento especializado de líneas de transmisión, donde se especifican aspectos como: evento o falla, hora de inicio, hora de finalización, fecha, causa del evento, entre otros.

3.7 Procesamiento de los Datos

Bavaresco (2006, p. 95) indica que: “la investigación no tiene significado sin las técnicas de recolección de datos. Estas técnicas conducen a la verificación del problema planteado. Cada tipo de investigación determina las técnicas a utilizar y cada técnica establece sus herramientas, instrumentos o medios que serán empleados. Para el análisis de los datos se utilizarán métodos estadísticos como: distribución exponencial, distribución de Weibull con mínimos cuadrados, curvas de la bañera, regla de Sturges y recta de regresión. Todos estos métodos arrojarán las curvas características que serán analizadas a través de las teorías de mantenimiento centradas en confiabilidad.

3.8 Fases metodológicas del proyecto.

Para el desarrollo de la investigación, se organizó la misma en cuatro fases, descritas a continuación:

Fase I.-Caracterización de las condiciones de operación del sistema eléctrico de transmisión de niveles de 400 kV, pertenecientes a la región centro occidental venezolana, para lograr esta fase se realizarán las siguientes actividades:

1.- Recolección de información: a través de la colaboración del personal del Departamento de Mantenimiento Especializado de Líneas de Transmisión de la Zona Centro – Occidental, se obtuvo la información referente a la cantidad de líneas que componen el sistema, sus longitudes, cantidad de eventos, su clasificación.

2.- Revisión y organización de los datos: luego de obtener la información, se organizaron las líneas de transmisión por nivel de tensión, los eventos por año, se clasificaron los mismos y se descartaron los tiempos utilizados en mantenimientos programados.

3.- Cálculo de tiempos entre fallas y tiempos para reparar; posteriormente se procedió a organizarlos en orden ascendente, con miras a la aplicación de los métodos estadísticos de las siguientes fases. Adicionalmente, en este paso se elaboró la tabla de frecuencias acumuladas y relativas de los eventos de falla, para conocer la incidencia de cada uno en el funcionamiento del sistema.

Fase II.- En esta fase se efectuaron los cálculos de los parámetros de indicadores de gestión de mantenimiento, para lo cual se desarrollaron los siguientes pasos:

1.- Cálculos de probabilidad de fallas, probabilidad de supervivencia y tasa de fallas en las Líneas de Transmisión de niveles de 400 kV, en secuencia con los cálculos se elaboraron las diversas curvas de Confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad del sistema, a través de la aplicación del método exponencial.

2.- Cálculos de probabilidad de fallas, probabilidad de supervivencia y tasa de fallas en las líneas de transmisión de niveles de 400kV, en secuencia con los cálculos se elaboraron las diversas curvas de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad del sistema, a través de la aplicación del método de distribución de Weibull con mínimos cuadrados.

3.- Obtención de la curva de la bañera, con cada uno de los resultados encontrados en los pasos anteriores, se elaboró de manera experimental la curva de la bañera de la línea de transmisión en nivel de 400 kV, culminando con la recta de regresión donde se determinó la relación de los datos.

Fase III.- En esta se fijó como propósito analizar los parámetros de gestión de mantenimiento obtenidos en las fases I y II, para lograrla se detalla el siguiente procedimiento:

1.- Se efectuó el análisis de los puntos críticos y factores que inciden en la disponibilidad y confiabilidad del sistema eléctrico de transmisión, con el fin de optimizar la confiabilidad operacional del mismo, ya que funciona bajo condiciones de trabajo definidas

2.- Se establecieron las actividades más efectivas de mantenimiento en función de la criticidad de los activos pertenecientes a dicho sistema, tomando en cuenta los posibles efectos que originarán los modos de fallas de estos activos, a la seguridad, al ambiente y a las operaciones.

Fase IV.- Luego de analizados los indicadores de gestión de mantenimiento de la línea de transmisión de 400 KV, se procedió a elaborar las conclusiones y recomendaciones respectivas.

Cronograma de Actividades

Diagrama de Gantt

Fase	Actividad	Meses					
		Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb
I	Recolección de información	█					
	Revisión y organización de datos	█	█				
	Cálculos TEF y TPR		█	█			
II	Cálculos de parámetros a través de la función exponencial		█	█			
	Cálculo de parámetros a través de Weibull con mínimos cuadrados			█			
	Curvas de la bañera, regla de Sturges, recta de regresión				█		
III	Análisis de puntos críticos				█		
	Establecer actividades prioritarias				█	█	
	Determinar confiabilidad operacional					█	
IV	Elaborar conclusiones y recomendaciones					█	█

Fuente: La Autora (2023)

CAPITULO IV

ANALISIS DE LOS RESULTADOS

Condiciones de Operación del Sistema Eléctrico de Transmisión de niveles de 400kV, pertenecientes a la región centro occidental venezolana. En el Sistema de Transmisión de la región occidental se tienen en servicio activo seis (06) líneas de transmisión en nivel de 400kV, descartando en este estudio las líneas de tramos generadores, así como las líneas de respaldo, debido a que su longitud y cantidad de eventos es despreciable en comparación con las activas.

En este sentido, se puede observar en el Gráfico 1, que la Línea Planta Centro – Yaracuy representa el 42,8% del total de eventos de falla en el lapso de 36 meses estudiados, seguida de las líneas Arenosa – Planta Centro 17,84% y Arenosa Termo-Carabobo con un 16,36%. Es importante destacar, que para este estudio, en los eventos de falla considerados, no fueron contemplados los lapsos de Mantenimientos Programados en el sistema.

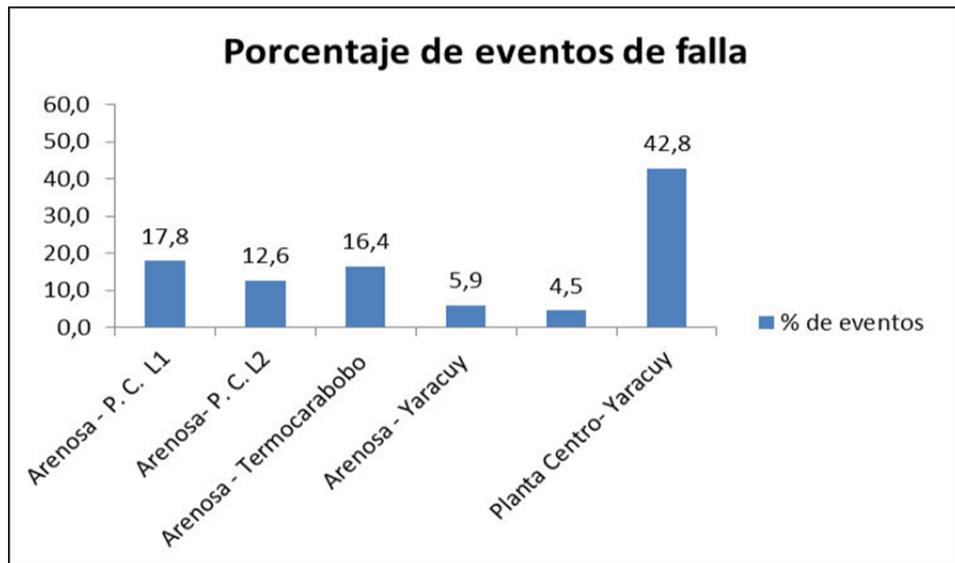


Gráfico 1. Porcentaje de Eventos de Falla
Fuente: La Autora (2023)

Línea Planta Centro – Yaracuy. La línea de transmisión Planta Centro – Yaracuy conecta el tramo correspondiente entre la Subestación Planta Centro 400/230 kV y la Subestación Yaracuy 400/230 kV, su longitud supera los 120Km de distancia recorrida con el tendido eléctrico. En la Tabla 2, luego de clasificar los datos y agruparlos según su causa, se observa la cantidad específica de cada uno de ellos, así como su porcentaje total y acumulado.

Tabla 2 *Porcentaje de eventos de falla*

Causas de Eventos	Número de eventos	Acumulado de eventos	% Total	% Acumulado
Incendio	25	25	23,81	23,81
Contaminación	19	44	18,10	41,90
En investigación	14	58	13,33	55,24
Equipo o Componente	13	71	12,38	67,62
Cambio de aisladores	11	82	10,48	78,10
Vegetación	8	90	7,62	85,71
Terceros	5	95	4,76	90,48
Protecciones	4	99	3,81	94,29
Falla aislamiento/ Apantallamiento	3	102	2,86	97,14
Cable de guarda desprendido	2	104	1,90	99,05
Pérdida de carga	1	105	0,95	100,00

Fuente: La Autora (2023)

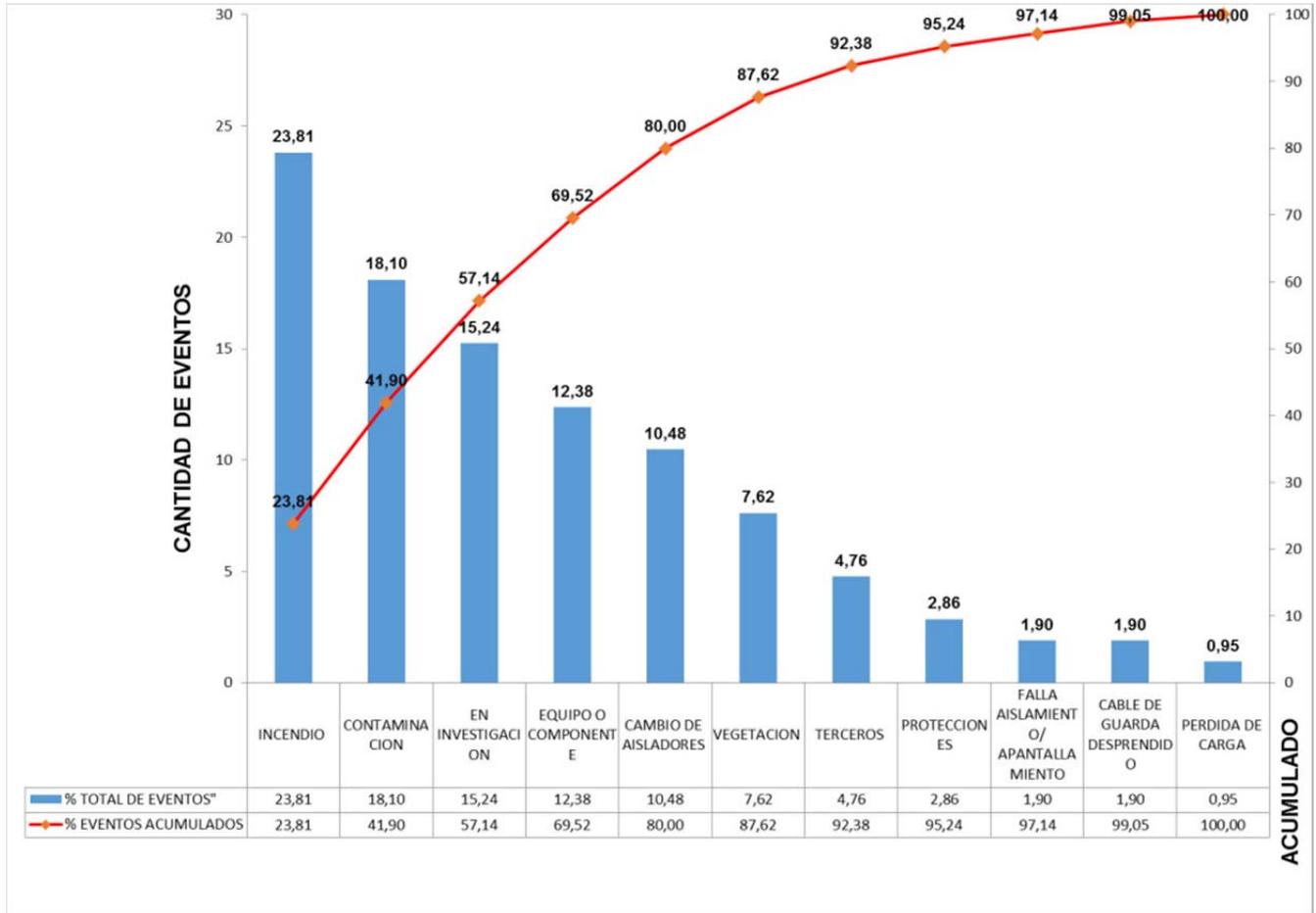


Gráfico 2. Diagrama de Pareto de las frecuencias absolutas y relativas de la línea de transmisión

Fuente: La Autora (2023)

En el gráfico 2, se presenta el diagrama de Pareto de las frecuencias relativas y acumuladas de estas causas; el objetivo de este análisis fue utilizar los eventos de falla para identificar la máxima concentración de potencial del efecto en estudio, se observa que el gráfico arroja que el 78,1 % de las fallas, lo causan eventos de incendios en la zona, contaminación, en investigación, cambios de equipos o componentes; siendo en este grupo los incendios los de mayor ocurrencia con un 23,81% .

El resto de las categorías de fallas lo conforman eventos con poca cantidad como vegetación, protecciones, terceros, desprendimiento de cables de guarda, entre otros. Este

grupo representan las fallas menores en el sistema siendo a su vez las de menor prioridad a considerar.

Cálculo de Tiempos de falla. Con la información extraída del Apéndice 1 (Registro de Fallas, en la Línea de Transmisión Planta Centro – Yaracuy. En un periodo de 36 meses, se procedió a calcular los Tiempos para reparar (TPR) y los tiempos para fallar (TPF) de cada uno de los eventos; así como la sumatoria de los mismos con la finalidad de utilizarlos en el cálculo de los parámetros de rata instantánea de falla (λ) y la rata de reparaciones (μ), en el caso de estudio específico se determinó que para la línea λ es 0,003840 horas-1 y μ es 0,33 horas-1. Es importante destacar que los dos parámetros mencionados son variables en el tiempo, debido a que $\lambda(t)$ o $\mu(t)$, representa una tasa de ocurrencia de eventos, ya que el sistema estudiado es reparable y puede soportar varias fallas.

Aplicación de métodos estadísticos para la obtención de indicadores de gestión de mantenimiento, en la línea de transmisión Planta – Centro Yaracuy en nivel de 400kV. Distribución Exponencial. En el Apéndice 2, se plasmaron los cálculos de Confiabilidad, Infiabilidad, Función densidad de Probabilidad (pdf) y rata de fallas, para el caso particular de $\lambda(t)$ constante, obteniendo los siguientes resultados:

En el Apéndice 3, se aprecia la curva de Confiabilidad $R(t) = e^{-\lambda t}$ una curva exponencial decreciente donde se utilizó la tasa de fallas constante λ de valor 0,003840 horas-1, con lo cual se pudo calcular el TPPF de 260,39 horas. Tomando en consideración este valor se puede tomar como punto crítico el $R(t = 260,39h)$ que dio como resultado 0,36788, lo que significa que en ese punto señalado, la probabilidad de que la línea realice correctamente su función es de 36,788%, un valor bajo que manifiesta que la línea de transmisión posee poca Confiabilidad. En contraposición con el valor de Infiabilidad que el punto del TPPF es de 63,212%.

En este orden de ideas, al realizar el cruce de las curvas $R(t)$ y $Q(t)$ (Apéndice 3), se

obtiene el punto (169,37 ; 0,4782) lo que demuestra que transcurridas 169,37 horas el sistema presenta 47,82% de probabilidad de encontrarse en funcionamiento. En lo referente a la curva de Densidad de Probabilidad de Falla (PDF) se observa que el pico de la misma se da transcurridas las 284,22 horas, por lo que se puede inferir en la curva de distribución que entre las 100 y 500 horas de operación (4 a 20 días luego de una energización ocurrirán más del 50% de las fallas en la línea de transmisión).

Al comparar en el Apéndice 7, las curvas $R(t)$, $Q(t)$ y pdf se observa que el punto de corte de la gráfica de Confiabilidad, con la función densidad de probabilidad de fallas es el de $t = 284,22$; horas lo cual indica que presenta una probabilidad de 36,6% de falla en la línea , valor muy cercano al encontrado evaluando el TPPF en la función de Confiabilidad.

En referencia al Apéndice 8, curva de rata de fallas $r(t)$, se evidencia allí el número de fallas por unidad de tiempo, referido al número de elementos que se encuentran operables en el instante t , se puede observar que antes de las 300 horas, la tasa se mantiene casi constante ; luego de esta posición se incrementa de manera exponencial, lo que es un indicativo que allí $\lambda(t)$, deja de ser constante y entra en variación o lo conocido como periodo de obsolescencia o desgaste.

Distribución de Weibull. En el Apéndice 9, se muestran los cálculos de Confiabilidad, Infiabilidad, Función densidad de Probabilidad (pdf) y rata de fallas, mediante la Distribución de Weibull, donde se considera la tasa de fallas variable, obteniendo los siguientes resultados:

En los Apéndices 10 y 11, se pueden apreciar las curvas de Confiabilidad e Infiabilidad, simuladas a través de los cálculos de $R(t)$ y $Q(t)$ con la Distribución de Weibull a dos parámetros β es el parámetro de forma y η que es el parámetro de vida. Se realizaron tres curvas variando $\beta < 1,0$ para simular fallas tempranas, variando $\beta = 1,0$ para fallas de tasa constante (Vida útil) y $\beta > 1,0$ para periodo de desgaste u obsolescencia. Encontrando en estas, que el punto coincidente de las gráficas es $t=260,322$ horas 0,3681;

valor extraído de la curva donde $\beta=3$ que es donde la tasa de fallas es variable.

Así mismo, en el Apéndice 12, se observan las tres curvas de rata de fallas según la variación del parámetro β , se tomó la intersección de cada una de ellas en sus periodos de mortalidad infantil, vida útil y desgaste para construir la Curva de la Bañera, que se aprecia en la Figura N° 4.

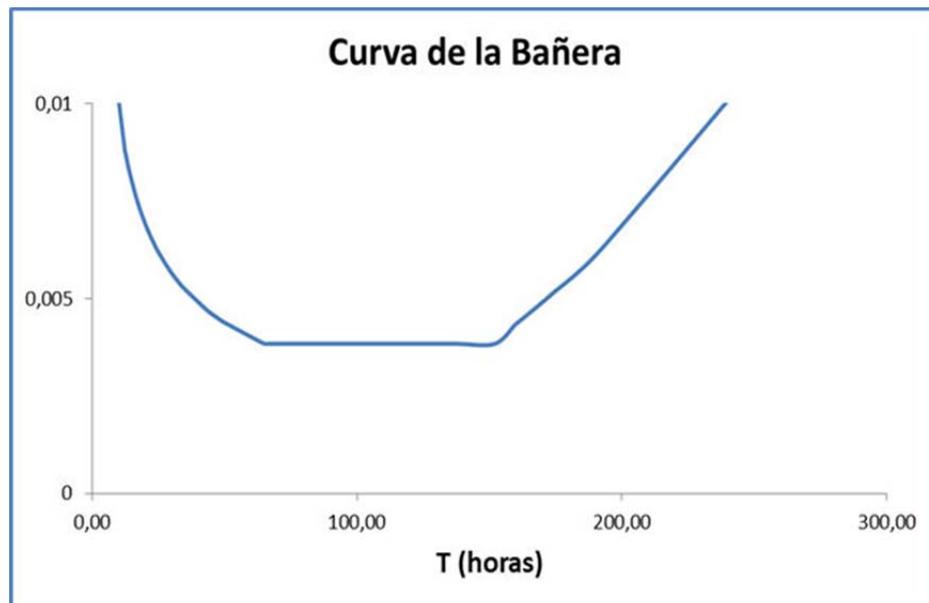


Figura N°4: Curva de la Bañera

Fuente: La Autora (2023)

En la figura se aprecian las tres regiones $\beta < 1,0$; $t < 64$ horas, representa una rata de fallas tempranas (Mortalidad infantil), que tienden a ser causadas por repuestos de mala calidad o defectuosos y/o por mano de obra deficiente. La mala calidad de las partes puede ser asociada a problemas de almacenaje que propicien la contaminación, corrosión y el deterioro. Las deficiencias asociadas con la mano de obra pueden atribuirse a procedimientos débiles, falta de capacitación o disminución de personal calificado, falta de controles de calidad o incluso a temas administrativos como reparaciones apresuradas. La meta es elevar el parámetro β a 1,0 mientras decrece la rata de fallas y se incrementa el TPEF o TPPF.

La segunda zona $\beta = 1,0$ para fallas de tasa constante, se observa que el tiempo varia $64 < t < 152$ horas, allí la línea de transmisión presenta una vida útil de 88 horas (Aproximadamente 4 días sin presentar falla), en esta condición como la tasa es constante, no se pueden hacer predicciones en función del tiempo; en este escenario debe enfocarse en optimizar los planes de inspección y monitoreo de condiciones de operación, de manera tal que se puedan detectar las fallas en su etapa incipiente, por otro lado puede trabajar en mejorar el proceso de análisis de los datos por cada modo de falla.

Por consiguiente, la última zona, llamada de desgaste u obsolescencia es aquella donde se modelo $\beta > 1,0$, específicamente $\beta = 3$, se da en el momento que t supera las 152 horas de servicio; aquí se cumplió la relación que mientras más alto es β , más fuerte es la relación con el tiempo. En este escenario el trabajo consiste en identificar los factores mecánicos, eléctricos, operacionales y humanos que representan las causas que desencadenan la falla. El modo de falla dominante, en algunos casos, se elimina actualizando componentes, rediseñando, reduciendo el estrés operacional u otras iniciativas. En algunos casos las partes o componentes son simplemente reemplazados. En otras instancias, se podría incrementar la veracidad y frecuencia del monitoreo, la meta es que β se mantenga igual o cercano al valor de 1,0; en todos los casos hay que mantenerse enfocados en las actividades de mantenimiento proactivas.

Mantenibilidad es la probabilidad de que la línea de transmisión, vuelva a funcionar correctamente luego de ser reparada, por lo que en el Apéndice 15, se colocan en la tabla respectiva los cálculos de $M(t)$, con cada uno de los tiempos para reparar, extraídos de los eventos de falla.

En este sentido el TPPR para la Línea de Transmisión en un periodo de 36 meses, arrojó un valor de 3,05 horas y una tasa instantánea de reparaciones $\mu = 0,33$ horas⁻¹. Con estos cálculos se procedió a graficar e intersectar $M(t)$ y la Probabilidad de Supervivencia $P_s(t)$, encontrando el punto de intersección (2,13; 0,49658) lo cual indica que superado el tiempo de 2 horas de reparación el 50% de los eventos de falla estarán solventados. Sin embargo es un porcentaje que debería estar en un rango más alto, para mejorar en

consecuencia la Confiabilidad de la operación de la Línea de Transmisión.

Disponibilidad. Se define como la probabilidad de que la línea esté en funcionamiento en un período de tiempo determinado, o sea que no esté fuera de servicio por averías o ajustes. Los períodos de tiempo no incluyen las salidas de servicio planificadas, ya sea por mantenimiento planificado, o por racionamiento, dado a que estas no son debidas al fallo de la línea. Se puede establecer, este parámetro como la frecuencia en que la línea fallará y cuanto es el tiempo que tomará a la misma en restablecer sus condiciones originales (después de haber fallado). Con la siguiente ecuación se calculó la Disponibilidad:

$$D = \frac{TPPF}{TPPF + TPPR} \times 100$$

Donde:

D = Disponibilidad (Porcentual, %)

TPPF = Tiempo Promedio Para Fallar (Horas)

TPPR= Tiempo Promedio Para Reparar (Horas)

$$D = (260,39) / (260,39+3,05) * 100 = 98,84\%$$

Por consiguiente, la línea de transmisión tendrá un 98,84% de Disponibilidad teórica, es importante destacar que la Disponibilidad operacional debe ser calculada incluyendo los tiempos de mantenimiento programado y/o racionamientos del servicio, si se pretende un número más ajustado a la realidad.

En el Apéndice 18, se efectuó el cálculo de la Distribución de Weibull con mínimos cuadrados, con el manejo de los tiempos para fallar y el número de observaciones se logró encontrar de manera experimental los parámetros de forma y escala, mediante la transformación doble logarítmica de la función de distribución acumulativa.

La ecuación de la recta de regresión encontrada fue la siguiente: $Y = 1,054X - 1,606$, donde la pendiente 1,054 es igual a β ; el parámetro de escala (η)=4,5866, coeficiente de correlación $r = 0,8108$ y el coeficiente de determinación $r^2 = 0,6574$.

El coeficiente de correlación, r igual a 0,8108; indica que hay una excelente relación (dependencia) lineal de los datos, ya que su valor está muy próximo a uno. El coeficiente de determinación, r^2 , indica que el 65,74 % de los datos están relacionados linealmente. En

conclusión, estos valores reflejan que la muestra se comporta conforme a la función de densidad de Weibull.

En los Apéndices 18 y 19 se muestran los cálculos así como la gráfica de la Vida característica y el parámetro de forma (β)

CONCLUSIONES

Luego de analizar los datos correspondientes a los eventos de fallas, en la línea de transmisión estudiada en nivel de 400kV, y realizar los cálculos de los parámetros de mantenimiento asociados a Confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad a través de métodos estadísticos, se obtuvieron las siguientes conclusiones:

Al efectuar la caracterización de las condiciones de operación del Sistema Eléctrico de Transmisión de niveles de 400kV, pertenecientes a la región centro occidental venezolana, se observó que la línea que presenta el 42,8% por ciento de eventos totales de falla en el lapso de 36 meses, es la línea Planta Centro Yaracuy, por lo cual se decidió tomarla para efectuar los cálculos específicos, encontrando como aspectos relevantes que entre las causas que originan los eventos de falla se encuentran los incendios con 23,81% , la contaminación con un 18,1% y los equipos o componentes de estos con un 13%.

Al efectuar los cálculos de la Confiabilidad, Mantenibilidad, Probabilidad de Fallas, Probabilidad de Supervivencia y Rata de Fallas en la línea de Transmisión de niveles de 400kV, a través de métodos estadísticos se determinó que el método que más se ajusta al modelo de operación de la Línea de Transmisión es el Método de distribución de Weibull que considera la tasa de fallas variable, y toma el parámetro de forma β , en sus tres niveles: fallas tempranas, vida útil y desgaste. En referencia al nivel de Confiabilidad de la misma los métodos coinciden, en que se encuentra aproximadamente en un 37%, lo que indica que es un nivel que debe ser mejorado de manera inmediata a través de planes de mantenimiento efectivos y con retroalimentación de resultados para el monitoreo de los mismos.

En este orden de ideas, se comprobó que la línea de transmisión, cumple con el esquema de un sistema reparable, que una vez restaurado regresa a su condición de operación inicial (como nuevo), una vez allí se comporta según la curva de la bañera encontrada con los puntos críticos de 64 horas para el umbral de fallas tempranas, hasta 152 horas con vida útil, y luego de superado este tiempo se comporta en desgaste; lo que se

traduce en que generalmente la línea presentará un evento de fallas con más del 63,2% de probabilidad de ocurrencia cada 6 días.

Finalmente, los factores que inciden en la Confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad de la Línea de Transmisión son los tiempos TPPF de 260,39 horas y el TPPR de 3,05 horas, que hacen que al menos (en los 36 meses de estudio) un 75% del tiempo sea en la condición fuera de servicio, incidiendo directamente en el TTI, lo que obliga a plantear la necesidad urgente de Planes de Mantenimiento y de inversión, asociados a la reducción del TPPF. Es importante destacar que a pesar de lo complejo de la topografía, vías de acceso a la línea de transmisión, entre otras el TPPR de 3,05 horas se considera en un rango aceptable.

RECOMENDACIONES

Al finalizar el cálculo y análisis de los parámetros de Gestión de Mantenimiento de la línea de transmisión en nivel de 400KV, se toman en consideración las siguientes recomendaciones:

Plantear de manera urgente Planes de Mantenimiento Preventivo asociados a la reducción de TTPF, para lograr aumentar la Confiabilidad de la Línea de Transmisión.

Aplicar este tipo de estudio a otras Líneas de Transmisión con el mismo nivel de tensión y comparar los resultados.

Calcular la Disponibilidad operativa tomando en cuenta los tiempos empleados en los mantenimientos programados, para conocer así el valor exacto de la misma.

Una vez aplicados los Planes de Mantenimiento específicos, se deben monitorear los TTI, para revisar el TTPF trimestral o semestral, teniendo con esto un indicativo de la efectividad de lo aplicado.

Trabajar en mejorar el proceso de análisis de los datos, por cada modo de falla, encontrando alternativas para minimizar cada uno de ellos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Campos, O; Tolentino G.; y Toledo M. (2019) Metodología de mantenimiento centrado en Confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, base de datos y criticidad de efectos Revista Científica Vol.23 N°1 Instituto Politécnico Nacional de México, Ciudad de México – México.

Canelón, E. (2015). Diagnóstico del estado actual del sistema eléctrico de transmisión de la región centrooccidental en Venezuela. Trabajo de Ascenso Universidad Experimental Politécnica de la Fuerza Armada. Valencia – Carabobo- Venezuela.

Colorado, D. (2010). Diagnóstico del estado actual del sistema eléctrico de transmisión en Venezuela. Universidad de Monteavila, Caracas. Venezuela

Cruzado, R. (2020). Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) a bombas de carga en una refinería (Trabajo de Grado para optar el título de Ingeniero Mecánico-Eléctrico). Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Mecánico-Eléctrica. Piura, Perú.

De Belli, A (2011) Modelo de Gestión de Mantenimiento en Redes de Distribución de Media Tensión en Líneas Energizadas. UNEFA Valencia – Carabobo-Venezuela

Díaz, D. (2009). Localización de fallas en Líneas Aéreas de Transmisión, aplicación de un algoritmo digital para Líneas Paralelas. Escuela Politécnica Nacional Quito, Ecuador [Enlínea] Consultado [22, Abril,2011] Disponible en:
http://biblioteca.cenace.org.ec./jspui/bitstream/123456789/1006/3/Diaz_Diego.pdf

Donald, F. y Wayne B. (1997) *Manual de Ingeniería Eléctrica XIII Edición*. México: McGraw-Hill

Duarte, L., (1988). *Análisis Introductorio de los Sistemas de Potencia* Valencia, Venezuela: Escuela de Ingeniería Eléctrica Facultad de Ingeniería UC

Duffua, S. y Dixon Campbell, J. (2007). *Sistemas de Mantenimiento Planeación y Control*. Editorial Limusa Wiley Grupo Noriega Editores Balderas 95, México D.F.

González, F. (2008). Introducción a los Sistemas Eléctricos de Potencia [En línea] Consultado [21, Abril, 2011] Disponible en: www.fglongatt.org.ve

González, F. (2008). Introducción a los Sistemas de Transmisión [En línea] Consultado [28, Abril, 2011] Disponible en: www.fglongatt.org.ve

Idarraga G., Valencia R. y Hernández J. (2004) Algoritmos para Localización de Fallas en Líneas de Transmisión, Análisis para el caso Colombiano. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín [En línea] Consultado [01, Mayo, 2021] Disponible en: <http://redalyc.uaemex.mx/pdf/496>

Instituto de Ingenieros Electricistas y Electrónicos (IEEE) Definiciones. [En línea] Consultado [21, Abril, 2021] Disponible en:

http://www.ecured.cu/index.php/Institute_of_Electrical_and_Electronics_Engineers

Knezevic, J. (1996) *Mantenibilidad*. España: T.G. Forma, S.A.

Krug, J. (2012) Estudio de Confiabilidad de las Estaciones de Microondas Foráneas del Centro Refinador Paraguaná en el Estado Falcón. Valencia – Carabobo-Venezuela

Ley Orgánica del Sistema y Servicio Eléctrico, 2010. Gaceta Oficial N° 39.573.

Mago, M.; Vallés, L. y Olaya J. (2014) Determinación de la Confiabilidad o Tiempo Promedio entre Fallas (TPEF) en transformadores de distribución, investigación donde se desarrolla una teoría aplicada a la Confiabilidad en sistemas eléctricos. Revista Ingeniería UC Vol.21 N°3 Valencia – Carabobo – Venezuela.

Manual de datos OREDA Fiabilidad en operaciones costa afuera. OREDA. 2002 Noruega Cuarta Edición.

Manual de mantenimiento especializado de líneas de transmisión de CORPOELEC (2012)

Milano H., T. (2005) *Planificación y Gestión del Mantenimiento Industrial*. Editorial Panapo. San Martín, Caracas Venezuela.

Nava Aranguren, J. (1999) *Teoría de Mantenimiento Definiciones y Organización*. Editado por el Consejo de publicaciones de la Universidad de los Andes. Mérida Estado Mérida Venezuela.

Normas COVENIN 3039-93, de fecha 09-12-2001.

Normas CADAFE para la operación del sistema eléctrico de potencia (1992)

Pooch, H. (1968.). Taschenbuch der Fernmelde-Praxis 1968

Rodríguez, J. (2004) *Introducción a la teoría del mantenimiento y su estado actual*. [En línea] Consultado [10, Diciembre, 2015] Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/7497765/Gestion-del-mantenimiento>

Rodríguez, Y., Ochoa, N. y Pineda M. (2008) *La Experiencia de Investigar III Edición*. Valencia, Venezuela: Dirección de Medios y Publicaciones Universidad de Carabobo.

Sabino, C., (2000) *El proceso de Investigación*. Caracas: Editorial Panapo.

Salazar, C. (2013) Taller sobre Confiabilidad. Universidad Nacional Experimental de la Fuerza Armada.

Sanabria, M.; Fernández J. (2019) Gestión estratégica de mantenimiento para confiabilidad operacional de las obras e instalaciones del sistema de riego El Cenizo. Revista Ingenio, Revista científica arbitrada especializada en ingeniería Vol. 1 N°1 UNEFA Caracas Venezuela.

Siegert, L., (1997). *Alta Tensión y Sistemas de Transmisión*. Balderas 95 México DF. Limusa, Noriega Editores.

Terán, M. (2018) Análisis RAM de la Subestación Eléctrica Guacara I, 115KV /34,5KV -13,8KV, usando distribución exponencial y de Weibull, Universidad de Carabobo, Valencia – Carabobo-Venezuela

Vernaza, V.; Villa, J. (2020) Análisis de Indicadores de Confiabilidad para las Centrales Eléctricas de Generación de EPM Universidad de Antioquia, Facultad de Ingeniería Medellín Colombia

Apéndice

Apéndice 1. Registro de Fallas, en la Línea de Transmisión Planta Centro – Yaracuy.

Periodo de 36 meses.

Item	Tipo de Evento	Fecha de disparo (día/mes/año)	Hora de ocurrencia	Fecha de energización (día/mes/año)	Hora de energización	TPF (Horas)	TPR	Observaciones
1	INCENDIO	06/01/2013	08:02	06/01/2013	08:10	152	0,13	QUEMA DE VEGETACION ENTRE LAS TORRES 190 Y 191
2	INCENDIO	05/02/2013	03:30	05/02/2013	03:43	724,67	0,22	QUEMA DE VEGETACION TORRES 220 Y 221
3	EQUIPO O COMPONENTE DE EQUIPO	26/02/2013	06:26	26/02/2013	06:45	506,72	0,32	AISLADOR DESPRENDIDO TORRE 214
4	CAMBIO DE AISLADORES	27/02/2013	06:34	27/02/2013	10:18	23,82	3,73	REEMPLAZO AISLADOR DESPRENDIDO TORRE 214
5	INCENDIO	28/02/2013	03:20	28/02/2013	03:36	17,03	0,27	QUEMA DE CAÑA TORRES 294-297
6	INCENDIO	28/02/2013	04:57	28/02/2013	05:29	1,35	0,53	QUEMA DE CAÑA TORRES 294-297
7	EN INVESTIGACION	03/05/2013	03:40	03/05/2013	03:50	1534,18	0,17	EN INVESTIGACION
8	EN INVESTIGACION	17/06/2013	21:31	17/06/2013	22:15	1085,68	0,73	EN INVESTIGACION
9	PERDIDA DE CARGA	11/07/2013	06:33	11/07/2013	11:50	575,27	5,28	APERTURA
10	EN INVESTIGACION	15/07/2013	11:42	15/07/2013	11:54	95,87	0,20	EN INVESTIGACION
11	EN INVESTIGACION	20/07/2013	17:27	20/07/2013	17:45	125,55	0,30	EN INVESTIGACION
12	VEGETACION	04/08/2013	13:47	05/08/2013	12:36	356,03	22,82	ARBOL SOBRE LA LINEA VANO 138
13	EN INVESTIGACION	05/08/2013	14:03	05/08/2013	16:44	1,45	2,68	EN INVESTIGACION
14	EN INVESTIGACION	18/08/2013	14:23	18/08/2013	14:37	309,65	0,23	DISPARO CON SEÑALES 1 7 Y 13, KM: 46,92 DESDE PLANTA CENTRO
15	EN INVESTIGACION	20/08/2013	14:51	20/08/2013	15:07	47,77	0,27	DISPARO CON SEÑALES 3 7 13 15, KM: SIN KM.
16	EN INVESTIGACION	27/08/2013	13:54	28/08/2013	10:06	167,73	19,90	EN INVESTIGACION
17	EN INVESTIGACION	29/08/2013	10:00	29/08/2013	10:13	23,90	0,22	EN INVESTIGACION
18	EN INVESTIGACION	29/08/2013	10:14	29/08/2013	18:15	0,02	8,02	EN INVESTIGACION
19	EN INVESTIGACION	20/09/2013	12:42	20/09/2013	12:49	533,55	0,12	EN INVESTIGACION
20	VEGETACION	16/10/2013	14:30	16/10/2013	16:38	625,68	2,13	VEGETACION VANO 165
21	VEGETACION	17/10/2013	13:58	17/10/2013	14:23	21,33	0,42	VEGETACION VANO 165
22	VEGETACION	24/10/2013	06:05	24/10/2013	12:26	159,70	6,35	CORTE DE VEGETACION EN LAS TORRES 138 Y 139
23	VEGETACION	20/11/2013	20:09	20/11/2013	20:16	645,33	0,12	DISPARO DEL X-1220 CON 480 A.
24	VEGETACION	24/11/2013	07:51	24/11/2013	12:02	95,58	4,18	CORTE DE VEGETACION VANOS 165 Y 166

Item	Tipo de Evento	Fecha de disparo (día/mes/año)	Hora de ocurrencia	Fecha de energización (día/mes/año)	Hora de energización	TPF (Horas)	TPR	Observaciones
25	PROTECCIONES	22/12/2013	10:00	22/12/2013	10:09	669,97	0,15	PROTECCIONES PRIMARIAS Y SECUNDARIAS 2,7 (IDEM)
26	PROTECCIONES	24/12/2013	22:17	24/12/2013	22:27	48,13	0,17	PROTECCIONES PRIMARIAS Y SECUNDARIAS 2,7 (IDEM)
27	CAMBIO DE AISLADORES	25/01/2014	05:54	25/01/2014	12:34	763,45	6,67	MTTO A TORRE HERRAJES Y AISLADORES
28	CAMBIO DE AISLADORES	09/02/2014	05:30	09/02/2014	11:54	352,93	6,40	OPERATIVO DE LIMPIEZA MECANICA DE AISLADORES ENTRE TORRES 250 A LA 280
29	INCENDIO	09/03/2014	12:40	09/03/2014	12:50	672,77	0,17	DISPARO UBICADO A 87,5KM DESDE YARACUY, QUEMA DE VEGETACION
30	INCENDIO	09/03/2014	19:32	09/03/2014	19:39	6,70	0,12	Quema de vegetación T 141-142
31	INCENDIO	16/03/2014	13:32	16/03/2014	13:42	174,12	0,17	Quema de vegetación T 140-141
32	INCENDIO	16/03/2014	13:47	16/03/2014	18:29	0,08	4,70	P/P: REL 531 : 3 FASE T (arranque), 7 HF (disparo con HF), P/S: REL 531 1 3 FASE T (arranque), 7 HF (disparo con HF) CAUSA: Quema de vegetación T 140-141
33	INCENDIO	28/03/2014	14:42	28/03/2014	15:54	284,22	2,20	P/P=P/S (REL 531): 3 (ARRANQUE FASE T) – 7 (DISPARO CON RECEPCIÓN DE HF).S/E PLANTA CENTRO: P/P=P/S (REL 531): 3 (ARRANQUE FASE T) – 7 (DISPARO CON RECEPCIÓN HF). CAUSA: QUEMA DE VEGETACIÓN T86-87
34	INCENDIO	28/03/2014	16:12	28/03/2014	16:20	0,30	0,13	P/P:P/S= REL 531, 1 FASE A (arranque), 7 HF (disparo con HF).S/E PLANTA CENTRO: P/P:P/S=REL 531 1 FASE A (arranque), 7 HF (disparo con HF). CAUSA: QUEMA DE VEGETACIÓN T86-87

Item	Tipo de Evento	Fecha de disparo (día/mes/año)	Hora de ocurrencia	Fecha de energización (día/mes/año)	Hora de energización	TPF (Horas)	TPR	Observaciones
35	INCENDIO	28/03/2014	16:24	28/03/2014	17:15	0,07	0,85	P/P:P/S= REL 531, 1 FASE A (arranque), 7 HF (disparo con HF).S/E PLANTA CENTRO: P/P:P/S= 1 FASE A (arranque), 7 HF (disparo con HF). CAUSA: CAUSA: QUEMA DE VEGETACIÓN T86-87
36	INCENDIO	30/03/2014	12:23	30/03/2014	12:29	43,13	0,10	QUEMA DE VEGETACION T-86-87
37	INCENDIO	02/04/2014	04:28	02/04/2014	04:37	63,98	0,15	INCENDIO DE BASURERO BAJO LA LINEA, ENTRE TORRES 246 Y 249
38	INCENDIO	02/04/2014	05:11	02/04/2014	05:16	0,57	0,08	INCENDIO DE BASURERO BAJO LA LINEA, ENTRE TORRES 246 Y 249
39	FALLA AISLAMIENTO/APANTALLAMIENTO	02/04/2014	06:50	02/04/2014	11:19	1,57	4,48	LLUVIAS Y DESCARGAS ATMOSFERICAS
40	INCENDIO	10/04/2014	12:12	10/04/2014	12:19	192,88	0,12	POR AUTO DESCARGA DE LAS UNIDADES 11 Y 12 DE LA PLANTA PEDRO CAMEJO Y POSTERIOR DISPARO FUE NECESARIO ABRIR ESTA LINEA
41	FALLA AISLAM/APANT.	16/04/2014	06:21	17/04/2014	14:04	138,03	5,38	SIN OBSERVACIONES
42	CAMBIO DE AISLADORES	23/08/2014	06:53	23/08/2014	12:45	3064,82	5,87	SIN OBSERVACIONES
43	TERCEROS	20/09/2014	20:41	20/09/2014	21:02	679,93	0,35	Quedando sin 62ecánic el tramo generador N° 5 en S/E Planta Centro.
44	PROTECCIONES	02/11/2014	10:01	02/11/2014	10:29	1043,00	0,47	SE INSPECCIONO LA LINEA DE ACUERDO CON EL LOCALIZADOR DE FALLA CON UN RANGO DE +/- 10 TORRES / NO SE ENCONTRO EVIDENCIA FISICA DE DISPARO
45	PROTECCIONES	05/11/2014	13:41	05/11/2014	17:14	78,40	3,55	SE INSPECCIONO LA LINEA PARA LOCALIZAR LA FALLA CON UN RANGO DE +/- 10 TORRES / NO SE ENCONTRO

Item	Tipo de Evento	Fecha de disparo (día/mes/año)	Hora de ocurrencia	Fecha de energización (día/mes/año)	Hora de energización	TPF (Horas)	TPR	Observaciones
46	CONTAMINACION	29/11/2014	04:29	29/11/2014	05:03	574,50	0,57	Para el momento en que ocurre ésta falla, disparó simultáneamente la Línea de 400 kV La Horqueta – La Arenosa, Terna N° 1. Causa: se investiga
47	VEGETACION	03/01/2015	04:05	07/01/2015	12:33	850,07	8,47	ARBOL VANO 18, TERRENO DERRAPO
48	TERCEROS	08/02/2015	13:12	08/02/2015	13:32	756,10	0,33	Para el momento en que ocurre ésta falla, quedo sin tensión la salida de 400 kV La Arenosa, Terna N° 1 en la S/E Yaracuy que estaba alimentada por el interruptor intermedio X1420. CAUSA: SE INVESTIGA
49	CONTAMINACION	07/03/2015	05:54	07/03/2015	12:23	626,83	6,48	LIMPIEZA DE AISLADORESDESDE LA 200 A LA 225
50	CONTAMINACION	08/03/2015	05:31	08/03/2015	11:49	17,13	6,30	LIMPIEZA DE AISLADORES DESDE LA 225 A LA 250
51	TERCEROS	12/04/2015	20:52	12/04/2015	21:17	849,05	0,42	A CONSECUENCIA DE DISPARO EN PLANTA. CAUSA: CORRECCION DE FUGA DE AIRE EN LA FASE T DEL DISYUNTOR AQ01
52	EN INVESTIGACION	13/04/2015	06:30	13/04/2015	06:37	33,22	0,12	Disparo LINEA PLANTA CENTRO – YARACUY 1 DE 400 KV. CAUSA: Desconocida.
53	TERCEROS	15/04/2015	00:24	15/04/2015	00:54	47,17	0,50	Disparo LINEA HORQUETA – ARENOSA 2 DE 400 KV . CAUSA: A CONSECUENCIADE FALLA DE ARENOSA-YARACUY
54	EQUIPO O COMPONENTE DE EQUIPO	19/04/2015	03:59	19/04/2015	04:22	98,18	0,38	AISLADOR DESCARGADOEN TOI NOTA: PARA EL MOMENTO DE LA FALLA, HABÍA LLUVIAS CON DESCARGAS ATMOSFÉRICAS EN LA ZONA DE LA S/E YARACUY.

Item	Tipo de Evento	Fecha de disparo (día/mes/año)	Hora de ocurrencia	Fecha de energización (día/mes/año)	Hora de energización	TPF (Horas)	TPR	Observaciones
55	EQUIPO O COMPONENTE DE EQUIPO	19/04/2015	05:45	19/04/2015	06:07	1,38	0,37	AISLADOR DESCARGADO EN TORRE 249 NOTA: PARA EL MOMENTO DE LA FALLA, HABÍA LLUVIAS CON DESCARGAS ATMOSFÉRICAS EN ZONA DE LA S/E YARACUY.
56	EQUIPO O COMPONENTE DE EQUIPO	19/04/2015	06:25	19/04/2015	17:50	0,30	11,42	AISLADOR DESCARGADO EN TORRE 249 NOTA: PARA EL MOMENTO DE LA FALLA, HABÍA LLUVIAS CON DESCARGAS ATMOSFÉRICAS EN
57	CAMBIO DE AISLADORES	25/04/2015	07:19	25/04/2015	12:03	124,68	5,73	CAMBIO DE AISLADORES TORRES 215, 213, 249 CADENAS DESCARGADAS FASE "S"
58	TERCEROS	26/04/2015	04:34	26/04/2015	12:27	16,52	7,88	CAUSA: Desconocida.
59	TERCEROS	29/04/2015	17:42	29/04/2015	18:04	65,30	0,37	CAUSA: Desconocida.
60	CAMBIO DE AISLADORES	30/04/2015	06:22	30/04/2015	10:55	12,30	4,55	CAMBIO DE AISLADORES EN LA FASE "S" TORRES 249 Y 265
61	INCENDIO	30/04/2015	11:51	30/04/2015	12:06	0,93	0,25	Quema de vegetación bajo la línea VANOS 102 A104.
62	INCENDIO	03/05/2015	14:19	03/05/2015	14:35	74,22	0,27	QUEMA EN VANO 85
63	INCENDIO	10/05/2015	15:57	10/05/2015	16:29	169,37	0,53	Quema de Vegetación entre las torres 18-19-20
64	INCENDIO	10/05/2015	16:31	10/05/2015	18:32	0,03	4,02	Quema de Vegetación entre lastorres 18-19-20
65	INCENDIO	10/05/2015	19:54	10/05/2015	20:02	1,37	0,13	Quema de Vegetación entre lastorres 18-19-20
66	INCENDIO	10/05/2015	20:04	10/05/2015	22:20	0,03	4,27	Quema de Vegetación entre lastorres 18-19-20
67	INCENDIO	11/05/2015	23:21	11/05/2015	23:37	25,02	0,27	QUEMA DE VEGETACION ENTRE TORRES 3 Y 12
68	INCENDIO	11/05/2015	23:38	12/05/2015	00:15	0,02	24,62	QUEMA DE VEGETACION ENTRE TORRES 3 Y 12
69	INCENDIO	12/05/2015	01:14	12/05/2015	01:26	0,98	0,20	Disparo LINEA PLANTA CENTRO – YARACUY 1 DE 400 KV . CAUSA: QUEMA DE VEGETACION TORRES 3 Y 12

Item	Tipo de Evento	Fecha de disparo (día/mes/año)	Hora de ocurrencia	Fecha de energización (día/mes/año)	Hora de energización	TPF (Horas)	TPR	Observaciones
70	INCENDIO	12/05/2015	01:33	12/05/2015	06:48	0,12	5,25	QUEMA DE VEGETACION ENTRE TORRES 3 Y 12
71	CONTAMINACION	15/05/2015	02:00	15/05/2015	02:09	67,20	0,15	CONTAMINACION
72	CONTAMINACION	15/05/2015	02:49	15/05/2015	02:59	0,67	0,17	CONTAMINACION
73	CONTAMINACION	15/05/2015	03:19	15/05/2015	14:53	0,33	11,70	CONTAMINACION
74	CONTAMINACION	16/05/2015	01:11	16/05/2015	01:31	34,30	0,33	Contaminación.
75	CONTAMINACION	16/05/2015	02:09	16/05/2015	02:30	0,63	0,35	contaminación, torre 3
76	CONTAMINACION	16/05/2015	02:33	16/05/2015	02:45	0,05	0,20	aisladores descargados torre 342
77	CONTAMINACION	16/05/2015	03:31	16/05/2015	08:42	0,77	5,18	Aisladores descargados torre 342
78	CONTAMINACION	19/05/2015	04:02	19/05/2015	04:27	67,33	0,42	Aislamiento descargado contaminación
79	CONTAMINACION	19/05/2015	21:03	19/05/2015	21:55	4,60	0,87	CONTAMINACION
80	EQUIPO O COMPONENTE DE EQUIPO	19/05/2015	22:24	19/05/2015	22:34	0,48	0,17	Cable de Guarda desprendido entre las torres 3-4
81	EQUIPO O COMPONENTE DE EQUIPO	19/05/2015	22:47	19/05/2015	22:54	0,22	0,12	Cable de Guarda desprendido entre las torres 3-4
82	EQUIPO O COMPONENTE DE EQUIPO	19/05/2015	22:57	19/05/2015	23:11	0,05	0,23	Cable de Guarda desprendido entre las torres 3-4
83	EQUIPO O COMPONENTE DE EQUIPO	19/05/2015	23:21	19/05/2015	23:28	0,17	0,12	Cable de Guarda desprendido entre las torres 3-4 P/P=P/S
84	EQUIPO O COMPON DE EQUIPO	20/05/2015	00:13	20/05/2015	00:16	12,75	0,05	(REL 531): ARRANQUE FASE "S" - ZONA III - RECEPCION HF - ALTA VELOCIDAD FASE S Y T - DISPARO CON RECEPCION HF CAUSA: Cable de Guarda desprendido entre torre 3-4
85	EQUIPO O COMPONENTE DE EQUIPO	20/05/2015	00:40	20/05/2015	00:42	0,40	0,03	Cable de guarda desprendido entre torre 2-4
86	EQUIPO O COMPONENTE DE EQUIPO	20/05/2015	01:18	20/05/2015	01:33	0,60	0,25	Cable de guarda desprendido entre torre 2-4
87	CABLE DE GUARDA DESPRENDIDO	20/05/2015	07:58	20/05/2015	16:56	6,42	8,97	Cortar cable de guarda desprendido de la torre N° 2 a la torre N°4.
88	CONTAMINACION	24/05/2015	00:23	24/05/2015	00:33	91,45	0,17	AISLAMIENTO DESCARGADO TORRE 13
89	CAMBIO DE AISLADORES	25/05/2015	05:54	25/05/2015	12:00	29,35	6,10	CAMBIO DE AISLAMIENTO EN TORRE 13 EN LAS 3 FASES.

Item	Tipo de Evento	Fecha de disparo (día/mes/año)	Hora de ocurrencia	Fecha de energización (día/mes/año)	Hora de energización	TPF (Horas)	TPR	Observaciones
90	CONTAMINACION	28/05/2015	21:11	28/05/2015	22:52	81,18	2,68	Contaminación en el extremo de la S/E PLANTA CENTRO
91	CABLE DE GUARDA DESPRENDIDO	29/05/2015	01:07	29/05/2015	01:46	14,25	0,65	Realizar corrección de cable de guarda desprendido entre los tramos de torres N° 02 y 03
92	FALLA AISLAMIENTO/APANTALLAMIENTO	29/05/2015	05:01	29/05/2015	05:16	3,25	0,25	Lluvias con Descargas Atmosféricas en la zona y Alta Contaminación en el extremo de la S/E PLANTA CENTRO.
93	VEGETACION	11/06/2015	11:25	11/06/2015	11:44	318,15	0,32	Vegetación en vano 32
94	CAMBIO DE AISLADORES	18/06/2015	06:32	18/06/2015	13:41	162,80	7,15	Cambio de cadena de aisladores en la torre N° 3 fase R y T, corte de vegetación crítica entre las torres N° 32 y 33.
95	CONTAMINACION	25/06/2015	07:24	26/06/2015	03:31	161,72	20,10	LIMPIEZA MECANICA DE AISLADORES TORRE 300 A LA 312
96	CONTAMINACION	26/06/2015	06:45	26/06/2015	11:48	3,23	5,05	LIMPIEZA MECANICA DE AISLADORES TORRE 313 A LA 325
97	CONTAMINACION	27/06/2015	06:37	27/06/2015	12:15	18,82	5,63	LIMPIEZA MECANICA DE AISLADORES TORRE 326 A LA 336
98	EN INVESTIGACION	29/06/2015	13:43	29/06/2015	14:03	49,47	0,33	EN INVESTIGACION
99	CAMBIO DE AISLADORES	18/07/2015	06:03	18/07/2015	12:12	448,00	6,15	CAMBIO DE AISLADORES EN LAS TRES FASES DE LA TORRE 163
100	CAMBIO DE AISLADORES	25/07/2015	08:01	25/07/2015	11:54	163,82	3,88	CAMBIO DE AISLADORES EN LAS TRES FASES DE LA TORRE 163
101	EQUIPO O COMPONENTE DE EQUIPO	16/08/2015	05:07	16/08/2015	07:10	521,22	4,05	EN INVESTIGACION
102	EQUIPO O COMPONENTE DE EQUIPO	29/11/2015	03:48	29/11/2015	04:48	2516,63	1,00	AISLADOR DESCARGADO TORRE 283 FASE S
103	EN INVESTIGACION	31-12-2015	13:12	31-12-2015	13:25	776,40	0,22	EN INVESTIGACION
104	CONTAMINACION	07/02/2016	5:32:00	07/02/2016	12:45:00	916,12	7,22	LIMPIEZA DE AISLADORES DE LA 211 A LA 250
105	CONTAMINACION	24/02/2016	7:15:00	24/02/2016	11:43:00	414,50	4,47	limpieza mecánica de aisladores de la torre 1 a la 250 y 238 a la 250

Fuente: La Autora (2023)

Apéndice 2. Tabla de cálculos (Distribución Exponencial) de Confiabilidad, Infiabilidad, función densidad de falla (pdf) y rata de fallas $r(t)$, para la línea de Transmisión .

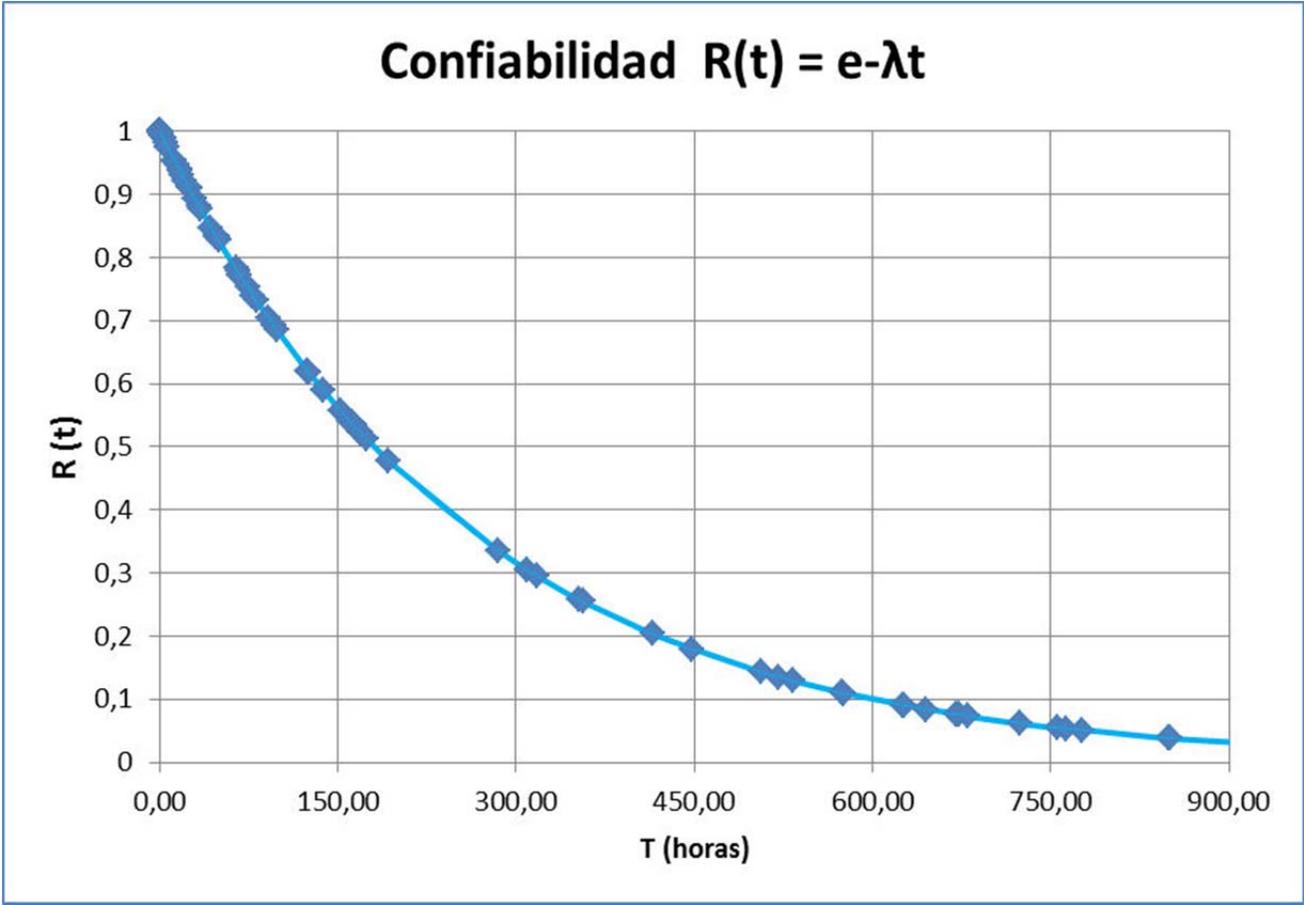
N°	TPF	TPR	ti (ordenados)	λ	$\lambda * ti$	$R(t) = \text{Exp}(-\lambda * ti)$	$Q(t) = 1 - R(t)$	pdf	r (t)
1	152,00	0,13	0,02	0,00384	0,00006	0,99994	0,00006	0,00006	0,00006
2	724,67	0,22	0,02	0,00384	0,00006	0,99994	0,00006	0,00006	0,00006
3	506,72	0,32	0,03	0,00384	0,00013	0,99987	0,00013	0,00013	0,00013
4	23,82	3,73	0,03	0,00384	0,00013	0,99987	0,00013	0,00013	0,00013
5	17,03	0,27	0,05	0,00384	0,00019	0,99981	0,00019	0,00019	0,00019
6	1,35	0,53	0,05	0,00384	0,00019	0,99981	0,00019	0,00019	0,00019
7	1534,18	0,17	0,07	0,00384	0,00026	0,99974	0,00026	0,00026	0,00026
8	1085,68	0,73	0,08	0,00384	0,00032	0,99968	0,00032	0,00032	0,00032
9	575,27	5,28	0,12	0,00384	0,00045	0,99955	0,00045	0,00045	0,00045
10	95,87	0,20	0,17	0,00384	0,00064	0,99936	0,00064	0,00064	0,00064
11	125,55	0,30	0,22	0,00384	0,00083	0,99917	0,00083	0,00083	0,00083
12	356,03	22,82	0,30	0,00384	0,00115	0,99885	0,00115	0,00115	0,00115
13	1,45	2,68	0,30	0,00384	0,00115	0,99885	0,00115	0,00115	0,00115
14	309,65	0,23	0,33	0,00384	0,00128	0,99872	0,00128	0,00128	0,00128
15	47,77	0,27	0,40	0,00384	0,00154	0,99847	0,00153	0,00153	0,00154
16	167,73	19,90	0,48	0,00384	0,00186	0,99815	0,00185	0,00185	0,00186
17	23,90	0,22	0,57	0,00384	0,00218	0,99783	0,00217	0,00217	0,00218
18	0,02	8,02	0,60	0,00384	0,00230	0,99770	0,00230	0,00230	0,00231
19	533,55	0,12	0,63	0,00384	0,00243	0,99757	0,00243	0,00243	0,00244
20	625,68	2,13	0,67	0,00384	0,00256	0,99744	0,00256	0,00255	0,00256
21	21,33	0,42	0,77	0,00384	0,00294	0,99706	0,00294	0,00294	0,00295
22	159,70	6,35	0,93	0,00384	0,00358	0,99642	0,00358	0,00357	0,00359
23	645,33	0,12	0,98	0,00384	0,00378	0,99623	0,00377	0,00376	0,00378
24	95,58	4,18	1,35	0,00384	0,00518	0,99483	0,00517	0,00516	0,00520
25	669,97	0,15	1,37	0,00384	0,00525	0,99477	0,00523	0,00522	0,00526
26	48,13	0,17	1,38	0,00384	0,00531	0,99470	0,00530	0,00528	0,00533
27	763,45	6,67	1,45	0,00384	0,00557	0,99445	0,00555	0,00554	0,00558
28	352,93	6,40	1,57	0,00384	0,00602	0,99400	0,00600	0,00598	0,00603
29	672,77	0,17	3,23	0,00384	0,01242	0,98766	0,01234	0,01226	0,01249
30	6,70	0,12	3,25	0,00384	0,01248	0,98760	0,01240	0,01233	0,01256
31	174,12	0,17	4,60	0,00384	0,01767	0,98249	0,01751	0,01736	0,01782
32	0,08	4,70	6,42	0,00384	0,02464	0,97566	0,02434	0,02404	0,02495
33	284,22	2,20	6,70	0,00384	0,02573	0,97460	0,02540	0,02508	0,02606
34	0,30	0,13	12,30	0,00384	0,04724	0,95386	0,04614	0,04506	0,04837
35	0,07	0,85	12,75	0,00384	0,04896	0,95221	0,04779	0,04663	0,05018
36	43,13	0,10	14,25	0,00384	0,05473	0,94675	0,05325	0,05181	0,05625
37	63,98	0,15	16,52	0,00384	0,06343	0,93854	0,06146	0,05953	0,06549
38	0,57	0,08	17,03	0,00384	0,06541	0,93668	0,06332	0,06127	0,06760
39	1,57	4,48	17,13	0,00384	0,06580	0,93632	0,06368	0,06161	0,06801
40	192,88	0,12	18,82	0,00384	0,07226	0,93029	0,06971	0,06723	0,07494
41	138,03	5,38	21,33	0,00384	0,08193	0,92134	0,07866	0,07548	0,08538
42	3064,82	5,87	23,82	0,00384	0,09147	0,91259	0,08741	0,08347	0,09578
43	679,93	0,35	23,90	0,00384	0,09179	0,91230	0,08770	0,08374	0,09613
44	1043,00	0,47	25,02	0,00384	0,09607	0,90840	0,09160	0,08727	0,10084
45	78,40	3,55	29,35	0,00384	0,11272	0,89341	0,10659	0,10070	0,11931
46	574,50	0,57	33,22	0,00384	0,12756	0,88024	0,11976	0,11229	0,13606
47	850,07	8,47	34,30	0,00384	0,13173	0,87658	0,12342	0,11547	0,14079

N°	TPF	TPR	ti (ordenados)	λ	$\lambda * ti$	$R(t) = \text{Exp}(-\lambda * ti)$	$Q(t) = 1 - R(t)$	pdf	r (t)
48	756,10	0,33	43,13	0,00384	0,16565	0,84734	0,15266	0,14036	0,18016
49	626,83	6,48	47,17	0,00384	0,18114	0,83432	0,16568	0,15113	0,19858
50	17,13	6,30	47,77	0,00384	0,18344	0,83240	0,16760	0,15270	0,20135
51	849,05	0,42	48,13	0,00384	0,18485	0,83123	0,16877	0,15365	0,20304
52	33,22	0,12	49,47	0,00384	0,18997	0,82698	0,17302	0,15710	0,20921
53	47,17	0,50	63,98	0,00384	0,24572	0,78214	0,21786	0,19219	0,27854
54	98,18	0,38	65,30	0,00384	0,25078	0,77820	0,22180	0,19515	0,28502
55	1,38	0,37	67,20	0,00384	0,25807	0,77254	0,22746	0,19937	0,29443
56	0,30	11,42	67,33	0,00384	0,25859	0,77214	0,22786	0,19967	0,29510
57	124,68	5,73	74,22	0,00384	0,28502	0,75200	0,24800	0,21433	0,32979
58	16,52	7,88	78,40	0,00384	0,30109	0,74001	0,25999	0,22281	0,35133
59	65,30	0,37	81,18	0,00384	0,31177	0,73215	0,26785	0,22826	0,36585
60	12,30	4,55	91,45	0,00384	0,35120	0,70384	0,29616	0,24719	0,42078
61	0,93	0,25	95,58	0,00384	0,36708	0,69276	0,30724	0,25429	0,44351
62	74,22	0,27	95,87	0,00384	0,36816	0,69200	0,30800	0,25477	0,44508
63	169,37	0,53	98,18	0,00384	0,37706	0,68587	0,31413	0,25862	0,45799
64	0,03	4,02	124,68	0,00384	0,47883	0,61951	0,38049	0,29664	0,61419
65	1,37	0,13	125,55	0,00384	0,48216	0,61745	0,38255	0,29771	0,61957
66	0,03	4,27	138,03	0,00384	0,53010	0,58855	0,41145	0,31199	0,69910
67	25,02	0,27	152,00	0,00384	0,58374	0,55781	0,44219	0,32561	0,79273
68	0,02	24,62	159,70	0,00384	0,61331	0,54156	0,45844	0,33214	0,84653
69	0,98	0,20	161,72	0,00384	0,62105	0,53738	0,46262	0,33374	0,86089
70	0,12	5,25	162,80	0,00384	0,62521	0,53515	0,46485	0,33458	0,86865
71	67,20	0,15	163,82	0,00384	0,62912	0,53306	0,46694	0,33536	0,87596
72	0,67	0,17	167,73	0,00384	0,64416	0,52510	0,47490	0,33825	0,90439
73	0,33	11,70	169,37	0,00384	0,65043	0,52182	0,47818	0,33941	0,91637
74	34,30	0,33	174,12	0,00384	0,66867	0,51239	0,48761	0,34262	0,95165
75	0,63	0,35	192,88	0,00384	0,74075	0,47676	0,52324	0,35316	1,09750
76	0,05	0,20	284,22	0,00384	1,09150	0,33571	0,66429	0,36643	1,97874
77	0,77	5,18	309,65	0,00384	1,18917	0,30447	0,69553	0,36207	2,28437
78	67,33	0,42	318,15	0,00384	1,22182	0,29469	0,70531	0,36006	2,39335
79	4,60	0,87	352,93	0,00384	1,35540	0,25784	0,74216	0,34948	2,87830

N°	TPF	TPR	ti (ordenados)	λ	$\lambda * ti$	$R(t) = \text{Exp}(-\lambda * ti)$	$Q(t) = 1 - R(t)$	pdf	r (t)
80	0,48	0,17	356,03	0,00384	1,36730	0,25479	0,74521	0,34838	2,92475
81	0,22	0,12	414,50	0,00384	1,59184	0,20355	0,79645	0,32402	3,91277
82	0,05	0,23	448,00	0,00384	1,72049	0,17898	0,82102	0,30793	4,58726
83	0,17	0,12	506,72	0,00384	1,94598	0,14285	0,85715	0,27798	6,00052
84	12,75	0,05	521,22	0,00384	2,00167	0,13511	0,86489	0,27044	6,40140
85	0,40	0,03	533,55	0,00384	2,04903	0,12886	0,87114	0,26404	6,76040
86	0,60	0,25	574,50	0,00384	2,20630	0,11011	0,88989	0,24293	8,08203
87	6,42	8,97	575,27	0,00384	2,20924	0,10978	0,89022	0,24254	8,10881
88	91,45	0,17	625,68	0,00384	2,40286	0,09046	0,90954	0,21736	10,05476
89	29,35	6,10	626,83	0,00384	2,40728	0,09006	0,90994	0,21680	10,10369
90	81,18	2,68	645,33	0,00384	2,47832	0,08388	0,91612	0,20789	10,92128
91	14,25	0,65	669,97	0,00384	2,57293	0,07631	0,92369	0,19634	12,10411
92	3,25	0,25	672,77	0,00384	2,58368	0,07550	0,92450	0,19506	12,24578
93	318,15	0,32	679,93	0,00384	2,61120	0,07345	0,92655	0,19178	12,61540
94	162,80	7,15	724,67	0,00384	2,78299	0,06185	0,93815	0,17214	15,16737
95	161,72	20,10	756,10	0,00384	2,90371	0,05482	0,94518	0,15918	17,24171
96	3,23	5,05	763,45	0,00384	2,93194	0,05329	0,94671	0,15625	17,76395
97	18,82	5,63	776,40	0,00384	2,98167	0,05071	0,94929	0,15119	18,72073
98	49,47	0,33	849,05	0,00384	3,26067	0,03836	0,96164	0,12509	25,06710
99	448,00	6,15	850,07	0,00384	3,26458	0,03821	0,96179	0,12475	25,16907
100	163,82	3,88	916,12	0,00384	3,51824	0,02965	0,97035	0,10432	32,72487
101	521,22	4,05	1043,00	0,00384	4,00552	0,01821	0,98179	0,07296	53,90012
102	2516,63	1,00	1085,68	0,00384	4,16944	0,01546	0,98454	0,06446	63,67894
103	776,40	0,22	1534,18	0,00384	5,89185	0,00276	0,99724	0,01627	361,07297
104	916,12	7,22	2516,63	0,00384	9,66483	0,00006	0,99994	0,00061	15752,63376
105	414,50	4,47	3064,82	0,00384	11,77006	0,00001	0,99999	0,00009	129320,67824
Σ TPF	27341,05								
TPPF	260,39								
λ	0,003840379								

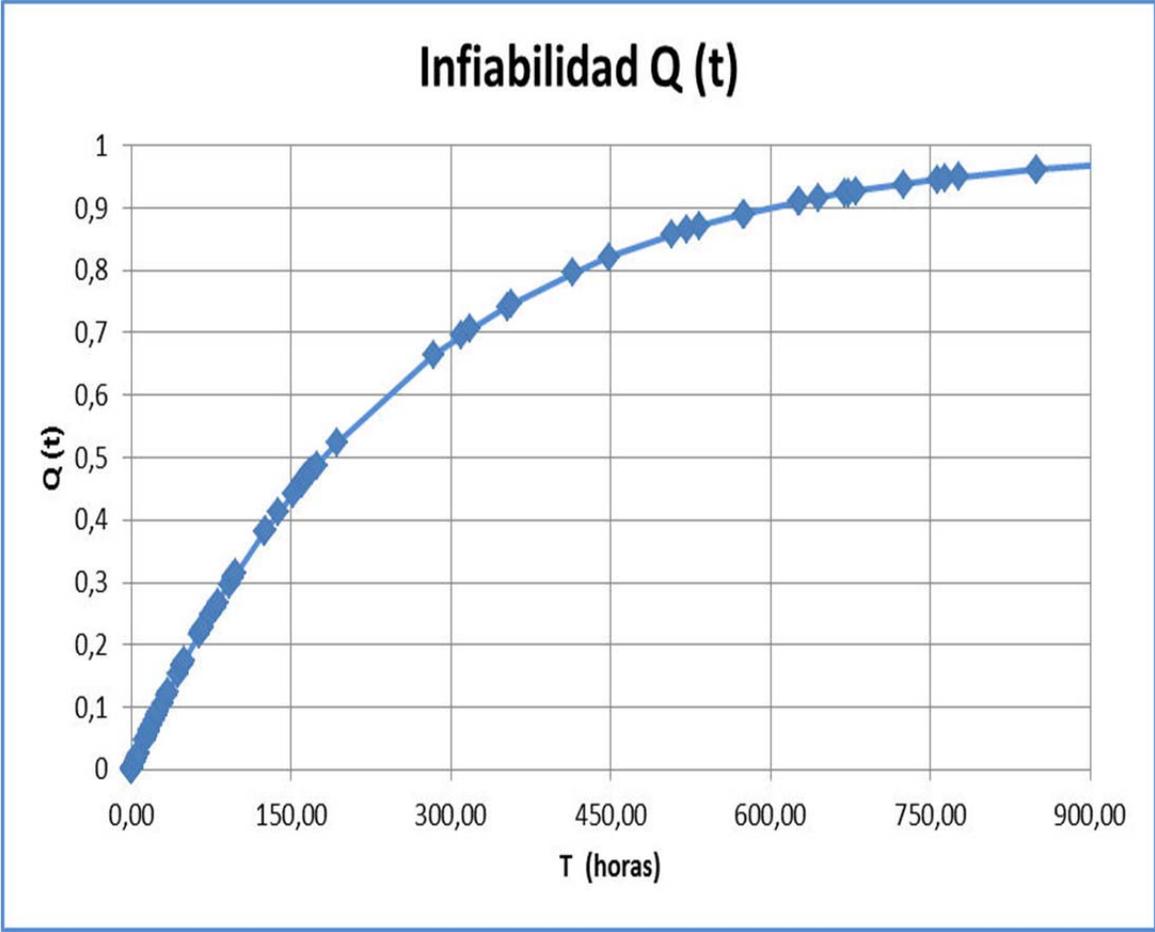
Fuente: La Autora (2023)

Apéndice 3. Curva de Confiabilidad (Distribución Exponencial), para la Línea de Transmisión.



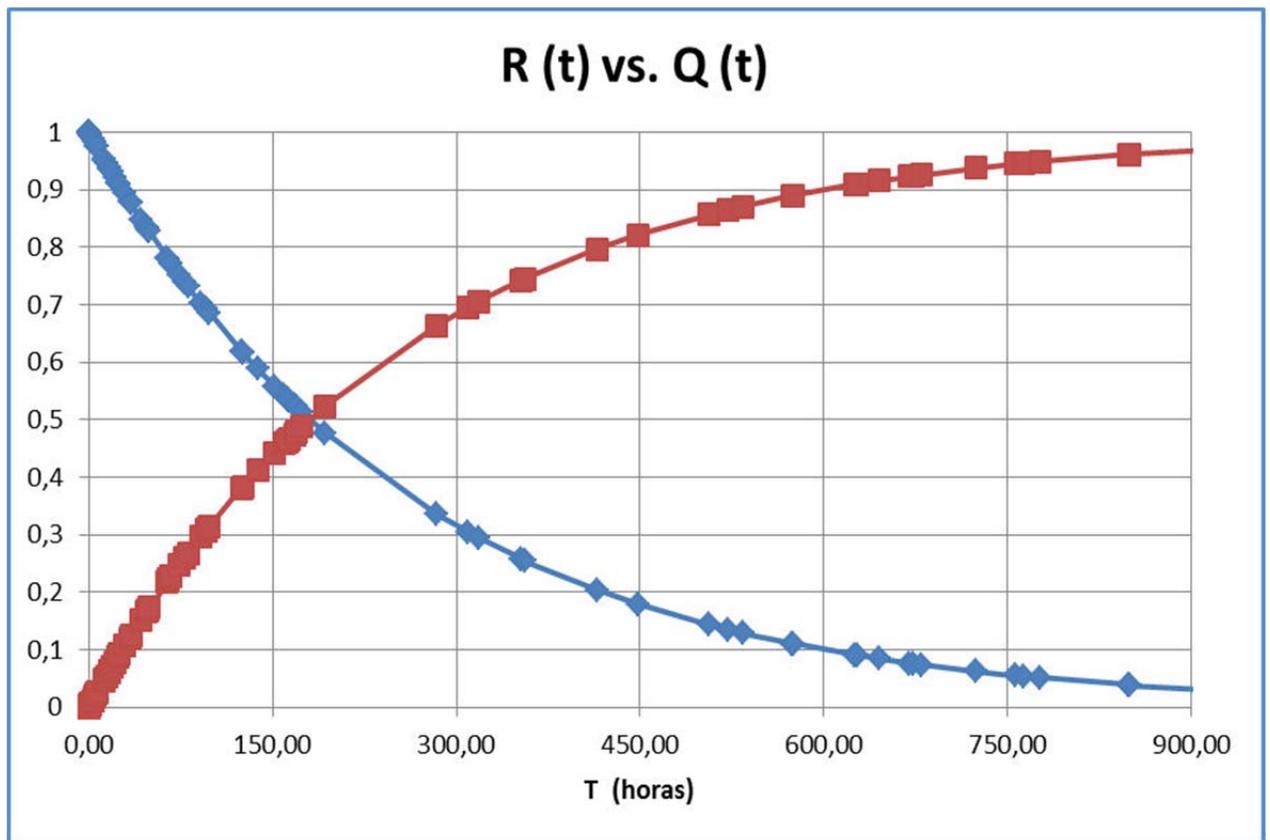
Fuente: La Autora (2023).

Apéndice 4. Curva de Infiabilidad (Distribución Exponencial), para la Línea de Transmisión.



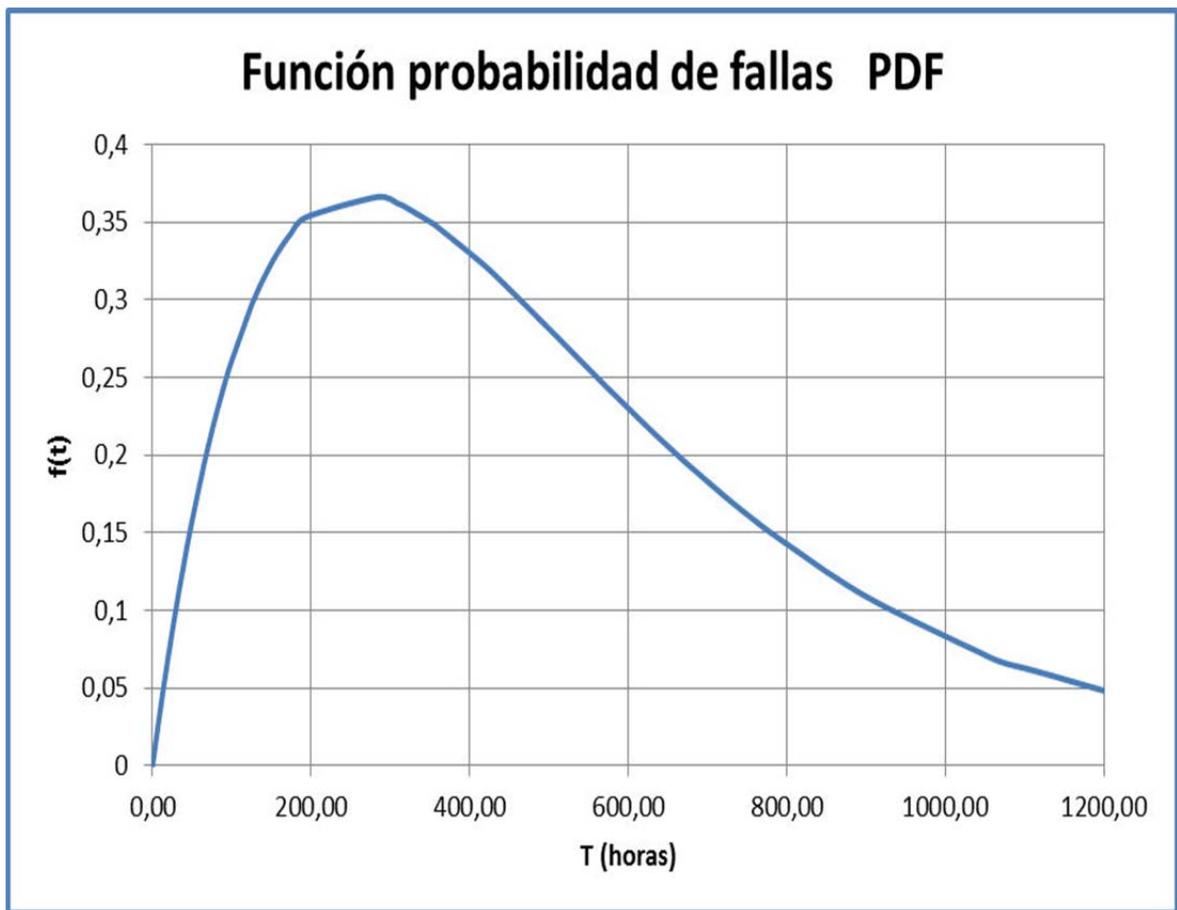
Fuente: La Autora (2023).

Apéndice 5. Comparación de curvas Confiabilidad e Infiabilidad, mediante la Distribución Exponencial



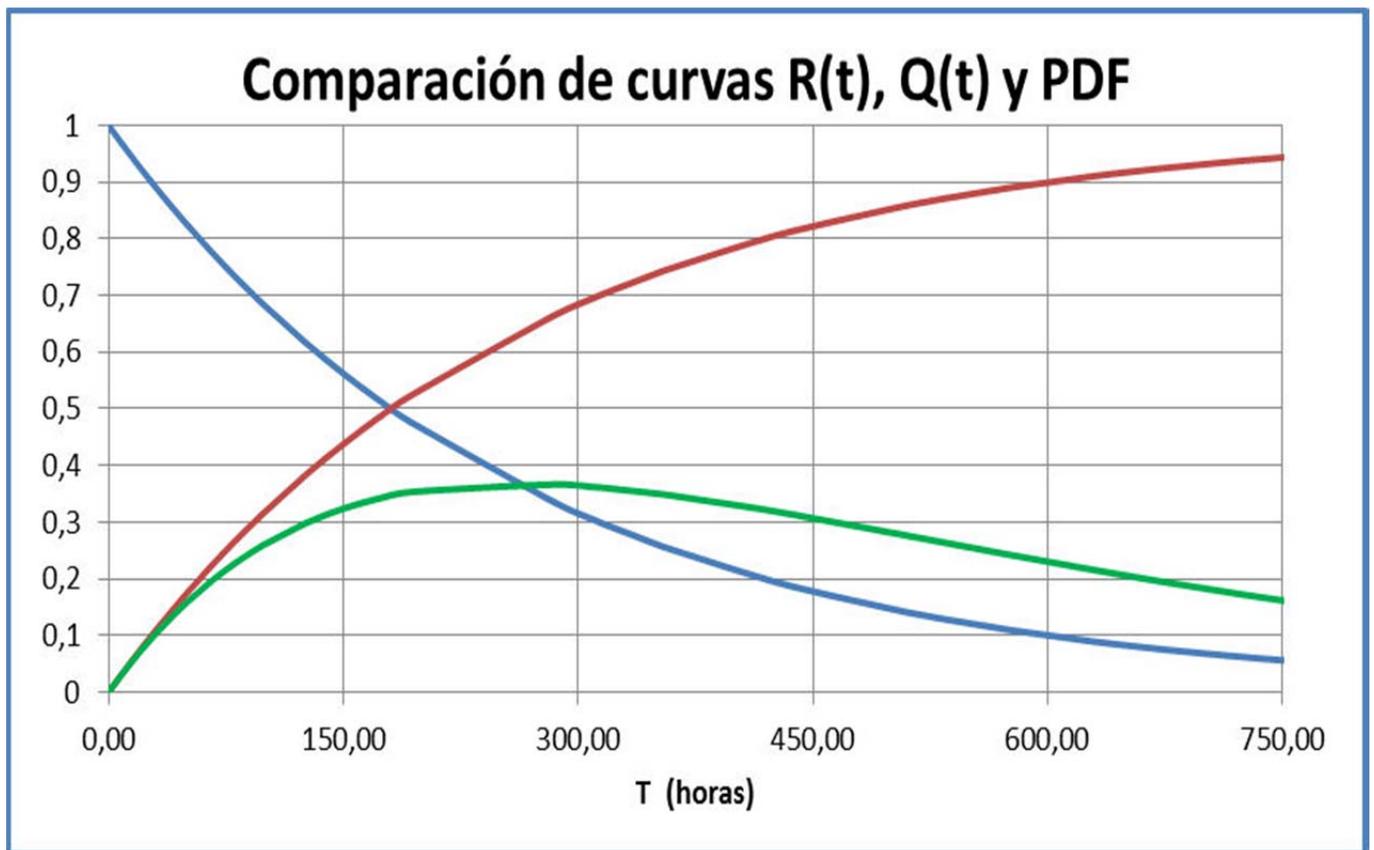
Fuente: La Autora (2023).

Apéndice 6. Curva de Función densidad de probabilidad de fallas (pdf) mediante la Distribución Exponencial



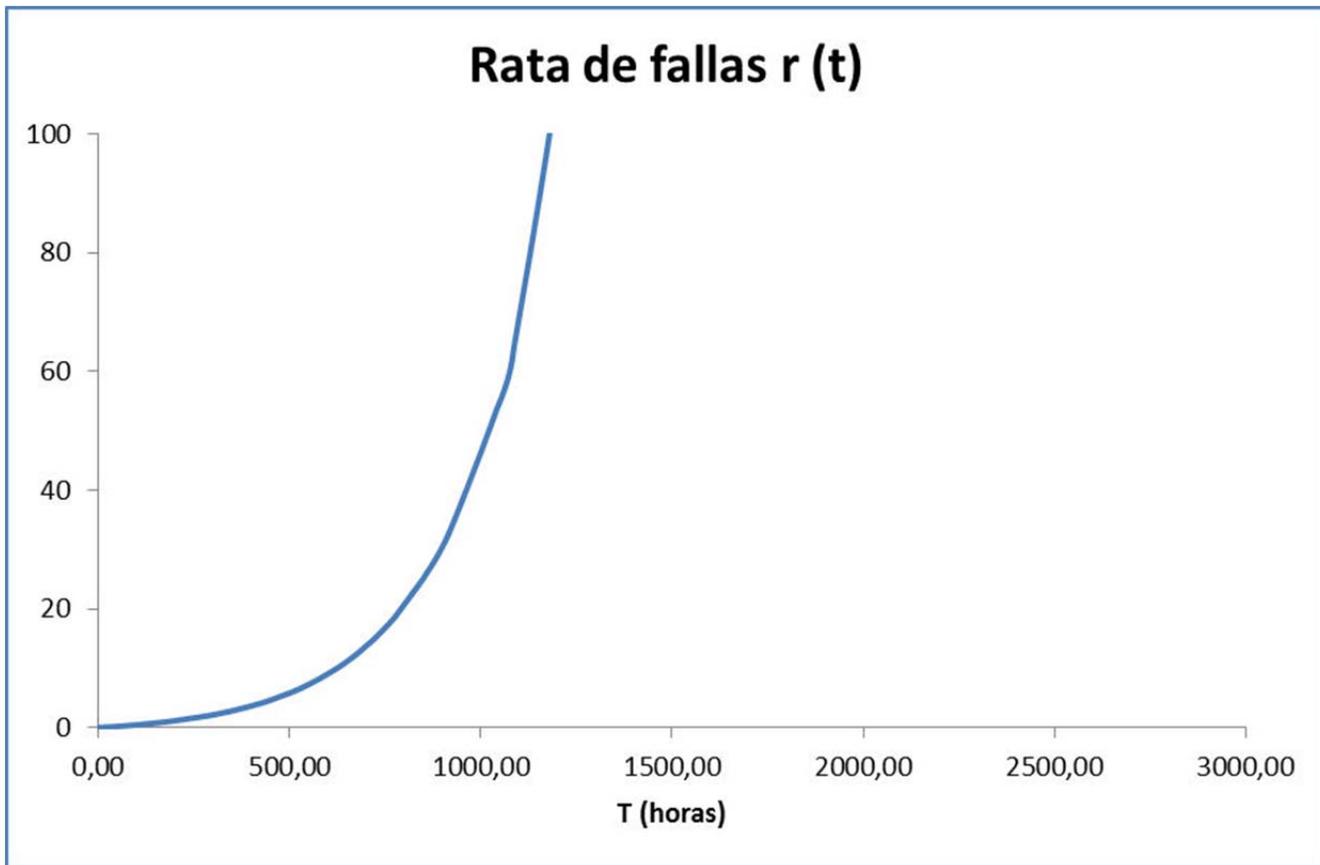
Fuente: La Autora (2023).

Apéndice 7. Comparación de curvas de Confiabilidad, Infiabilidad y Función densidad de probabilidad de fallas (pdf) mediante la Distribución Exponencial



Fuente: La Autora (2023).

Apéndice 8. Curva de rata de fallas $r(t)$, mediante distribución exponencial.



Fuente: La Autora (2023).

Apéndice 9 Tabla de cálculos (Distribución de Weibull) de Confiabilidad, Infiabilidad, función densidad de falla (pdf) y rata de fallas r(t), para la línea de Transmisión .

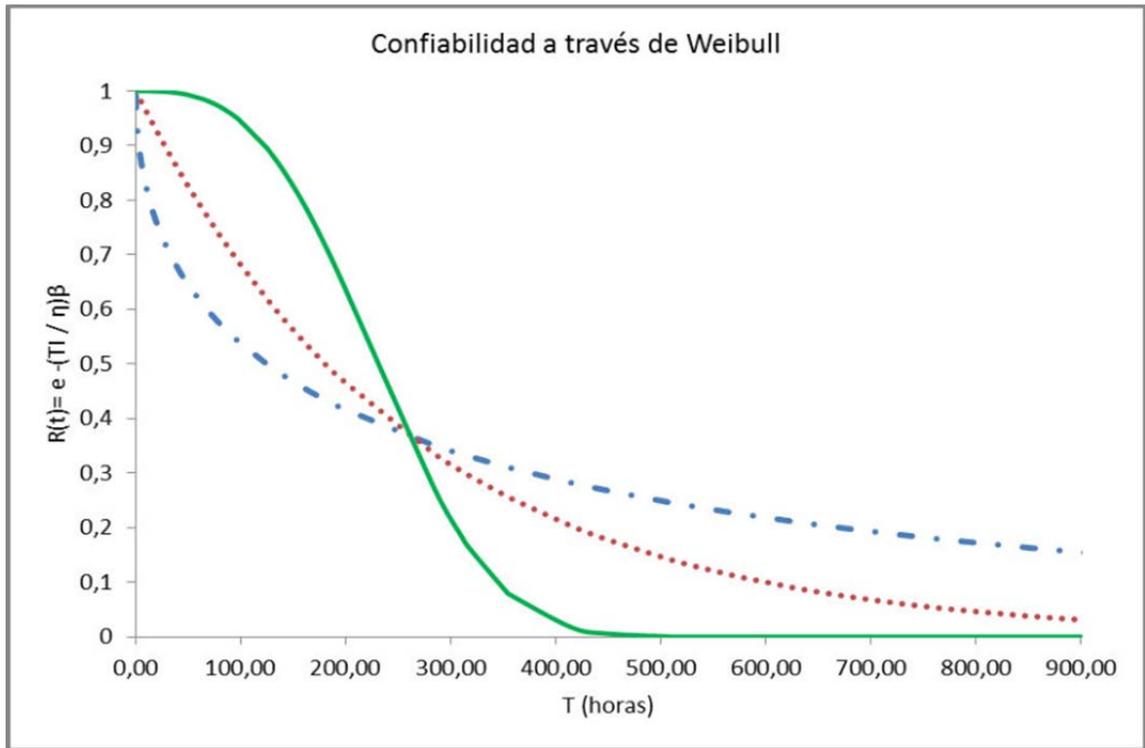
N°	ti (ordenados)	R(t)= e ^{-(TI / η)^β}			Q(t)= 1 - e ^{-(TI / η)^β}			ft)= β/η*(Ti-γ/η) ^{β-1} * e ^{-(Ti - γ/η)^β}			r (t)= β/η*(Ti-γ/η) ^{β-1}		
		β=0,5	β=1	β=3	β=0,5	β=1	β=3	β=0,5	β=1	β=3	β=0,5	β=1	β=3
1	0,02	0,99203	0,99994	1,00000	0,00797	0,00006	0,00000	0,2381	0,003840	0,0000	0,240012	0,003840	0,000000
2	0,02	0,99203	0,99994	1,00000	0,00797	0,00006	0,00000	0,2381	0,003840	0,0000	0,240012	0,003840	0,000000
3	0,03	0,98875	0,99987	1,00000	0,01125	0,00013	0,00000	0,1678	0,003840	0,0000	0,169714	0,003840	0,000000
4	0,03	0,98875	0,99987	1,00000	0,01125	0,00013	0,00000	0,1678	0,003840	0,0000	0,169714	0,003840	0,000000
5	0,05	0,98624	0,99981	1,00000	0,01376	0,00019	0,00000	0,1367	0,003840	0,0000	0,138571	0,003840	0,000000
6	0,05	0,98624	0,99981	1,00000	0,01376	0,00019	0,00000	0,1367	0,003840	0,0000	0,138571	0,003840	0,000000
7	0,07	0,98413	0,99974	1,00000	0,01587	0,00026	0,00000	0,1181	0,003839	0,0000	0,120006	0,003840	0,000000
8	0,08	0,98227	0,99968	1,00000	0,01773	0,00032	0,00000	0,1054	0,003839	0,0000	0,107337	0,003840	0,000000
9	0,12	0,97906	0,99955	1,00000	0,02094	0,00045	0,00000	0,0888	0,003839	0,0000	0,090716	0,003840	0,000000
10	0,17	0,97502	0,99936	1,00000	0,02498	0,00064	0,00000	0,0740	0,003838	0,0000	0,075899	0,003840	0,000000
11	0,22	0,97157	0,99917	1,00000	0,02843	0,00083	0,00000	0,0647	0,003837	0,0000	0,066567	0,003840	0,000000
12	0,30	0,96663	0,99885	1,00000	0,03337	0,00115	0,00000	0,0547	0,003836	0,0000	0,056571	0,003840	0,000000
13	0,30	0,96663	0,99885	1,00000	0,03337	0,00115	0,00000	0,0547	0,003836	0,0000	0,056571	0,003840	0,000000
14	0,33	0,96485	0,99872	1,00000	0,03515	0,00128	0,00000	0,0518	0,003835	0,0000	0,053668	0,003840	0,000000
15	0,40	0,96156	0,99847	1,00000	0,03844	0,00153	0,00000	0,0471	0,003834	0,0000	0,048992	0,003840	0,000000
16	0,48	0,95783	0,99815	1,00000	0,04217	0,00185	0,00000	0,0427	0,003833	0,0000	0,044569	0,003840	0,000000
17	0,57	0,95442	0,99783	1,00000	0,04558	0,00217	0,00000	0,0393	0,003832	0,0000	0,041162	0,003840	0,000000
18	0,60	0,95313	0,99770	1,00000	0,04687	0,00230	0,00000	0,0381	0,003832	0,0000	0,040002	0,003840	0,000000
19	0,63	0,95188	0,99757	1,00000	0,04812	0,00243	0,00000	0,0371	0,003831	0,0000	0,038935	0,003840	0,000000
20	0,67	0,95066	0,99744	1,00000	0,04934	0,00256	0,00000	0,0361	0,003831	0,0000	0,037949	0,003840	0,000000
21	0,77	0,94718	0,99706	1,00000	0,05282	0,00294	0,00000	0,0335	0,003829	0,0000	0,035388	0,003840	0,000000
22	0,93	0,94189	0,99642	1,00000	0,05811	0,00358	0,00000	0,0302	0,003827	0,0000	0,032073	0,003840	0,000000
23	0,98	0,94040	0,99623	1,00000	0,05960	0,00377	0,00000	0,0294	0,003826	0,0000	0,031247	0,003840	0,000000
24	1,35	0,93053	0,99483	1,00000	0,06947	0,00517	0,00000	0,0248	0,003821	0,0000	0,026668	0,003840	0,000000
25	1,37	0,93012	0,99477	1,00000	0,06988	0,00523	0,00000	0,0247	0,003820	0,0000	0,026505	0,003840	0,000000
26	1,38	0,92971	0,99470	1,00000	0,07029	0,00530	0,00000	0,0245	0,003820	0,0000	0,026345	0,003840	0,000000
27	1,45	0,92809	0,99445	1,00000	0,07191	0,00555	0,00000	0,0239	0,003819	0,0000	0,025732	0,003840	0,000000
28	1,57	0,92537	0,99400	1,00000	0,07463	0,00600	0,00000	0,0229	0,003817	0,0000	0,024755	0,003840	0,000000
29	3,23	0,89455	0,98766	1,00000	0,10545	0,01234	0,00000	0,0154	0,003793	0,0000	0,017232	0,003840	0,000002
30	3,25	0,89429	0,98760	1,00000	0,10571	0,01240	0,00000	0,0154	0,003793	0,0000	0,017188	0,003840	0,000002
31	4,60	0,87554	0,98249	0,99999	0,12446	0,01751	0,00001	0,0126	0,003773	0,0000	0,014447	0,003840	0,000004
32	6,42	0,85472	0,97566	0,99999	0,14528	0,02434	0,00001	0,0105	0,003747	0,0000	0,012232	0,003840	0,000007
33	6,70	0,85180	0,97460	0,99998	0,14820	0,02540	0,00002	0,0102	0,003743	0,0000	0,011971	0,003840	0,000008
34	12,30	0,80466	0,95386	0,99989	0,19534	0,04614	0,00011	0,0071	0,003663	0,0000	0,008835	0,003840	0,000026
35	12,75	0,80149	0,95221	0,99988	0,19851	0,04779	0,00012	0,0070	0,003657	0,0000	0,008678	0,003840	0,000028
36	14,25	0,79141	0,94674	0,99984	0,20859	0,05326	0,00016	0,0065	0,003636	0,0000	0,008208	0,003840	0,000035
37	16,52	0,77736	0,93854	0,99974	0,22264	0,06146	0,00026	0,0059	0,003604	0,0000	0,007624	0,003840	0,000046
38	17,03	0,77433	0,93668	0,99972	0,22567	0,06332	0,00028	0,0058	0,003597	0,0000	0,007508	0,003840	0,000049
39	17,13	0,77375	0,93632	0,99972	0,22625	0,06368	0,00028	0,0058	0,003596	0,0000	0,007486	0,003840	0,000050
40	18,82	0,76428	0,93029	0,99962	0,23572	0,06971	0,00038	0,0055	0,003573	0,0001	0,007143	0,003840	0,000060
41	21,33	0,75109	0,92134	0,99945	0,24891	0,07866	0,00055	0,0050	0,003538	0,0001	0,006709	0,003840	0,000077
42	23,82	0,73902	0,91259	0,99924	0,26098	0,08741	0,00076	0,0047	0,003505	0,0001	0,006349	0,003840	0,000096
43	23,90	0,73863	0,91230	0,99923	0,26137	0,08770	0,00077	0,0047	0,003504	0,0001	0,006338	0,003840	0,000097
44	25,02	0,73348	0,90840	0,99911	0,26652	0,09160	0,00089	0,0045	0,003489	0,0001	0,006195	0,003840	0,000106
45	29,35	0,71482	0,89340	0,99857	0,28518	0,10660	0,00143	0,0041	0,003431	0,0001	0,005719	0,003840	0,000146

N°	ti (ordenados)	R(t)= e -(TI / η)β			Q(t)= 1 - e -(TI / η)β			ft)= β/η*(Ti-y/η) ^{β-1} * e ^{-(Ti-y/η)}			r (t)= β/η*(Ti-y/η)β-1		
		β=0,5	β=1	β=3	β=0,5	β=1	β=3	β=0,5	β=1	β=3	β=0,5	β=1	β=3
46	33,22	0,69966	0,88024	0,99793	0,30034	0,11976	0,00207	0,0038	0,003380	0,0002	0,005376	0,003840	0,000187
47	34,30	0,69563	0,87658	0,99772	0,30437	0,12342	0,00228	0,0037	0,003366	0,0002	0,005291	0,003840	0,000200
48	43,13	0,66564	0,84734	0,99546	0,33436	0,15266	0,00454	0,0031	0,003254	0,0003	0,004718	0,003840	0,000316
49	47,17	0,65338	0,83432	0,99407	0,34662	0,16568	0,00593	0,0029	0,003204	0,0004	0,004512	0,003840	0,000378
50	47,77	0,65161	0,83240	0,99385	0,34839	0,16760	0,00615	0,0029	0,003197	0,0004	0,004483	0,003840	0,000388
51	48,13	0,65055	0,83123	0,99370	0,34945	0,16877	0,00630	0,0029	0,003192	0,0004	0,004466	0,003840	0,000394
52	49,47	0,64671	0,82698	0,99317	0,35329	0,17302	0,00683	0,0028	0,003176	0,0004	0,004406	0,003840	0,000416
53	63,98	0,60914	0,78214	0,98527	0,39086	0,21786	0,01473	0,0024	0,003004	0,0007	0,003874	0,003840	0,000696
54	65,30	0,60606	0,77820	0,98435	0,39394	0,22180	0,01565	0,0023	0,002989	0,0007	0,003834	0,003840	0,000725
55	67,20	0,60169	0,77254	0,98296	0,39831	0,22746	0,01704	0,0023	0,002967	0,0008	0,003780	0,003840	0,000767
56	67,33	0,60139	0,77214	0,98286	0,39861	0,22786	0,01714	0,0023	0,002965	0,0008	0,003776	0,003840	0,000770
57	74,22	0,58633	0,75200	0,97711	0,41367	0,24800	0,02289	0,0021	0,002888	0,0009	0,003597	0,003840	0,000936
58	78,40	0,57769	0,74001	0,97307	0,42231	0,25999	0,02693	0,0020	0,002842	0,0010	0,003499	0,003840	0,001044
59	81,18	0,57214	0,73215	0,97015	0,42786	0,26785	0,02985	0,0020	0,002812	0,0011	0,003439	0,003840	0,001120
60	91,45	0,55287	0,70384	0,95761	0,44713	0,29616	0,04239	0,0018	0,002703	0,0014	0,003240	0,003840	0,001421
61	95,58	0,54560	0,69276	0,95174	0,45440	0,30724	0,04826	0,0017	0,002660	0,0015	0,003169	0,003840	0,001552
62	95,87	0,54511	0,69200	0,95132	0,45489	0,30800	0,04868	0,0017	0,002658	0,0015	0,003165	0,003840	0,001562
63	98,18	0,54115	0,68587	0,94780	0,45885	0,31413	0,05220	0,0017	0,002634	0,0016	0,003127	0,003840	0,001638
64	124,68	0,50059	0,61951	0,89602	0,49941	0,38049	0,10398	0,0014	0,002379	0,0024	0,002775	0,003840	0,002642
65	125,55	0,49938	0,61745	0,89396	0,50062	0,38255	0,10604	0,0014	0,002371	0,0024	0,002765	0,003840	0,002678
66	138,03	0,48283	0,58854	0,86160	0,51717	0,41146	0,13840	0,0013	0,002260	0,0028	0,002637	0,003840	0,003238
67	152,00	0,46579	0,55781	0,81962	0,53421	0,44219	0,18038	0,0012	0,002142	0,0032	0,002513	0,003840	0,003926
68	159,70	0,45697	0,54155	0,79398	0,54303	0,45845	0,20602	0,0011	0,002080	0,0034	0,002452	0,003840	0,004334
69	161,72	0,45472	0,53738	0,78698	0,54528	0,46262	0,21302	0,0011	0,002064	0,0035	0,002437	0,003840	0,004444
70	162,80	0,45352	0,53515	0,78318	0,54648	0,46485	0,21682	0,0011	0,002055	0,0035	0,002428	0,003840	0,004504
71	163,82	0,45241	0,53306	0,77958	0,54759	0,46694	0,22042	0,0011	0,002047	0,0036	0,002421	0,003840	0,004560
72	167,73	0,44816	0,52510	0,76545	0,55184	0,47490	0,23455	0,0011	0,002017	0,0037	0,002392	0,003840	0,004781
73	169,37	0,44642	0,52182	0,75944	0,55358	0,47818	0,24056	0,0011	0,002004	0,0037	0,002381	0,003840	0,004874
74	174,12	0,44143	0,51239	0,74157	0,55857	0,48761	0,25843	0,0010	0,001968	0,0038	0,002348	0,003840	0,005151
75	192,88	0,42288	0,47676	0,66601	0,57712	0,52324	0,33399	0,0009	0,001831	0,0042	0,002231	0,003840	0,006322
76	284,22	0,35178	0,33571	0,27242	0,64822	0,66429	0,72758	0,0006	0,001289	0,0037	0,001838	0,003840	0,013726
77	309,65	0,33605	0,30447	0,18606	0,66395	0,69553	0,81394	0,0006	0,001169	0,0030	0,001761	0,003840	0,016293
78	318,15	0,33109	0,29469	0,16138	0,66891	0,70531	0,83862	0,0006	0,001132	0,0028	0,001737	0,003840	0,017199
79	352,93	0,31217	0,25784	0,08291	0,68783	0,74216	0,91709	0,0005	0,000990	0,0018	0,001649	0,003840	0,021166
80	356,03	0,31058	0,25479	0,07760	0,68942	0,74521	0,92240	0,0005	0,000979	0,0017	0,001642	0,003840	0,021539
81	414,50	0,28318	0,20355	0,01771	0,71682	0,79645	0,98229	0,0004	0,000782	0,0005	0,001522	0,003840	0,029194
82	448,00	0,26937	0,17898	0,00614	0,73063	0,82102	0,99386	0,0004	0,000687	0,0002	0,001464	0,003840	0,034104
83	506,72	0,24784	0,14285	0,00063	0,75216	0,85715	0,99937	0,0003	0,000549	0,0000	0,001376	0,003840	0,043629
84	521,22	0,24297	0,13511	0,00033	0,75703	0,86489	0,99967	0,0003	0,000519	0,0000	0,001357	0,003840	0,046162
85	533,55	0,23896	0,12886	0,00018	0,76104	0,87114	0,99982	0,0003	0,000495	0,0000	0,001341	0,003840	0,048373
86	574,50	0,22642	0,11011	0,00002	0,77358	0,88989	0,99998	0,0003	0,000423	0,0000	0,001293	0,003840	0,056083
87	575,27	0,22620	0,10978	0,00002	0,77380	0,89022	0,99998	0,0003	0,000422	0,0000	0,001292	0,003840	0,056232
88	625,68	0,21222	0,09046	0,00000	0,78778	0,90954	1,00000	0,0003	0,000347	0,0000	0,001239	0,003840	0,066521
89	626,83	0,21192	0,09006	0,00000	0,78808	0,90994	1,00000	0,0003	0,000346	0,0000	0,001238	0,003840	0,066766
90	645,33	0,20716	0,08388	0,00000	0,79284	0,91612	1,00000	0,0003	0,000322	0,0000	0,001220	0,003840	0,070765
91	669,97	0,20108	0,07631	0,00000	0,79892	0,92369	1,00000	0,0002	0,000293	0,0000	0,001197	0,003840	0,076270
92	672,77	0,20041	0,07550	0,00000	0,79959	0,92450	1,00000	0,0002	0,000290	0,0000	0,001195	0,003840	0,076909
93	679,93	0,19871	0,07345	0,00000	0,80129	0,92655	1,00000	0,0002	0,000282	0,0000	0,001188	0,003840	0,078556
94	724,67	0,18858	0,06185	0,00000	0,81142	0,93815	1,00000	0,0002	0,000238	0,0000	0,001151	0,003840	0,089233
95	756,10	0,18195	0,05482	0,00000	0,81805	0,94518	1,00000	0,0002	0,000211	0,0000	0,001127	0,003840	0,097142
96	763,45	0,18045	0,05329	0,00000	0,81955	0,94671	1,00000	0,0002	0,000205	0,0000	0,001121	0,003840	0,099040

N°	ti (ordenados)	R(t)= e ^{-(TI/η)β}			Q(t)= 1 - e ^{-(TI/η)β}			f(t)= β/η*(Ti-y/η) ^{β-1} * e ^{-(Ti-y/η)}			r(t)= β/η*(Ti-y/η)β-1		
		β=0,5	β=1	β=3	β=0,5	β=1	β=3	β=0,5	β=1	β=3	β=0,5	β=1	β=3
97	776,40	0,17786	0,05071	0,00000	0,82214	0,94929	1,00000	0,0002	0,000195	0,0000	0,001112	0,003840	0,102428
98	849,05	0,16435	0,03836	0,00000	0,83565	0,96164	1,00000	0,0002	0,000147	0,0000	0,001063	0,003840	0,122494
99	850,07	0,16418	0,03821	0,00000	0,83582	0,96179	1,00000	0,0002	0,000147	0,0000	0,001063	0,003840	0,122788
100	916,12	0,15325	0,02965	0,00000	0,84675	0,97035	1,00000	0,0002	0,000114	0,0000	0,001024	0,003840	0,142610
101	1043,00	0,13515	0,01821	0,00000	0,86485	0,98179	1,00000	0,0001	0,000070	0,0000	0,000959	0,003840	0,184849
102	1085,68	0,12978	0,01546	0,00000	0,87022	0,98454	1,00000	0,0001	0,000059	0,0000	0,000940	0,003840	0,200288
103	1534,18	0,08827	0,00276	0,00000	0,91173	0,99724	1,00000	0,0001	0,000011	0,0000	0,000791	0,003840	0,399947
104	2516,63	0,04465	0,00006	0,00000	0,95535	0,99994	1,00000	0,0000	0,000000	0,0000	0,000618	0,003840	1,076188
105	3064,82	0,03236	0,00001	0,00000	0,96764	0,99999	1,00000	0,0000	0,000000	0,0000	0,000560	0,003840	1,596090

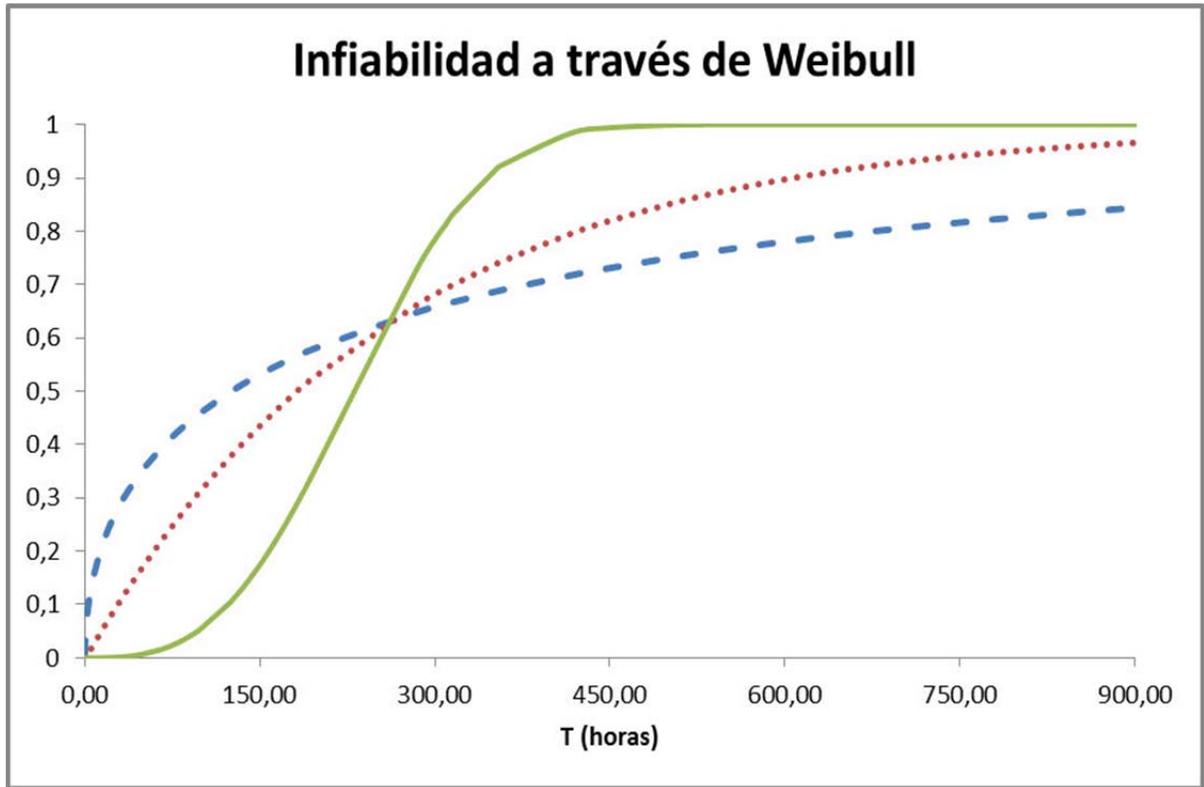
Fuente: La Autora (2023).

Apéndice 10. Curva de confiabilidad (Distribución de Weibull), para la línea de Transmisión



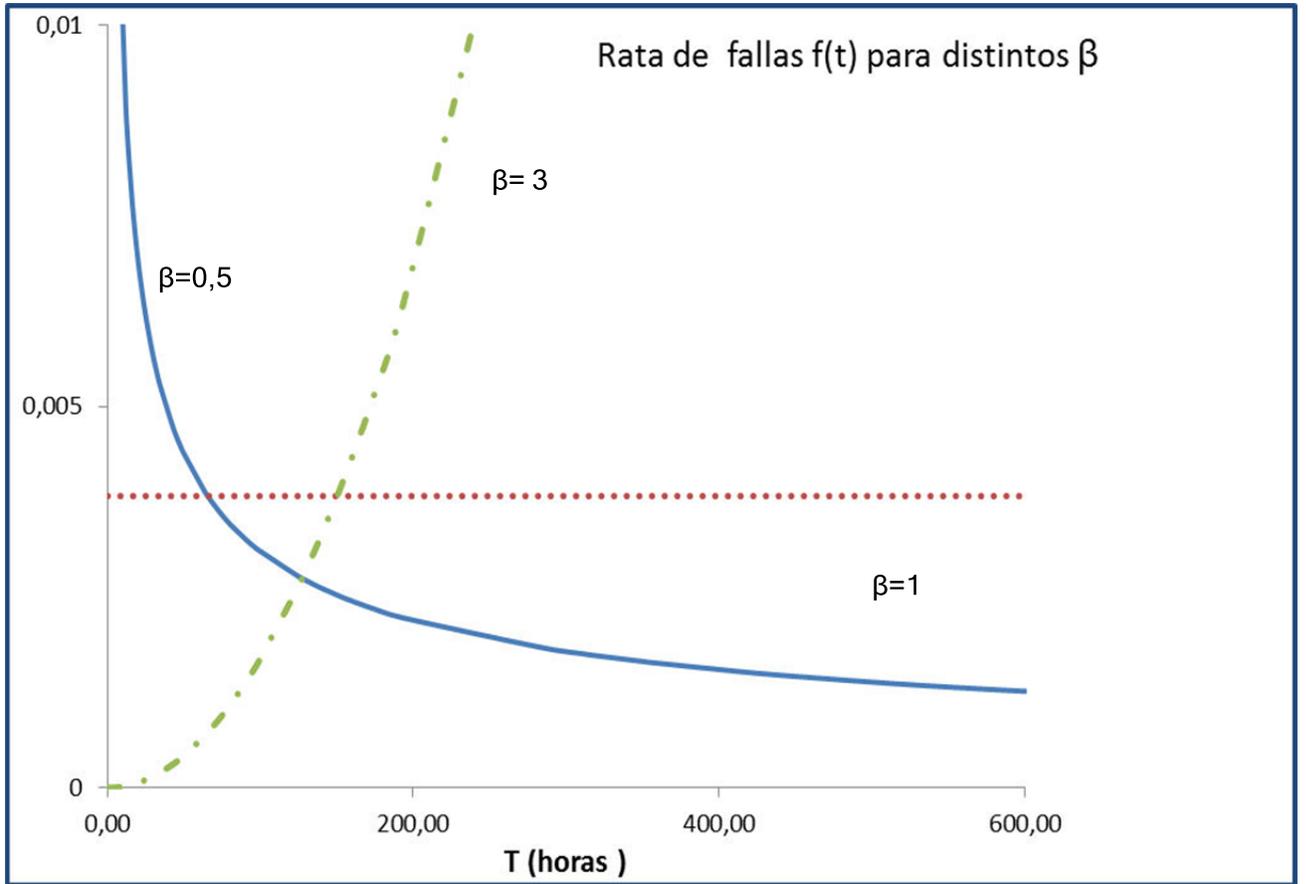
Fuente: La Autora (2023).

Apéndice 11. Curva de infiabilidad (Distribución de Weibull), para la línea de Transmisión



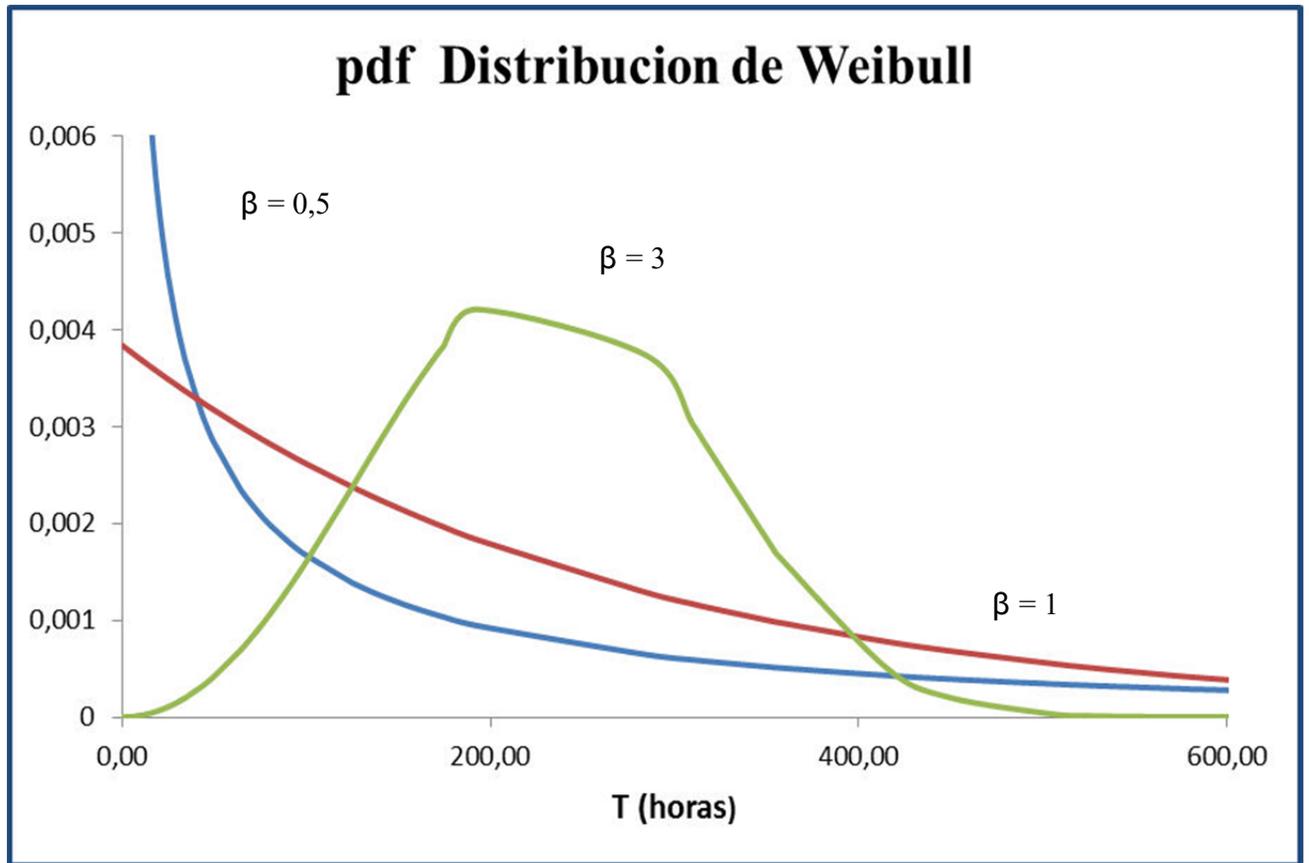
Fuente: La Autora (2023).

Apéndice 12. Curva de rata de fallas (Distribución de Weibull), para la línea de Transmisión



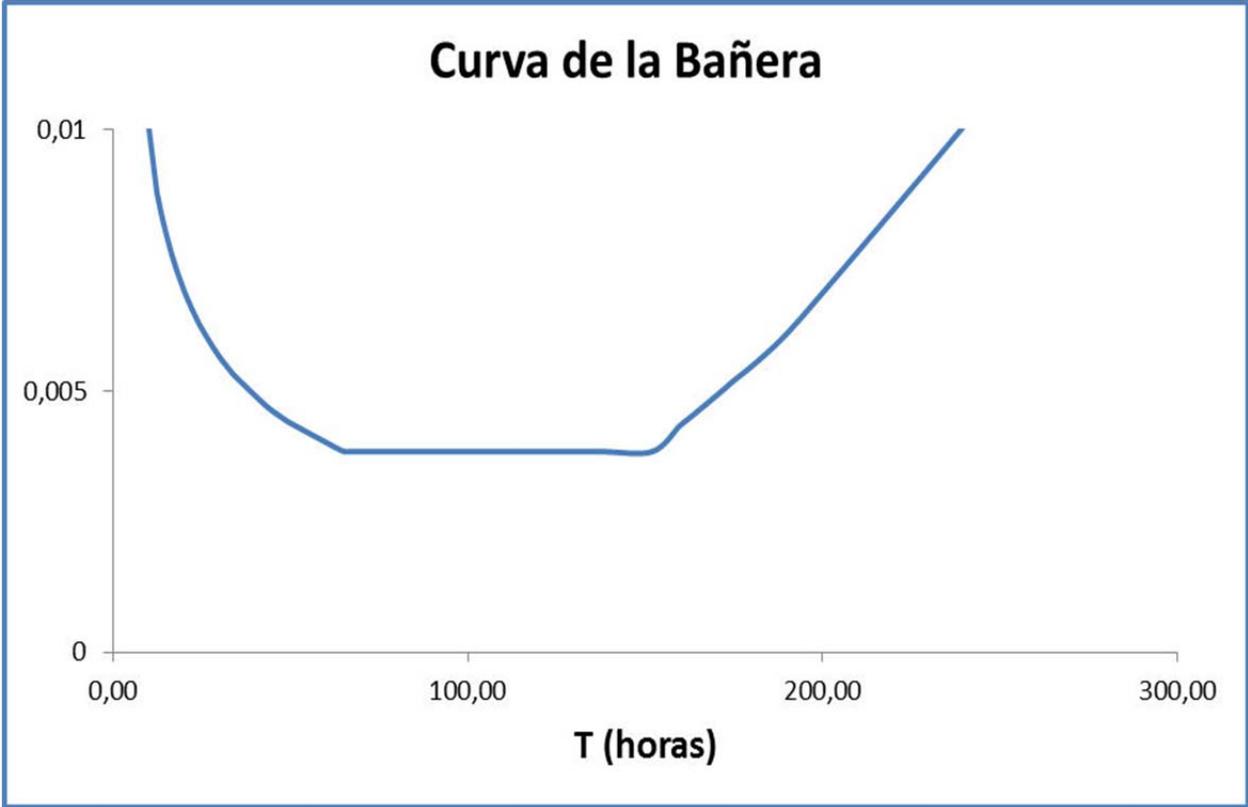
Fuente: La Autora (2023).

Apéndice 13. Función Densidad de Probabilidad de Fallas pdf (Distribución de Weibull), para la línea de Transmisión



Fuente: La Autora (2023).

Apéndice 14. Curva de la Bañera, para la Línea de Transmisión (Distribución de Weibull)



Fuente: La Autora (2023).

Apéndice 15. Tabla de cálculos (Distribución Exponencial) de la Mantenibilidad M (t), para la línea de Transmisión

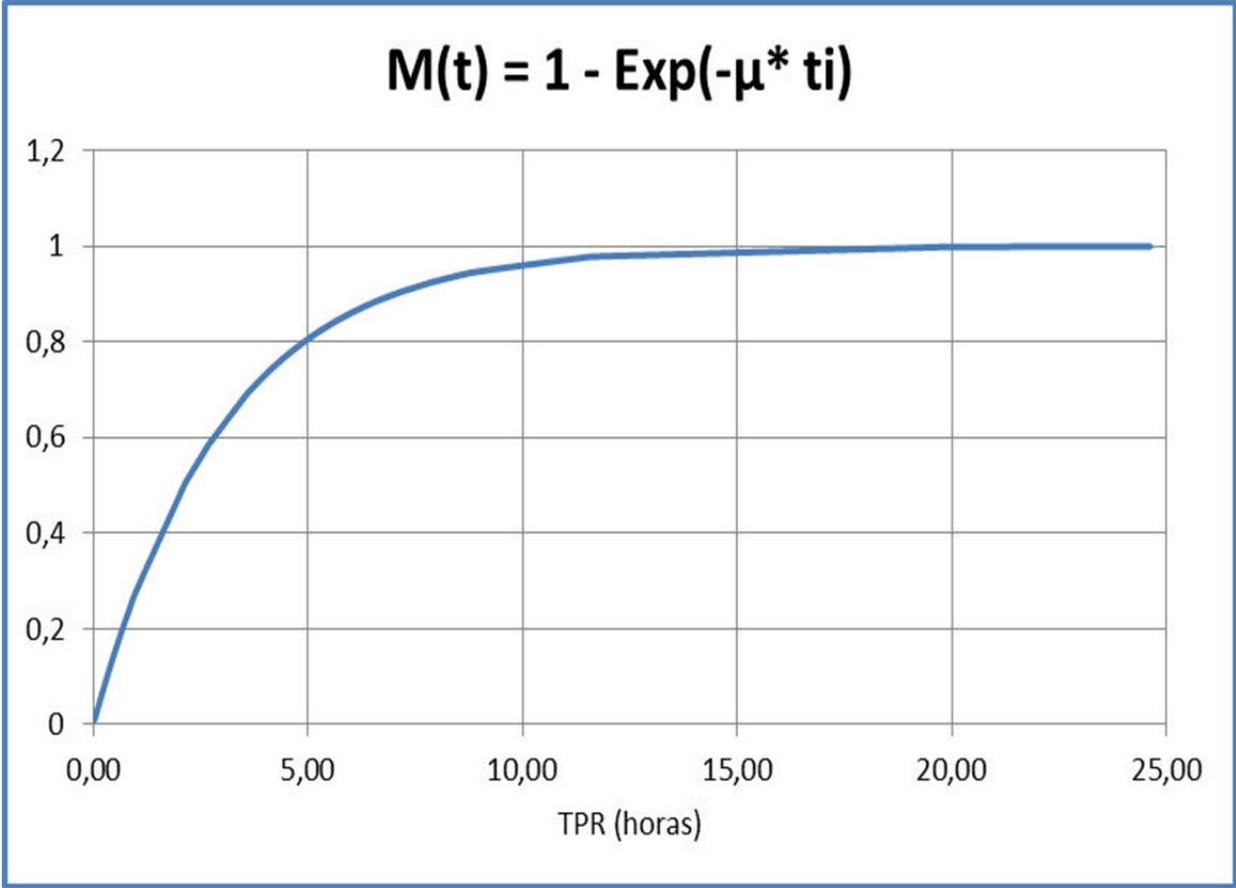
N°	TPR	μ	$\mu \cdot ti$	$P(s) = \text{Exp}(-\mu \cdot ti)$	$M(t) = 1 - \text{Exp}(-\mu \cdot ti)$
1	0,03	0,32813	0,0109375	0,989122097	0,010877903
2	0,05	0,32813	0,01640625	0,9837276	0,0162724
3	0,08	0,32813	0,02734375	0,973026706	0,026973294
4	0,10	0,32813	0,0328125	0,96771999	0,03228001
5	0,12	0,32813	0,03828125	0,962442216	0,037557784
6	0,12	0,32813	0,03828125	0,962442216	0,037557784
7	0,12	0,32813	0,03828125	0,962442216	0,037557784
8	0,12	0,32813	0,03828125	0,962442216	0,037557784
9	0,12	0,32813	0,03828125	0,962442216	0,037557784
10	0,12	0,32813	0,03828125	0,962442216	0,037557784
11	0,12	0,32813	0,03828125	0,962442216	0,037557784
12	0,13	0,32813	0,04375	0,957193226	0,042806774
13	0,13	0,32813	0,04375	0,957193226	0,042806774
14	0,13	0,32813	0,04375	0,957193226	0,042806774
15	0,15	0,32813	0,04921875	0,951972863	0,048027137
16	0,15	0,32813	0,04921875	0,951972863	0,048027137
17	0,15	0,32813	0,04921875	0,951972863	0,048027137
18	0,17	0,32813	0,0546875	0,946780971	0,053219029
19	0,17	0,32813	0,0546875	0,946780971	0,053219029
20	0,17	0,32813	0,0546875	0,946780971	0,053219029
21	0,17	0,32813	0,0546875	0,946780971	0,053219029
22	0,17	0,32813	0,0546875	0,946780971	0,053219029
23	0,17	0,32813	0,0546875	0,946780971	0,053219029
24	0,17	0,32813	0,0546875	0,946780971	0,053219029
25	0,20	0,32813	0,065625	0,936481979	0,063518021
26	0,20	0,32813	0,065625	0,936481979	0,063518021
27	0,20	0,32813	0,065625	0,936481979	0,063518021
28	0,22	0,32813	0,07109375	0,931374572	0,068625428
29	0,22	0,32813	0,07109375	0,931374572	0,068625428
30	0,22	0,32813	0,07109375	0,931374572	0,068625428
31	0,23	0,32813	0,0765625	0,926295019	0,073704981
32	0,23	0,32813	0,0765625	0,926295019	0,073704981
33	0,25	0,32813	0,08203125	0,921243169	0,078756831
34	0,25	0,32813	0,08203125	0,921243169	0,078756831
35	0,25	0,32813	0,08203125	0,921243169	0,078756831
36	0,27	0,32813	0,0875	0,916218872	0,083781128
37	0,27	0,32813	0,0875	0,916218872	0,083781128
38	0,27	0,32813	0,0875	0,916218872	0,083781128
39	0,27	0,32813	0,0875	0,916218872	0,083781128
40	0,30	0,32813	0,0984375	0,906252332	0,093747668
41	0,32	0,32813	0,10390625	0,901309791	0,098690209
42	0,32	0,32813	0,10390625	0,901309791	0,098690209
43	0,33	0,32813	0,109375	0,896394207	0,103605793
44	0,33	0,32813	0,109375	0,896394207	0,103605793
45	0,33	0,32813	0,109375	0,896394207	0,103605793
46	0,35	0,32813	0,11484375	0,891505431	0,108494569
47	0,35	0,32813	0,11484375	0,891505431	0,108494569
48	0,37	0,32813	0,1203125	0,886643317	0,113356683
49	0,37	0,32813	0,1203125	0,886643317	0,113356683

Nº	TPR	μ	$\mu * t_i$	$P(s) = \text{Exp}(-\mu * t_i)$	$M(t) = 1 - \text{Exp}(-\mu * t_i)$
50	0,38	0,32813	0,12578125	0,881807721	0,118192279
51	0,42	0,32813	0,13671875	0,872215502	0,127784498
52	0,42	0,32813	0,13671875	0,872215502	0,127784498
53	0,42	0,32813	0,13671875	0,872215502	0,127784498
54	0,47	0,32813	0,153125	0,858022462	0,141977538
55	0,50	0,32813	0,1640625	0,848688977	0,151311023
56	0,53	0,32813	0,175	0,839457021	0,160542979
57	0,53	0,32813	0,175	0,839457021	0,160542979
58	0,57	0,32813	0,1859375	0,830325489	0,169674511
59	0,65	0,32813	0,21328125	0,807928875	0,192071125
60	0,73	0,32813	0,240625	0,786136372	0,213863628
61	0,85	0,32813	0,27890625	0,756610832	0,243389168
62	0,87	0,32813	0,284375	0,75248441	0,24751559
63	1,00	0,32813	0,328125	0,72027298	0,27972702
64	2,13	0,32813	0,7	0,496585304	0,503414696
65	2,20	0,32813	0,721875	0,485840451	0,514159549
66	2,68	0,32813	0,88046875	0,414588528	0,585411472
67	2,68	0,32813	0,88046875	0,414588528	0,585411472
68	3,55	0,32813	1,16484375	0,311971404	0,688028596
69	3,73	0,32813	1,225	0,2937577	0,7062423
70	3,88	0,32813	1,27421875	0,279649359	0,720350641
71	4,02	0,32813	1,31796875	0,267678472	0,732321528
72	4,05	0,32813	1,32890625	0,264766692	0,735233308
73	4,18	0,32813	1,37265625	0,253432884	0,746567116
74	4,27	0,32813	1,4	0,246596964	0,753403036
75	4,47	0,32813	1,465625	0,230933613	0,769066387
76	4,48	0,32813	1,47109375	0,229674142	0,770325858
77	4,55	0,32813	1,49296875	0,224704573	0,775295427
78	4,70	0,32813	1,5421875	0,213912655	0,786087345
79	5,05	0,32813	1,65703125	0,190704294	0,809295706
80	5,18	0,32813	1,70078125	0,182540858	0,817459142
81	5,25	0,32813	1,72265625	0,178591135	0,821408865
82	5,28	0,32813	1,73359375	0,176648438	0,823351562
83	5,38	0,32813	1,76640625	0,170946224	0,829053776
84	5,63	0,32813	1,8484375	0,157483041	0,842516959
85	5,73	0,32813	1,88125	0,152399487	0,847600513
86	5,87	0,32813	1,925	0,145875757	0,854124243
87	6,10	0,32813	2,0015625	0,135123987	0,864876013
88	6,15	0,32813	2,01796875	0,132925195	0,867074805
89	6,30	0,32813	2,0671875	0,126541179	0,873458821
90	6,35	0,32813	2,08359375	0,12448205	0,87551795
91	6,40	0,32813	2,1	0,122456428	0,877543572
92	6,48	0,32813	2,12734375	0,119153375	0,880846625
93	6,67	0,32813	2,1875	0,112196891	0,887803109
94	7,15	0,32813	2,34609375	0,095742427	0,904257573
95	7,22	0,32813	2,36796875	0,093670802	0,906329198
96	7,88	0,32813	2,58671875	0,075266604	0,924733396
97	8,02	0,32813	2,63046875	0,072044683	0,927955317
98	8,47	0,32813	2,778125	0,062154939	0,937845061

N°	TPR	μ	$\mu * t_i$	$P(s) = \text{Exp}(-\mu * t_i)$	$M(t) = 1 - \text{Exp}(-\mu * t_i)$
99	8,97	0,32813	2,9421875	0,052750211	0,947249789
100	11,42	0,32813	3,74609375	0,023609792	0,976390208
101	11,70	0,32813	3,8390625	0,021513761	0,978486239
102	19,90	0,32813	6,5296875	0,001459462	0,998540538
103	20,10	0,32813	6,5953125	0,00136676	0,99863324
104	22,82	0,32813	7,48671875	0,000560479	0,999439521
105	24,62	0,32813	8,07734375	0,000310495	0,999689505
Σ TPR	320,00				
TPPR	3,05				
μ	0,33				

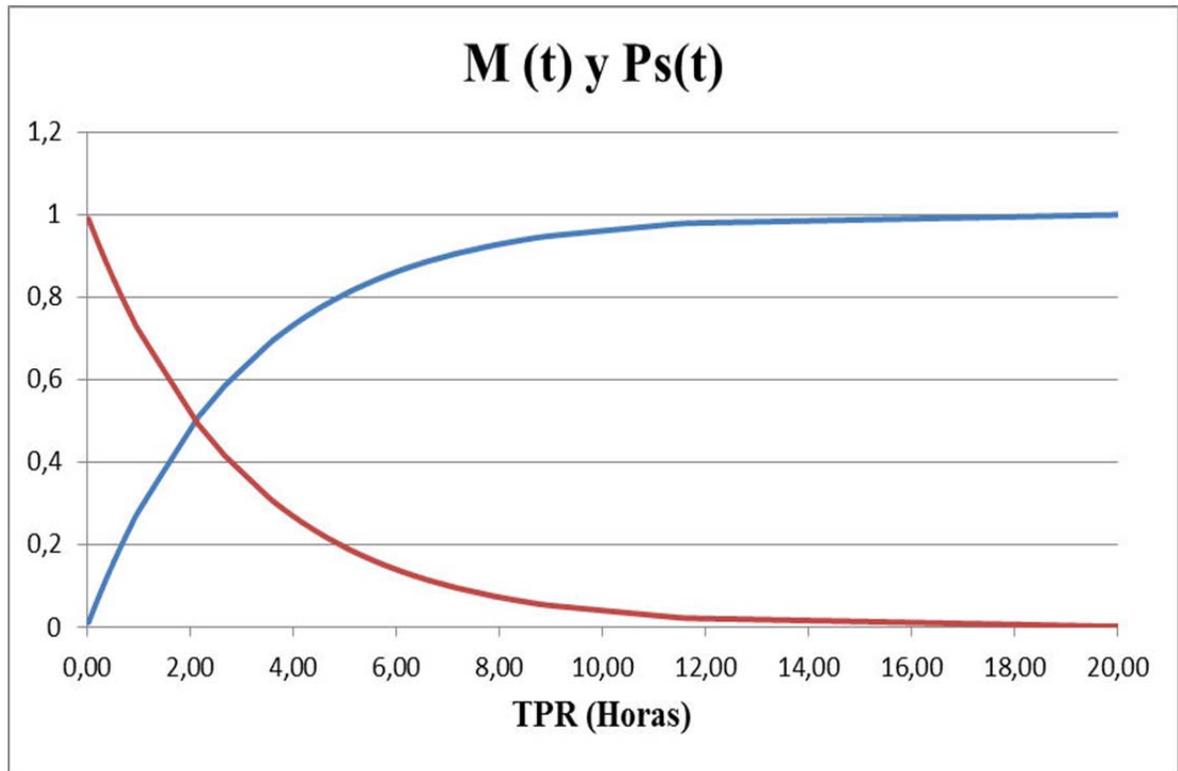
Fuente: La Autora (2023).

Apéndice 16. Curva de la Mantenibilidad M (t), para la línea de Transmisión.



Fuente: La Autora (2023).

Apéndice 17. Comparación de las curvas de la Mantenibilidad $M(t)$ y Probabilidad de Supervivencia P_s , para la línea de Transmisión.



Fuente: La Autora (2023).

Apéndice 18. Cálculos de Distribución de Weibull, con mínimos cuadrados

N	Ti (Ordenado)	Bi=Ln(ti)	bi=1/Ln(ti)	(bi)^2	Yi=Ps(t)	1/Yi	Ln(1/Yi)	A=[Ln(Ln(1/Yi))]	Zi=Ai/Bi	Zi*bi	x	V=e^ x	Ln(V)	K
1	3,2333	1,1735	0,8521	0,7261	0,9872	1,0130	0,0129	4,3503	3,7070	3,1589	-6,0331	417,0054	6,0331	0,7259
2	3,2500	1,1787	0,8484	0,7198	0,9744	1,0263	0,0260	3,6506	3,0973	2,6278	-5,8744	355,8174	5,8744	0,7672
3	4,6000	1,5261	0,6553	0,4294	0,9615	1,0400	0,0392	3,2386	2,1222	1,3906	-5,7157	303,6076	5,7157	0,8134
4	6,4167	1,8589	0,5380	0,2894	0,9623	1,0392	0,0385	3,2580	1,7526	0,9428	-5,5571	259,0587	5,5571	0,8656
5	6,7000	1,9021	0,5257	0,2764	0,9359	1,0685	0,0662	2,7143	1,4270	0,7502	-5,3984	221,0465	5,3984	0,9250
6	12,3000	2,5096	0,3985	0,1588	0,9231	1,0833	0,0800	2,5252	1,0062	0,4009	-5,2397	188,6120	5,2397	0,9930
7	12,7500	2,5455	0,3928	0,1543	0,9103	1,0986	0,0940	2,3642	0,9287	0,3649	-5,0810	160,9366	5,0810	1,0719
8	14,2500	2,6568	0,3764	0,1417	0,8974	1,1143	0,1082	2,2236	0,8370	0,3150	-4,9223	137,3220	4,9223	1,1645
9	16,5167	2,8044	0,3566	0,1272	0,8846	1,1304	0,1226	2,0988	0,7484	0,2669	-4,7636	117,1725	4,7636	1,2744
10	17,0333	2,8352	0,3527	0,1244	0,8718	1,1471	0,1372	1,9863	0,7006	0,2471	-4,6050	99,9796	4,6050	1,4074
11	17,1333	2,8410	0,3520	0,1239	0,8590	1,1642	0,1520	1,8838	0,6631	0,2334	-4,4463	85,3094	4,4463	1,5713
12	18,8167	2,9347	0,3407	0,1161	0,8462	1,1818	0,1671	1,7894	0,6097	0,2078	-4,2876	72,7918	4,2876	1,7784
13	21,3333	3,0603	0,3268	0,1068	0,8333	1,2000	0,1823	1,7020	0,5562	0,1817	-4,1289	62,1109	4,1289	2,0484
14	23,8167	3,1704	0,3154	0,0995	0,8205	1,2188	0,1978	1,6204	0,5111	0,1612	-3,9702	52,9972	3,9702	2,4151
15	23,9000	3,1739	0,3151	0,0993	0,8077	1,2381	0,2136	1,5438	0,4864	0,1533	-3,8116	45,2209	3,8116	2,9416
16	25,0167	3,2195	0,3106	0,0965	0,7949	1,2581	0,2296	1,4715	0,4571	0,1420	-3,6529	38,5855	3,6529	3,7618
17	29,3500	3,3793	0,2959	0,0876	0,7821	1,2787	0,2458	1,4031	0,4152	0,1229	-3,4942	32,9238	3,4942	5,2161
18	33,2167	3,5031	0,2855	0,0815	0,7692	1,3000	0,2624	1,3380	0,3820	0,1090	-3,3355	28,0928	3,3355	8,5036
19	34,3000	3,5351	0,2829	0,0800	0,7564	1,3220	0,2792	1,2759	0,3609	0,1021	-3,1768	23,9707	3,1768	22,998

N	Ti (Ordenado)	Bi=Ln(ti)	bi=1/Ln(ti)	(bi)^2	Yi=Ps(t)	1/Yi	Ln(1/Yi)	A=[Ln(Ln(1/Yi))]	Zi=Ai/Bi	Zi*bi	x	V=e^ x	Ln(V)	K
20	43,1333	3,7643	0,2657	0,0706	0,7436	1,3448	0,2963	1,2165	0,3232	0,0859	-3,0182	20,4534	3,0182	32,640
21	47,1667	3,8537	0,2595	0,0673	0,7308	1,3684	0,3137	1,1595	0,3009	0,0781	-2,8595	17,4523	2,8595	9,5462
22	47,7667	3,8663	0,2586	0,0669	0,7179	1,3929	0,3314	1,1046	0,2857	0,0739	-2,7008	14,8915	2,7008	5,5906
23	48,1333	3,8740	0,2581	0,0666	0,7051	1,4182	0,3494	1,0516	0,2715	0,0701	-2,5421	12,7064	2,5421	3,9527
24	49,4667	3,9013	0,2563	0,0657	0,6923	1,4444	0,3677	1,0004	0,2564	0,0657	-2,3834	10,8420	2,3834	3,0571
25	63,9833	4,1586	0,2405	0,0578	0,6795	1,4717	0,3864	0,9508	0,2286	0,0550	-2,2247	9,2511	2,2247	2,4924
26	65,3000	4,1790	0,2393	0,0573	0,6667	1,5000	0,4055	0,9027	0,2160	0,0517	-2,0661	7,8937	2,0661	2,1038
27	67,2000	4,2077	0,2377	0,0565	0,6538	1,5294	0,4249	0,8559	0,2034	0,0483	-1,9074	6,7354	1,9074	1,8200
28	67,3333	4,2097	0,2375	0,0564	0,6410	1,5600	0,4447	0,8104	0,1925	0,0457	-1,7487	5,7471	1,7487	1,6037
29	74,2167	4,3070	0,2322	0,0539	0,6282	1,5918	0,4649	0,7660	0,1778	0,0413	-1,5900	4,9038	1,5900	1,4333
30	78,4000	4,3618	0,2293	0,0526	0,6154	1,6250	0,4855	0,7226	0,1657	0,0380	-1,4313	4,1843	1,4313	1,2957
31	81,1833	4,3967	0,2274	0,0517	0,6026	1,6596	0,5066	0,6801	0,1547	0,0352	-1,2727	3,5703	1,2727	1,1821
32	91,4500	4,5158	0,2214	0,0490	0,5897	1,6957	0,5281	0,6385	0,1414	0,0313	-1,1140	3,0464	1,1140	1,0869
33	95,5833	4,5600	0,2193	0,0481	0,5769	1,7333	0,5500	0,5978	0,1311	0,0287	-0,9553	2,5994	0,9553	1,0059
34	95,8667	4,5630	0,2192	0,0480	0,5641	1,7727	0,5725	0,5577	0,1222	0,0268	-0,7966	2,2180	0,7966	0,9361
35	98,1833	4,5868	0,2180	0,0475	0,5513	1,8140	0,5955	0,5183	0,1130	0,0246	-0,6379	1,8926	0,6379	0,8754
36	124,6833	4,8258	0,2072	0,0429	0,5385	1,8571	0,6190	0,4796	0,0994	0,0206	-0,4792	1,6149	0,4792	0,8220
37	125,5500	4,8327	0,2069	0,0428	0,5256	1,9024	0,6431	0,4414	0,0913	0,0189	-0,3206	1,3779	0,3206	0,7748
38	138,0333	4,9275	0,2029	0,0412	0,5128	1,9500	0,6678	0,4037	0,0819	0,0166	-0,1619	1,1757	0,1619	0,7327
39	152,0000	5,0239	0,1990	0,0396	0,5000	2,0000	0,6931	0,3665	0,0730	0,0145	-0,0035	1,0032	0,0032	0,6950

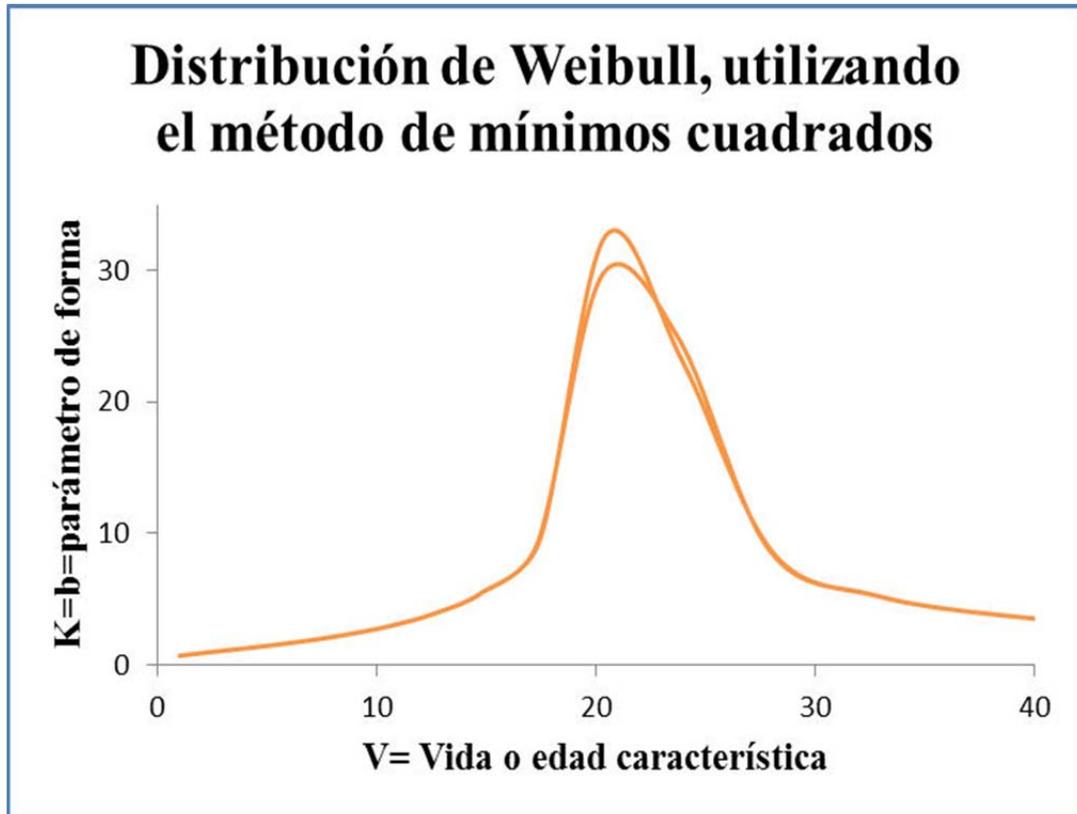
N	Ti (Ordenado)	Bi=Ln(ti)	bi=1/Ln(ti)	(bi)^2	Yi=Ps(t)	1/Yi	Ln(1/Yi)	A=[Ln(Ln(1/Yi))]	Zi=Ai/Bi	Zi*bi	x	V=e^ x	Ln(V)	K
40	159,7000	5,0733	0,1971	0,0389	0,4872	2,0526	0,7191	0,3297	0,0650	0,0128	0,1555	1,1682	0,1555	0,7311
41	161,7167	5,0858	0,1966	0,0387	0,4744	2,1081	0,7458	0,2933	0,0577	0,0113	0,3142	1,3691	0,3142	0,7730
42	162,8000	5,0925	0,1964	0,0386	0,4615	2,1667	0,7732	0,2572	0,0505	0,0099	0,4728	1,6045	0,4728	0,8200
43	163,8167	5,0987	0,1961	0,0385	0,4487	2,2286	0,8014	0,2214	0,0434	0,0085	0,6315	1,8805	0,6315	0,8731
44	167,7333	5,1224	0,1952	0,0381	0,4359	2,2941	0,8303	0,1859	0,0363	0,0071	0,7902	2,2038	0,7902	0,9335
45	169,3667	5,1321	0,1949	0,0380	0,4231	2,3636	0,8602	0,1506	0,0293	0,0057	0,9489	2,5828	0,9489	1,0029
46	174,1167	5,1597	0,1938	0,0376	0,4103	2,4375	0,8910	0,1154	0,0224	0,0043	1,1076	3,0270	1,1076	1,0834
47	192,8833	5,2621	0,1900	0,0361	0,3974	2,5161	0,9227	0,0804	0,0153	0,0029	1,2662	3,5475	1,2662	1,1780
48	284,2167	5,6497	0,1770	0,0313	0,3846	2,6000	0,9555	0,0455	0,0081	0,0014	1,4249	4,1576	1,4249	1,2907
49	309,6500	5,7354	0,1744	0,0304	0,3718	2,6897	0,9894	0,0106	0,0019	0,0003	1,5836	4,8725	1,5836	1,4272
50	318,1500	5,7625	0,1735	0,0301	0,3590	2,7857	1,0245	0,0242	0,0042	0,0007	1,7423	5,7104	1,7423	1,5960
51	352,9333	5,8663	0,1705	0,0291	0,3462	2,8889	1,0609	0,0591	0,0101	0,0017	1,9010	6,6924	1,9010	1,8101
52	356,0333	5,8750	0,1702	0,0290	0,3333	3,0000	1,0986	0,0940	0,0160	0,0027	2,0597	7,8433	2,0597	2,0906
53	414,5000	6,0271	0,1659	0,0275	0,3205	3,1200	1,1378	0,1291	0,0214	0,0036	2,2183	9,1920	2,2183	2,4739
54	448,0000	6,1048	0,1638	0,0268	0,3077	3,2500	1,1787	0,1644	0,0269	0,0044	2,3770	10,7728	2,3770	3,0294
55	506,7167	6,2280	0,1606	0,0258	0,2949	3,3913	1,2212	0,1998	0,0321	0,0052	2,5357	12,6253	2,5357	3,9066
56	521,2167	6,2562	0,1598	0,0255	0,2821	3,5455	1,2657	0,2356	0,0377	0,0060	2,6944	14,7964	2,6944	5,4986
57	533,5500	6,2796	0,1592	0,0254	0,2692	3,7143	1,3122	0,2717	0,0433	0,0069	2,8531	17,3408	2,8531	9,2811
58	574,5000	6,3535	0,1574	0,0248	0,2564	3,9000	1,3610	0,3082	0,0485	0,0076	3,0117	20,3229	3,0117	29,736
59	575,2667	6,3548	0,1574	0,0248	0,2436	4,1053	1,4123	0,3452	0,0543	0,0085	3,1704	23,8177	3,1704	24,698
60	625,6833	6,4388	0,1553	0,0241	0,2308	4,3333	1,4663	0,3828	0,0594	0,0092	3,3291	27,9135	3,3291	8,7255
61	626,8333	6,4407	0,1553	0,0241	0,2179	4,5882	1,5235	0,4210	0,0654	0,0101	3,4878	32,7136	3,4878	5,2988
62	645,3333	6,4698	0,1546	0,0239	0,2051	4,8750	1,5841	0,4600	0,0711	0,0110	3,6465	38,3392	3,6465	3,8046
63	669,9667	6,5072	0,1537	0,0236	0,1923	5,2000	1,6487	0,5000	0,0768	0,0118	3,8052	44,9322	3,8052	2,9677
64	672,7667	6,5114	0,1536	0,0236	0,1795	5,5714	1,7177	0,5410	0,0831	0,0128	3,9638	52,6589	3,9638	2,4326
65	679,9333	6,5220	0,1533	0,0235	0,1667	6,0000	1,7918	0,5832	0,0894	0,0137	4,1225	61,7144	4,1225	2,0610
66	724,6667	6,5857	0,1518	0,0231	0,1538	6,5000	1,8718	0,6269	0,0952	0,0145	4,2812	72,3270	4,2812	1,7879

N	Ti (Ordenado)	Bi=Ln(ti)	bi=1/Ln(ti)	(bi)^2	Yi=Ps(t)	1/Yi	Ln(1/Yi)	A=[Ln(Ln(1/Yi))]	Zi=Ai/Bi	Zi*bi	x	V=e^ x	Ln(V)	K
67	756,1000	6,6282	0,1509	0,0228	0,1410	7,0909	1,9588	0,6723	0,1014	0,0153	4,4399	84,7647	4,4399	1,5787
68	763,4500	6,6378	0,1507	0,0227	0,1282	7,8000	2,0541	0,7198	0,1084	0,0163	4,5986	99,3413	4,5986	1,4133
69	776,4000	6,6547	0,1503	0,0226	0,1154	8,6667	2,1595	0,7699	0,1157	0,0174	4,7572	116,4244	4,7572	1,2793
70	849,0500	6,7441	0,1483	0,0220	0,1026	9,7500	2,2773	0,8230	0,1220	0,0181	4,9159	136,4453	4,9159	1,1685
71	850,0667	6,7453	0,1483	0,0220	0,0897	11,1429	2,4108	0,8800	0,1305	0,0193	5,0746	159,9091	5,0746	1,0754
72	916,1167	6,8201	0,1466	0,0215	0,0769	13,0000	2,5649	0,9419	0,1381	0,0203	5,2333	187,4078	5,2333	0,9960
73	1043,0000	6,9499	0,1439	0,0207	0,0641	15,6000	2,7473	1,0106	0,1454	0,0209	5,3920	219,6353	5,3920	0,9275
74	1085,6833	6,9900	0,1431	0,0205	0,0513	19,5000	2,9704	1,0887	0,1558	0,0223	5,5507	257,4048	5,5507	0,8679
75	1534,1833	7,3358	0,1363	0,0186	0,0385	26,0000	3,2581	1,1811	0,1610	0,0219	5,7093	301,6693	5,7093	0,8154
76	2516,6333	7,8307	0,1277	0,0163	0,0256	39,0000	3,6636	1,2984	0,1658	0,0212	5,8680	353,5458	5,8680	0,7689
77	3064,8167	8,0277	0,1246	0,0155	0,0128	78,0000	4,3567	1,4717	0,1833	0,0228	6,0267	414,3432	6,0267	0,7275
<u>27326,12</u>			<u>Σbi</u>	<u>Σbi^2</u>					<u>ΣZi</u>	<u>ΣZi*bi</u>				
			18,9554	6,147					27,0906	13,160				

Fuente: La Autora (2023).

Apéndice 19. Cálculos de Distribución de Weibull, con mínimos cuadrados.

Vida Característica (V) y Parámetro de dispersión $K = b$



Fuente: La Autora (2023).