

CÁLCULO DE LA CONFIABILIDAD DE EQUIPOS DE
TRANSMISIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

LUZ DARY CARVAJAL MENDOZA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2011

CÁLCULO DE LA CONFIABILIDAD DE EQUIPOS DE
TRANSMISIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

LUZ DARY CARVAJAL MENDOZA

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Electricista

Director

HERMANN RAÚL VARGAS TORRES
Ingeniero Electricista, Ph.D

Codirector

GILBERTO CARRILLO CAICEDO
Ingeniero Electricista, Ph.D

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA

2011

A mis padres

Lorenzo Carvajal Rincón

Luz Stella Mendoza Ortiz

A mi hermana

Karol Yuliana Carvajal Mendoza

A mi nona

Rosalía Ortiz Corzo

A mis tíos

Adriana, Claudia, Nena, Gito, Pipo, Teto y

Ernesto

y a mis primos y amigos.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por guiarme, acompañarme y ayudarme durante toda mi vida y en especial durante mi desarrollo como ingeniera.

A mi mamá por todo su amor y sus oraciones.

Al Dr. Hermann Raúl Vargas, director del proyecto por su dirección y asesoría las cuales hicieron posible la realización de este trabajo de grado.

Al Dr. Gilberto Carrillo Caicedo, codirector y profesor desde primer semestre, quien ha confiado y creído en mi.

A Andrés por apoyarme en el transcurso de mi carrera y en el desarrollo de esta tesis.

Agradezco a Interconexión Eléctrica S.A. E.S.P. empresa que me ha permitido desarrollarme como profesional y persona.

Gracias a mi amigo Jose Luis que hizo posible que culminara mi proyecto.

A mis amigos Laura, Jose, Natis y Tatis por su paciencia y comprensión.

Agradezco a todas las personas que me apoyaron durante el desarrollo de este proyecto.

Índice general

1. INTRODUCCIÓN	18
1.1. Planteamiento del problema	19
1.1.1. Fallas en la prestación del servicio de energía eléctrica	19
1.1.2. Frecuencia y duración de las interrupciones	19
1.1.3. Pérdidas en distribución y transmisión	19
1.2. Objetivos	20
1.2.1. Objetivo general	20
1.2.2. Objetivos específicos	20
1.3. Organización del documento	21
2. ESTADO DEL ARTE, BREVE HISTORIA, EL CÁLCULO Y LA CONFIABILIDAD	22
2.1. La Confiabilidad	22
2.1.1. Breve desarrollo histórico	22
2.1.2. Actualidad	23
2.1.3. Importancia de la confiabilidad	25
3. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	26
3.1. Conceptos previos	26
3.1.1. Función de distribución acumulada de falla	26
3.1.2. Función de densidad de probabilidad	26
3.1.3. Función de confiabilidad o supervivencia	27

3.1.4.	Función de riesgo o de tasa de falla $\lambda(t)$	27
3.1.5.	Número esperado de fallas $E(x)$	28
3.2.	Fundamento teórico: Proceso Estocástico	28
3.2.1.	Definición	28
3.2.2.	Clasificación de los Procesos Estocásticos	29
3.3.	Fundamento teórico: Proceso estocástico puntual	29
3.3.1.	Proceso de Poisson homogéneo o Proceso de renovación	31
3.3.1.1.	Distribución Exponencial	32
3.3.1.2.	Distribución Weibull	33
3.3.1.3.	Distribución Gamma	34
3.3.2.	Proceso de Poisson No Homogéneo	34
3.3.2.1.	Distribución Power Law	35
3.3.2.2.	Distribución Log Normal	36
3.4.	Pruebas de tendencia	36
3.4.1.	Métodos gráficos	37
3.4.2.	Test de Laplace	38
3.5.	Selección de un modelo para un proceso estocástico puntual	39
3.6.	Equipos No reparables	40
3.7.	Equipos reparables	40
3.8.	Censura	41
3.8.1.	Censura a izquierda	41
3.8.2.	Censura a intervalo	41
3.8.3.	Censura a derecha	41
4.	PROPUESTA	43
4.1.	Problema por solucionar	43
4.2.	Marco conceptual de la propuesta	43
4.3.	Delimitaciones y Alcance de la propuesta	45
4.4.	La necesidad de pronosticar	46

4.5. ¿Quiénes requieren hacer pronósticos?	46
4.6. Tipos de pronósticos	46
4.7. Motivación del trabajo	47
4.8. Metodología	47
4.8.1. Identificar los equipos por estudiar	47
4.8.2. Identificar el histórico de fallas de los equipos	48
4.8.3. Identificación de los tiempos de Censura	49
4.8.3.1. Identificación de Censura a izquierda	49
4.8.3.2. Identificación Censura a intervalo	49
4.8.3.3. Identificación Censura a derecha	49
4.8.4. Cálculo en número de días de la edad del equipo cuando falló	49
4.8.5. Estimación de parámetros	50
4.8.5.1. Método gráfico para calcular los parámetros de la función Weibull	50
4.8.5.2. Método analítico para calcular los parámetros de la función Power Law	52
4.8.6. Reemplazo de parámetros en las funciones	52
4.8.7. Resultados esperados	53
4.8.8. Ejemplo de un caso de estudio	56
4.8.8.1. Identificar los equipos por estudiar	56
4.8.8.2. Identificar el histórico de fallas de los equipos	56
4.8.8.3. Identificación de los Tiempos de Censura	64
4.8.8.4. Cálculo en número de días de la edad de funcionamiento del equipo cuando falló	64
4.8.8.5. Estimación de parámetros	65
4.8.8.6. Reemplazo de parámetros en las funciones	67
4.8.8.7. Resultados	68
4.9. Uso de Herramientas Computacionales	73
4.9.1. Base de datos	73

4.9.2. Estimador de parámetros	76
4.9.3. Procesador de datos	76
4.10. Descripción del trabajo con las herramientas informáticas	77
5. PROBLEMAS RESUELTOS UTILIZANDO LA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL	79
5.1. Subestaciones	79
5.1.1. Interruptores	79
5.1.2. Transformadores	88
5.2. SPAT (Sistemas de Protecciones, Automatización y Telecomunicaciones)	98
5.3. Líneas	109
5.4. Comprobación de la metodología	118
6. CONCLUSIONES	122
BIBLIOGRAFÍA	127
A. GUÍA DEL USUARIO	127
A.1. INTRODUCCIÓN	127
A.2. REQUERIMIENTOS	129
A.3. Estructura de la herramienta RCM II	130
A.3.1. Incluir equipos en la base de datos	132
A.3.2. Incluir información del equipo fallado	137
A.3.3. Elegir equipos a estudiar	140
A.4. Estructura del aplicativo Confiabilidad	141
A.4.1. Cargar datos	142
A.4.2. Visualizar datos	146
A.4.3. Insertar Datos de S-PLUS	146
A.4.4. Resultados	148
A.4.5. Salir	149
A.5. Estructura de S-PLUS	149

A.5.1. Reparable	149
A.5.2. No reparable	153
B. MANUAL DE INSTALACIÓN S-PLUS Y SPLIDA	160
B.1. PASOS PARA INSTALAR S-PLUS	160
B.2. PASOS PARA INSTALAR S-PLIDA	168

Índice de figuras

3.1. Curva de la bañera	27
3.2. Concepto de un proceso estocástico puntual	30
3.3. Tendencias de un proceso estocástico puntual	30
3.4. Reparaciones perfectas	32
3.5. Reparaciones imperfectas	35
3.6. Gráfica del número acumulado de eventos	37
3.7. Gráfica del número de eventos en subperíodos	37
3.8. Gráfica de barras	38
3.9. Diagrama de flujo de selección de un modelo estocástico puntual	39
3.10. Censura a izquierda	41
3.11. Censura a intervalo	41
3.12. Censura a derecha	42
3.13. Ejemplo censura	42
4.1. Funciones empleadas para modelar un proceso No Homogéneo de Poisson (NH-PP)	44
4.2. Funciones usadas para modelar un Proceso Homogéneo de Poisson (HPP)	45
4.3. Clasificación del historial de fallas	45
4.4. Clasificación de equipos por estudiar	48
4.5. Metodología propuesta en el presente trabajo de grado	55
4.6. Linealización Weibull	65
4.7. Código en Matlab para estimar β	67
4.8. Gráfica de Confiabilidad y distribución acumulada de falla	70

4.9. Relación entre herramientas	73
4.10. Herramienta <i>RCM II</i> complementada	74
4.11. Módulo “Cálculo de Confiabilidad”	75
4.12. Aplicativo “Confiabilidad”	76
5.1. Gráfico de fallas interruptores BBB 3AQ	82
5.2. Gráfico de modos de fallas interruptores BBB 3AQ	83
5.3. Modelado NHPP Power Law interruptores BBB 3AQ	84
5.4. Parámetros estimados NHPP Power Law interruptores BBB 3AQ	84
5.5. Modelado HPP Weibull Interruptores BBB 3AQ	84
5.6. Parámetros estimados HPP Weibull interruptores BBB 3AQ	85
5.7. Gráfica de tasa de falla y probabilidad de ocurrencia asociada para interruptores BBB 3AQ	85
5.8. Gráfica de confiabilidad y distribución acumulada de falla interruptores BBB 3AQ	87
5.9. Gráfico de fallas Autotransformadores CCC	92
5.10. Gráfico de modos de fallas Autotransformadores CCC	93
5.11. Modelado NHPP Power Law Autotransformadores CCC	94
5.12. Parámetros estimados NHPP Power Law Autotransformadores CCC	94
5.13. Modelado HPP Weibull Autotransformadores CCC	94
5.14. Parámetros estimados HPP Weibull Autotransformadores CCC	95
5.15. Gráfica de tasa de falla y probabilidad de ocurrencia asociada Autotransfor- madores CCC	95
5.16. Gráfica de confiabilidad y distribución acumulada de falla Autotransformadores CCC	97
5.17. Gráfico de fallas Relés EPAC	103
5.18. Gráfico de modos de fallas fabricante Relés EPAC	104
5.19. Modelado NHPP Power Law Relés EPAC	105
5.20. Parámetros estimados NHPP Power Law Relés EPAC	105
5.21. Modelado HPP Weibull Relés EPAC	105
5.22. Parámetros estimados HPP Weibull Relés EPAC	106

5.23. Gráfica de tasa de falla y probabilidad de ocurrencia asociada para Relés EPAC	106
5.24. Gráfica de confiabilidad y distribución acumulada de falla Relés EPAC	108
5.25. Gráfico de fallas Línea 500 kV	113
5.26. Gráfico de modos de fallas fabricante Línea 500 kV	114
5.27. Modelado NHPP Power Law Línea 500 kV	114
5.28. Parámetros estimados NHPP Power Law Línea 500 kV	115
5.29. Modelado HPP Weibull Línea 500 kV	115
5.30. Parámetros estimados HPP Weibull Línea 500 kV	115
5.31. Tasa de falla y probabilidad de ocurrencia asociada para la Línea 500 kV	116
5.32. Gráfica de tasa de falla y probabilidad de ocurrencia asociada para la Línea 500 kV	116
5.33. Gráfica de confiabilidad y distribución acumulada de falla Línea 500 kV	118
5.34. Valores de η y β para familia de equipos EEE	119
5.35. Gráfica de tasa de falla y probabilidad de ocurrencia asociada para la Línea . .	120
A.1. Conexión <i>RCM II</i> con <i>Confiabilidad</i>	128
A.2. Ubicación de las herramientas	129
A.3. Habilitando la seguridad	129
A.4. Habilitando las referencias	130
A.5. Página principal de RCM II	131
A.6. Botón Cálculo de Confiabilidad	131
A.7. Página del módulo Cálculo de Confiabilidad	132
A.8. Pantalla de incluir Equipos	133
A.9. Botones inferiores “Incluir equipo en la base de datos”	136
A.10. Reporte escrito de los equipos	137
A.11. Reporte gráfico de los equipos	137
A.12. Página del módulo incluir información del equipo fallado	138
A.13. Botones inferiores “Incluir información del equipo fallado”	139
A.14. Reporte escrito de equipos fallados de la base de datos	140
A.15. Página “Elegir equipos a estudiar”	141

A.16. Página de Inicio “Aplicativo Confiabilidad”	142
A.17. Formulario de “Cargar datos”	143
A.18. Datos extraídos de RCM II	144
A.19. Opción de borrar hoja	144
A.20. Gráfico de fallas funcionales	145
A.21. Gráfico de modos de falla	146
A.22. Formulario de “Insertar datos”	147
A.23. Tiempo de inicio de estudio	147
A.24. Datos de Power Law	147
A.25. Datos de Weibull	148
A.26. Módulo de resultados de datos estimados	148
A.27. Cargar datos desde archivo	150
A.28. Elegir archivo “Temporal”	151
A.29. Cargar el archivo para el análisis mediante Power Law	152
A.30. Identificando entradas	153
A.31. Ajustando los datos Power Law	154
A.32. Cuadro donde se elige la función “Power Rule”	154
A.33. Cargar datos desde archivo	155
A.34. Elegir archivo “Temporal”	156
A.35. Cargar el archivo para el análisis mediante Weibull	157
A.36. Cargar el archivo para el análisis mediante Weibull	158
A.37. Ajustando los datos Weibull	158
A.38. Cuadro donde se elige la función “Weibull”	159
B.1. Sign In	160
B.2. Register	161
B.3. Verification	161
B.4. Verify Email Address	162
B.5. Account Registration	162
B.6. Registered User Sing in	163

B.7. Start Shopping	164
B.8. TIBCO SPOTFIRE	165
B.9. Add to cart	166
B.10. Check Out	166
B.11. I Accept	167
B.12. Proceed with order	167
B.13. Download Options	168

Índice de tablas

3.1. Clasificación procesos estocásticos de acuerdo con su estructura T y CE	29
4.1. Equipos bajo estudio	56
4.2. Histórico de falla equipos AAA	57
4.3. Histórico de falla equipos AAA	58
4.4. Histórico de falla equipos AAA	59
4.6. Histórico de falla equipos AAA	60
4.7. Histórico de falla equipos AAA	61
4.8. Histórico de falla equipos AAA	62
4.9. Histórico de falla equipos AAA	63
4.10. Cálculo en número de días de la edad del equipo cuando falló, equipos AAA . .	64
4.11. Valor de la confiabilidad y distribución acumulada de falla año a año	69
4.12. Tasa de falla esperada para los próximos años 10 años	70
4.13. Probabilidad de que ocurran k eventos	71
4.14. Probabilidad de que ocurran k o menos eventos	72
4.5. Histórico de falla equipos AAA	78
5.1. Información de fallas Interruptores BBB 3AQ	80
5.2. Información de fallas Interruptores BBB 3AQ	81
5.3. Tasa de falla y probabilidad de ocurrencia asociada para interruptores BBB 3AQ	85
5.4. Probabilidad total de falla interruptores BBB 3AQ	86
5.5. Confiabilidad y distribución acumulada de falla interruptores BBB 3AQ	87
5.6. Información de fallas Autotransformadores CCC	89

5.7. Información de fallas Autotransformadores CCC	90
5.8. Información de fallas Autotransformadores CCC	91
5.9. Tasa de falla y probabilidad de ocurrencia asociada Autotransformadores CCC .	95
5.10. Probabilidad total de falla interruptores Autotransformadores CCC	96
5.11. Confiabilidad y distribución acumulada de falla Autotransformadores CCC . .	97
5.12. Información de fallas Relés EPAC	99
5.13. Información de fallas Relés EPAC	100
5.14. Información de fallas Relés EPAC	101
5.15. Información de fallas Relés EPAC	102
5.16. Tasa de falla y probabilidad de ocurrencia asociada para Relés EPAC	106
5.17. Probabilidad total de falla Relés EPAC	107
5.18. Confiabilidad y distribución acumulada de falla Relés EPAC	108
5.19. Información de fallas Línea 500 kV	110
5.20. Información de fallas Línea 500 kV	111
5.21. Información de fallas Línea 500 kV	112
5.22. Probabilidad total de falla Línea 500 kV	116
5.23. Confiabilidad y distribución acumulada de falla Línea 500 kV	117
5.24. Cantidad de equipos y fallas de los equipos EEE	118
5.25. Tasa de falla y probabilidad de ocurrencia asociada para la familia de equipos EEE	119
5.26. Fallas ocurridas durante los años 2008 y 2009	120
5.27. Cantidad de equipos fallados durante los años 2008 y 2009	121

Glosario

- **Confiabilidad:** la confiabilidad de equipo es la probabilidad de que este pueda operar durante un determinado lapso de tiempo sin que aparezca una falla.
- **Falla:** es la inhabilidad de un equipo para hacer lo que el usuario quiere que el equipo haga o realice (MCC, 2010).
- **Falla Funcional:** es la inhabilidad de un equipo para cumplir una función específica en un marco de funcionamiento. Generalmente la falla funcional dice en forma genérica cómo la función se puede perder.
- **Modo de Falla:** es el mecanismo que hace que el equipo o sistema pierda su función. En otras palabras, es el fenómeno que causa una falla funcional. La descripción del modo de falla debe tener un nivel de detalle que facilite la selección de tareas de mantenimiento adecuadas. Éste depende de la importancia operacional (MCC, 2010).
- **Probabilidad:** la probabilidad mide la frecuencia con la que se obtiene un resultado (o conjunto de resultados) al llevar a cabo un experimento aleatorio, del que se conocen todos los resultados posibles, bajo condiciones suficientemente estables (Wikipedia, 2010).
- **Proceso:** conjunto de fases sucesivas de un fenómeno natural o de una operación artificial (Proceso, 2010).
- **Teoría de la probabilidad:** la teoría de la probabilidad es la teoría matemática que modela los fenómenos aleatorios. Estos deben contraponerse a los fenómenos determinísticos, los cuales son resultados únicos y/o previsible de experimentos realizados bajo las mismas condiciones determinadas. Los fenómenos aleatorios, por el contrario, son aquellos que se obtienen como resultado de experimentos realizados, otra vez bajo las mismas condiciones

determinadas, pero como resultado posible poseen un conjunto de alternativas (Teoría , 2010).

Lista de símbolos

η	Parámetro de Escala.
β	Parámetro de Forma.
$F(t)$	Función de Distribución Acumulada.
$f(t)$	Función de Densidad de Probabilidad.
$R(t)$	Función de Supervivencia.
$h(t)$	Función de Riesgo.
$E(t)$	Función de Número Esperado de Fallas.
σ	Desviación Estándar.
PEP	Proceso Estocástico Puntual.
S-PLUS	Programa de Procesamiento Estadístico.
S-PLIDA	Librería de S-PLUS usada en Confiabilidad.
SPAT	Sistemas de Protecciones, Automatización y Telecomunicaciones.
MONT	Equipo en Servicio o Montado.
BAJA	Equipo Fuera de Servicio o Dado de Baja.
RCM	Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.
NHPP	Proceso de Poisson No Homogéneo.
HPP	Proceso de Poisson Homogéneo.

Resumen

TÍTULO: CÁLCULO DE LA CONFIABILIDAD DE EQUIPOS DE TRANSMISIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA*

AUTORES: LUZ DARY CARVAJAL MENDOZA**

PALABRAS CLAVES: Procesos estocásticos, probabilidad de falla, confiabilidad, S-plus.

DESCRIPCIÓN:

Una evaluación técnica sobre los equipos usados en la transmisión de energía eléctrica requiere la realización de diferentes tipos de análisis; dentro de los cuales se encuentran el de confiabilidad. El cálculo de confiabilidad de los equipos es un insumo adicional para diseñar o replantear una estrategia de mantenimiento, ya que estadísticamente facilita conocer a futuro la cantidad de eventos que podrían ocurrir y consecuentemente permitirá estar preparado para ellos. Permite también trazar la forma y/o periodicidades en que se realizan acciones preventivas y estar preparados para la ocurrencia de dichos eventos en los procesos de optimización de equipos e inventarios. Dado el potencial y los beneficios que se pueden obtener al realizar un cálculo de confiabilidad de equipos, se propone una metodología para poder determinar la confiabilidad en un período de tiempo y su probabilidad de ocurrencia asociada, aplicada sobre un grupo de equipos usados en la transmisión de energía eléctrica. La metodología utiliza el software S-PLUS el cuál permite hacer análisis mediante el proceso de Poisson y posteriormente con los resultados obtenidos realizar los cálculos matemáticos mediante un aplicativo elaborado en Microsoft Excel el cuál se alimenta de una base de datos elaborada en Microsoft Access. Las ventajas de este método son: mínima cantidad de variables necesarias para realizar el cálculo y baja dependencia de las inconsistencias de la base de datos.

*Proyecto de grado

**Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones. Hermann Raúl Vargas Torres.

Abstract

TITLE: RELIABILITY CALCULATION OF ELECTRICAL POWER TRANSMISSION EQUIPMENT *

AUTHORS: LUZ DARY CARVAJAL MENDOZA **

KEY WORDS: Stochastic processes, probability of failure, reliability, S-plus.

DESCRIPTION:

A technical assessment of the equipment used in the transmission of electric energy requires the performance of different types of analysis; the reliability analysis is one of those. The reliability calculation of equipment is an additional tool to design or reconsider a maintenance strategy, because it makes statistically easier to know future the number of events that can occur and eventually, it will permit to be prepared for the events mentioned before. It also permits to plan the form and/or periodicities where those preventive actions are made, and to be prepared for the occurrence for the events above in the optimization's process of equipment and inventories. Watching the potential and benefits that we can get when we make a reliability calculation of equipment, it is proposed a methodology to determine the reliability over a period of time and its associated occurrence, applied to a group of equipment used transmission of electric energy. Such methodology uses the S-PLUS software wich allows to do an analysis by the Poisson process and them with the obtained results. It is possible to do. The mathematical calculations using a tool developed in Microsoft Excel which is fed from a database elaborated in Microsoft Access. The advantages of this approach are: minimum number of variables necessary to perform the calculation and low dependence on the inconsistencies in the database.

*Degree Proyect

**School of Electrical Engineering. Hermann Raúl Vargas Torres.

Capítulo 1

INTRODUCCIÓN

En un mundo donde, se incrementan los desarrollos tecnológicos y la competitividad entre las empresas, la efectividad y eficiencia en el accionar cobran fundamental importancia, debido a las expectativas de los clientes por tener un mejor servicio con altos estándares de calidad, lo que requiere un buen uso de todos los recursos y una planeación estricta. Para lograr este fin, una estrategia adecuada es obtener bienes con alta confiabilidad, entendida ésta como la probabilidad de que un elemento pueda realizar su función bajo condiciones dadas de operación por un período específico de tiempo. Asegurar altos niveles de confiabilidad exige que se realicen actividades operativas y de mantenimiento que garanticen los estándares y las condiciones mínimas deseadas de reemplazo e intervención. En el negocio del transporte de energía eléctrica, se tienen indicadores para cuantificar la confiabilidad del servicio; por esto, las estrategias de mantenimiento deben actualizarse, para así cumplir con las nuevas necesidades que imponen estos indicadores.

Los análisis estadísticos, se sustentan en el comportamiento en el tiempo y consideran todos los tiempos y magnitudes involucrados que se desean evaluar, lo que permite, a su vez, la posibilidad de hacer inferencia sobre el comportamiento de las unidades, en cualquier instante de tiempo. Poder contar con una metodología para calcular la confiabilidad de los equipos de transmisión de energía eléctrica es una ventaja competitiva que impacta varios procesos en una empresa, desde los inventarios hasta el planteamiento de la estrategia de mantenimiento, porque permite estimar los eventos que ocurrirán, lo que hace que las diferentes áreas intervengan en el tiempo adecuado para evitarlos o resolverlos.

1.1. Planteamiento del problema

1.1.1. Fallas en la prestación del servicio de energía eléctrica

“Redes de distribución nacionales anticuadas, conexiones insuficientes entre los diferentes estados y un elevado déficit de capacidad son los principales problemas a los que se enfrenta el sector eléctrico Europeo” (Política, 2010). En este artículo se muestran los diferentes apagones y sus consecuencias que ha sufrido Europa debido a la falta de confiabilidad en sus redes. Pérdidas millonarias y humanas son apenas algunas de estas consecuencias.

“En Colombia durante el año 2005, el sistema de interconexión eléctrica proveyó servicio al 87% de la población, un porcentaje inferior al promedio de 95% para Latinoamérica y el Caribe, la cobertura eléctrica es del 93% en áreas urbanas y 55% en áreas rurales. Alrededor de 2.3 millones de personas todavía no tienen acceso a electricidad” (Política, 2010). Colombia al igual que Europa presenta problemas en la prestación de servicio de energía eléctrica, causados por fallas en su sistema transmisión de energía eléctrica.

1.1.2. Frecuencia y duración de las interrupciones

La calidad del servicio en Colombia, medida por interrupciones del servicio, es mucho menor al promedio para Latinoamérica y el Caribe. En 2005, el número de interrupciones promedio por abonado fué de 185.7, muy por encima del promedio regional de 13 interrupciones. La duración de las interrupciones por abonado fue de 66 horas, también muy por encima del promedio regional de 14 horas (Sector eléctrico, 2010).

1.1.3. Pérdidas en distribución y transmisión

“Las pérdidas y fugas en transmisión todavía son preocupantes aunque el monto total ha disminuido en los últimos años. Las pérdidas en distribución en 2005 fueron del 16%, comparado con un promedio de 13.6% en América Latina. Como ejemplo, ese mismo año, las pérdidas para una sola empresa de servicio público (Empresas Públicas de Medellín) fueron de más del 2% de la generación de energía total.

Las pérdidas de energía equivalen a la diferencia entre la energía generada y la energía distribuida y comercializada, y pueden clasificarse como pérdidas técnicas y pérdidas no técnicas.

Independientemente del origen de la energía eléctrica, hay factores macroambientales que no se tienen en cuenta como las pérdidas producidas en los transformadores para elevar la tensión para transportarla, en los cables, y en los transformadores para bajar la tensión para inyectarla en la red pública” (Sector eléctrico, 2010).

De lo anterior se deduce que el sector de la energía eléctrica en el mundo es muy dinámico, está sujeto al crecimiento poblacional y su desabastecimiento acarrea perjuicios económicos enormes no solo a las economías de los países sino también a cada uno de los sectores económicos que las conforman por ejemplo, el sector de la salud, la educación, la industria y la manufactura, el sector alimentario y el sector de la construcción entre otros. Por lo tanto y debido a lo anterior es preciso plantearnos el siguiente interrogante:

¿Es posible, desde la Ingeniería Eléctrica, contribuir a la disminución de las interrupciones del fluido eléctrico de manera eficaz y eficiente, mediante operaciones de predicción de las fallas sobre los equipos con que actualmente cuentan las empresas transportadoras de energía eléctrica?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

El objetivo principal de esta tesis es definir una metodología para el cálculo de confiabilidad de equipos de transmisión de energía eléctrica, en las especialidades de protecciones a una familia de relés función distancia, en la especialidad de subestaciones a una familia de interruptores y en la especialidad de líneas de transmisión a una línea de transmisión.

1.2.2. Objetivos específicos

- Especificar la base de datos que contiene la información de falla, en la especialidad de protecciones a una familia de relés función distancia, en la especialidad de subestaciones a una familia de interruptores y en la especialidad de líneas de transmisión a una línea de transmisión.
- Especificar la metodología estadística empleada en el cálculo de la confiabilidad.

- Complementar la base de datos a utilizada en el proyecto de grado “Metodología RCM aplicada a transformadores de potencia”, realizada por Lyda Marisel Torres Álvarez y dirigida por Hermann Raúl Vargas Torres, y presentar los resultados de este trabajo de forma tabulada y gráfica.

1.3. Organización del documento

El documento está conformado por cinco capítulos y dos apéndices.

En el capítulo 2, se hace una breve reseña histórica, y un estado del arte acerca del cálculo y de la confiabilidad.

En el capítulo 3, se muestran fundamentos teóricos necesarios para esta tesis.

En el capítulo 4, se muestra la metodología propuesta.

En el capítulo 5, se muestran ejemplos utilizando la herramienta computacional.

En el capítulo 6, se muestran conclusiones y recomendaciones.

En el apéndice A, se da una guía del usuario de como manejar las herramientas *RCM II* y *Confiabilidad*.

En el apéndice B, se da una guía de instalación de S-PLUS y SPLIDA.

Capítulo 2

ESTADO DEL ARTE, BREVE HISTORIA, EL CÁLCULO Y LA CONFIABILIDAD

2.1. La Confiabilidad

2.1.1. Breve desarrollo histórico

- La primera tabla de vida fue generada en 1693 y se atribuye a Edmund Halley, astrónomo inglés, conocido por haber predicho la órbita del cometa que lleva su nombre (Asimov, 2002).
- El desarrollo histórico de la confiabilidad en términos de “confiabilidad” se ubica en los estudios y métodos que se utilizaban para poder evaluar la mortalidad derivada de las epidemias. Estos estudios los realizaban las compañías de seguros para determinar el riesgo de sus pólizas en los EE.UU (Luna, 2007).
- En 1900, se utilizaban métodos actuariales para estimar la supervivencia de pacientes sometidos a distintos tratamientos y para estudiar la confiabilidad del equipamiento en los ferrocarriles (Teoría, 2010).
- En 1939, Walody Weibull, siendo profesor del Royal Institute of technology en Suiza propuso una distribución para describir la duración de materiales. La distribución de Weibull es muy utilizada hoy en las aplicaciones, ya que su versatilidad admite distintas formas de funciones de riesgo (Teoría, 2010).

- En 1940-1950, el área de confiabilidad aplicada tuvo auge al final de la década de los cuarenta, después de la segunda guerra mundial. Cierta parte de la metodología de confiabilidad se desarrolló para estimar el número de repuestos necesarios para mantener equipos electrónicos y mecánicos funcionando por períodos largos de tiempo durante la guerra (Teoría, 2010).
- Comenzando la exploración espacial en los años 1950 con satélites, sondas y vehículos tripulados, aumentó la necesidad de tener equipos y sistemas más seguros, por lo que se comenzó a desarrollar y a implementar la metodología de confiabilidad (Cohen, 1984).
- A principios de la década de los sesenta, la crisis económica en el petróleo provocó un cambio en la economía mundial, generando el liderazgo japonés en la calidad y la confiabilidad de productos y servicios (Lawless, 1992).
- Luna comenta que, según Birnbaum, Esary y Saunders, la investigación de sistemas de confiabilidad, en general, pero especialmente las funciones de sistemas coherentes, se inició en 1961 (?).
- En 1964, se publicaron dos trabajos sobre cálculo de confiabilidad en sistemas de transmisión y distribución (Aldo, 1994).
- Los rápidos avances tecnológicos y las necesidades de seguridad en los complejos militares han hecho que el cálculo de la confiabilidad se muestre muy dinámico y hace presencia en el Reliabilism y en la teoría de la Confiabilidad. En esta última se dice que es posible aplicar un tratamiento estadístico que modele en forma realista el estudio de la confiabilidad de componentes o dispositivos que, en condiciones de montaje y uso adecuado, se encuentran en funcionamiento un tiempo determinado (Ana, 2005).

2.1.2. Actualidad

- En 2003, en “Confiabilidad: Historia, estado del arte y desafíos futuros”, publicado en la Revista DYNA 2003, Escobar, Villa y Yáñez plantean cómo se ha generado una revolución en el uso de métodos estadísticos para mejorar la calidad, entendida ésta como confiabilidad de los productos y servicios. “ Los administradores, ingenieros y los mismos consumidores se han convencido de que una buena confiabilidad es una característica

indispensable para tener la oportunidad de competir en los mercados globalizados, complejos y sofisticados de hoy en día”.

- 2004. Mora, Carrillo, y Jaimes, en IEEE Latin America Transactions, Vol 2, N° 3, aseveran que la “Atención de fallas en Subestaciones de transmisión de energía” se constituye en una obligación para mantener altos estándares de calidad para las empresas encargadas de proveer el servicio de energía eléctrica.
- 2006. Palencia, Chikhani, Lara, Aguillon, Tremante y Rojas escriben acerca de la importancia de comportamiento histórico de un equipo para construir una tendencia y pronosticar el número de fallas en un periodo determinado de tiempo. “. . . Para lo cual se debe generar una base de conocimientos y con el uso de un motor de inferencia comercial evaluar la base de conocimientos generada”.
- 2010. International Applied Reliability Symposium - Europe. The International Applied Reliability Symposium (ARS) provee un foro para expertos de la industria y el gobierno para reunirse con los profesionales de la confiabilidad de todo el mundo para discutir acerca de la aplicación de los principios de confiabilidad y como afrontar los desafíos del mundo real. Esta conferencia internacional sobre la confiabilidad, mantenibilidad y disciplinas afines se lleva a cabo cinco veces al año en lugares de todo el mundo. Disponible en: <http://www.arsymposium.org/europe/>.
- 2010. El equipo de trabajo de AMS group, responsable de la implementación del proceso de Gestión de información de confiabilidad en importantes empresas del sector petrolero, sostiene que: “Que cada día que pasa se hace más necesaria la información de confiabilidad y mantenimiento de equipos de buena calidad, es fundamental para una toma efectiva de decisiones con el fin de estimar los riesgos en la seguridad o el medio ambiente. . .”. Disponible en: info@amsgroup.com.co. Bogotá, Colombia.
- 2010. García, Salcedo O, en “Predicción de fallos en redes IP empleando Redes Neuronales Artificiales” escriben acerca de que la idea principal en la predicción de fallos es predecir las fallas catastróficas en la red, de manera que se pueda garantizar confiabilidad y calidad de Servicio (QoS), en tiempo real para mantener la disponibilidad y fiabilidad de la red e iniciar apropiadas acciones de restauración de la “normalidad”.

2.1.3. Importancia de la confiabilidad

La confiabilidad tiene sus orígenes en los análisis estadísticos y en leyes probabilísticas de fallas, ya que no existe un modelo determinista que prediga el tiempo en el cual un sistema falla. Aun así, hay una teoría de la confiabilidad que trata sobre la eficiencia de los sistemas tecnológicos que les designa a cada uno de ellos una función de probabilidad. La confiabilidad es una medida de la seguridad y del riesgo y, a su vez, el grado de confianza que un usuario deposita en un equipo, pensando en que éste cumplirá su función, bajo ciertas condiciones, durante un espacio de tiempo determinado. En otras palabras, implica también la probabilidad de un desempeño libre de fallas.

El cálculo de la confiabilidad contribuye también al mejoramiento de los costos, la seguridad, el impacto del medio ambiente y la calidad de funcionamiento del equipo, así como también los efectos de redundancias, costos de repuestos, costos de personal, envejecimiento de equipos y tiempos de reparación que deben ser considerados junto con otros parámetros.

Capítulo 3

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

3.1. Conceptos previos

3.1.1. Función de distribución acumulada de falla

La función de distribución acumulada (cdf) es la probabilidad de que un elemento falle antes del tiempo t y se describe mediante la ecuación (3.1).

$$F(t) = P(T \leq t) = \int_0^{\infty} f(t) dt, t > 0 \quad (3.1)$$

Donde t es una variable continua que describe los tiempos de falla de un sistema o componente, las unidades de t pueden ser días, ciclos, etc. La $F(t)$ o cdf se interpreta como la proporción de elementos o equipos de una población completa que podrán fallar antes del tiempo t .

3.1.2. Función de densidad de probabilidad

La función de densidad de probabilidad de falla $f(t)$ representa la probabilidad de ocurrencia de un evento. La función de densidad de probabilidad (pdf) se define como la derivada de la función de distribución acumulada (cdf) y se describe en la ecuación (3.2).

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} \quad (3.2)$$

3.1.3. Función de confiabilidad o supervivencia

La función de supervivencia o sobrevivencia es la misma función de confiabilidad. Se define como el complemento de la función de distribución acumulada (cdf), y se describe en la ecuación (3.3) (Manotas, 2004).

$$R(t) = 1 - F(t) \quad (3.3)$$

3.1.4. Función de riesgo o de tasa de falla $\lambda(t)$

Es la tasa instantánea de falla de un equipo. Esta función muestra que tan propenso es un sistema o elemento a fallar, en el próximo instante de tiempo dado que ha sobrevivido hasta el tiempo t . Esta función es muy utilizada en los análisis de confiabilidad, porque permite establecer la tendencia de la tasa de fallas en el tiempo. Esta tendencia puede ser constante o variable en el tiempo. La curva de la bañera que se puede observar en la Figura 3.1 representa la función de riesgo de algunos tipos particulares de elementos, donde el eje x indica el tiempo de vida y el eje y la tasa de falla. Cuando la tasa de falla es decreciente, esta zona es denominada “mortalidad infantil” y el valor de $\beta < 1$; cuando la tasa de falla es constante esta zona se denomina “tasa de falla constante” y el valor de $\beta = 1$; cuando la tasa de falla es creciente, esta zona es denominada “vejez” y el valor de $\beta > 1$.

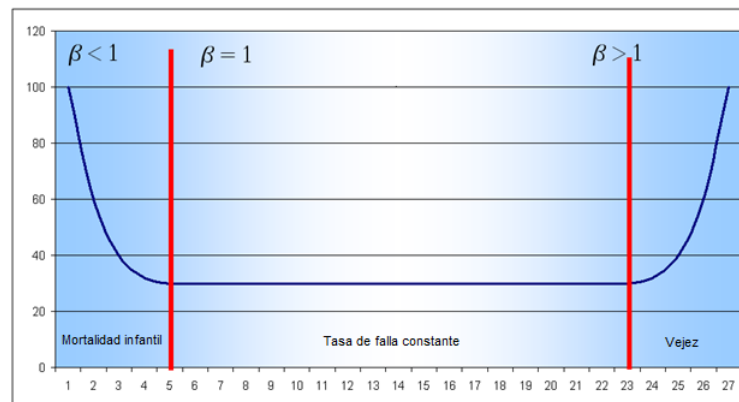


Figura 3.1: Curva de la bañera

3.1.5. Número esperado de fallas $E(x)$

Es la función que calcula el número de fallas en un intervalo de tiempo:

$$E(t) = \int_0^t \lambda(t) dt \quad (3.4)$$

3.2. Fundamento teórico: Proceso Estocástico

3.2.1. Definición

Dado un espacio de probabilidad (Ω, F, P) , un proceso estocástico (o proceso aleatorio) con un espacio de estado X es una colección de valores de X variables aleatorias indexadas en un conjunto T (“tiempo”). Es decir, un proceso estocástico F es una colección $\{F_t : t \in T\}$, donde cada F_t es un X valor de la variables aleatorias.

Una modificación G del proceso F es un proceso estocástico en el espacio mismo de estado, con el mismo parámetro del conjunto T como: $P(F_t = G_t) = 1 \quad \forall t \in T$. Una modificación es *indistinguishable* si: $P(\forall t \in T, F_t = G) = 1$.

En la teoría de la probabilidad, un proceso estocástico, o, un proceso aleatorio, es la contraparte de un proceso determinístico (o sistema determinístico). En lugar de tratar con una sola realidad posible de cómo podría evolucionar un proceso en virtud del tiempo (como es el caso, por ejemplo, para las soluciones de una ecuación diferencial ordinaria), en un proceso estocástico o proceso aleatorio hay algo de indeterminación en la evolución futura, descrita por distribuciones de probabilidad. Esto significa que incluso si la condición inicial (o punto de partida) se conoce, hay muchas posibilidades a donde el proceso podría ir, pero algunos caminos pueden ser más probables y otros no tanto (Estocástico, 2010).

Para que un proceso estocástico esté completamente definido se deben determinar las variables aleatorias. Es decir, determinar e identificar la distribución de probabilidad asociada a cada una de ellas y la distribución conjunta de todas ellas.

- Definición. Al conjunto $T \subset R$ de subíndices se le denomina conjunto paramétrico y puede ser continuo o numerable (discreto).
- Definición. Se denomina conjunto de estados (CE), al conjunto de los posibles valores que pueden tomar las variables aleatorias. $\{F_t\}$. Puede ser continuo o numerable (discreto).

3.2.2. Clasificación de los Procesos Estocásticos

Un proceso estocástico se puede clasificar de acuerdo con:

- La estructura del conjunto paramétrico T y del conjunto de estados CE :

Dependiendo si T es un conjunto numerable (discreto) o continuo, y de si CE es otro conjunto numerable(discreto) o continuo. Los procesos estocásticos se pueden clasificar de acuerdo con su estructura, como se observa en la Tabla 3.1.

CE/T	Discreto	Continuo
Discreto	Cadena	Proceso Puntual
Continuo	Sucesión de variable aleatoria	Proceso Continuo

Tabla 3.1: Clasificación procesos estocásticos de acuerdo con su estructura T y CE

- Las características probabilísticas de las variables aleatorias:

Los procesos estocásticos se pueden clasificar de acuerdo con las características probabilísticas de las variables aleatorias en:

- Procesos estacionarios
- Procesos Markovianos
- Procesos de incrementos independientes

3.3. Fundamento teórico: Proceso estocástico puntual

Un proceso estocástico puntual (PEP) es un proceso aleatorio en el cual se cuenta el número de eventos N que ocurren en un periodo de tiempo t con la condición de que sólo un evento puede ocurrir en cada instante de tiempo. La fecha que se toma como referencia cuando empieza la observación del proceso es $t=0$. En la Figura 3.2 se observa como N_1, N_2, N_3, N corresponden a las fallas que se pueden presentar en un equipo en un lapso de tiempo comprendido entre 0 y t . Estas fallas pueden ocurrir en intervalos de tiempo x_1, x_2, x_3 (Carlos J., 2008).

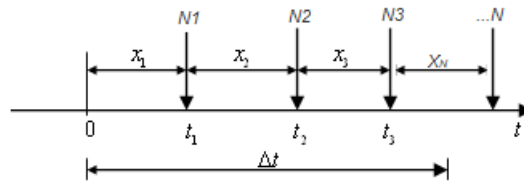


Figura 3.2: Concepto de un proceso estocástico puntual
 Fuente: (Carlos J., 2008)

Características de un proceso estocástico puntual

La tendencia o cambio con el tiempo del número de eventos que ocurren es una característica muy importante de un PEP. La tendencia se define como el cambio en el tiempo del número de eventos que ocurren.

Existen tres tipos de tendencia:

1. Tendencia Positiva: la cantidad de eventos aumenta con el tiempo.
2. Tendencia Cero: la cantidad de eventos no aumenta ni disminuye con el tiempo.
3. Tendencia Negativa: la cantidad de eventos disminuye con el tiempo.

En la Figura 3.3, se pueden observar los tres tipos de tendencia, donde la tendencia positiva evidencia que, a medida que pasa el tiempo, las fallas ocurren en intervalos de tiempo más pequeños. En la tendencia cero, las fallas llegan en cualquier instante de tiempo; es decir, no tienen un criterio definido de llegada. En la tendencia negativa, a medida que pasa el tiempo, éstas ocurren en intervalos de tiempo más grandes.

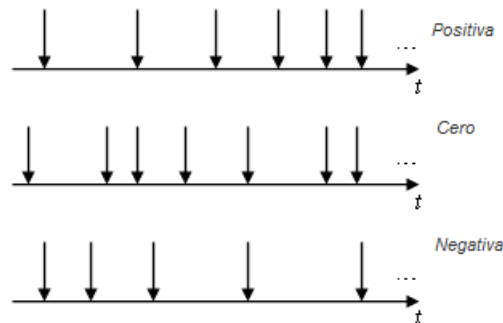


Figura 3.3: Tendencias de un proceso estocástico puntual
 Fuente: (Carlos J., 2008)

Un proceso estocástico puntual con tendencia cero es estacionario u homogéneo, esto quiere decir que los intervalos de tiempo entre los eventos son independientes e idénticamente distribuidos. Un proceso estocástico puntual con tendencia diferente de cero es lo opuesto, es decir, los eventos son dependientes entre sí y no son idénticamente distribuidos.

(R.Pascual, 2007) sostiene que los procesos estocásticos puntuales estacionarios que no tienen tendencia son conocidos como procesos de renovación (renewal process). El proceso de renovación más famoso es el Proceso de Poisson Homogéneo (HPP). Todos los procesos estocásticos con tendencia son en general llamados Procesos de Poisson No Homogéneos (NHPP).

3.3.1. Proceso de Poisson homogéneo o Proceso de renovación

Un Proceso de Poisson Homogéneo (HPP) o Proceso de Renovación (RP) se presenta cuando la ocurrencia de los eventos no es dependiente del tiempo; es decir, la cantidad de eventos en un intervalo de tiempo depende únicamente de la longitud del intervalo. La probabilidad de ocurrencia de eventos en un período de tiempo es independiente de lo ocurrido en el anterior período de tiempo. Las características de este proceso son tiempos entre fallas independientes, idénticamente distribuidas. La distribución más común para modelar este tipo de proceso es la Weibull, que representa reparaciones cuyas intervenciones se asumen perfectas y dejan el sistema como nuevo (As Good As New). Un modelo de reparaciones perfectas se puede ver en la Figura 3.4, donde el eje X corresponde al tiempo de observación del equipo, y el eje Y corresponde a la tasa de fallas que presenta este equipo en el tiempo. En $t = 0$, el equipo entra en servicio; a medida que pasa el tiempo, éste sufre desgaste, debido a su funcionamiento que hace que su tasa de falla empiece a aumentar; en t_1 el equipo es intervenido y reparado, y queda igual como cuando estaba nuevo, y presenta nuevamente el mismo comportamiento como cuando se puso en servicio. En t_2 y t_3 , el equipo es intervenido, y queda quedando otra vez como nuevo (Rausand, 2004) (R.Pascual, 2007).

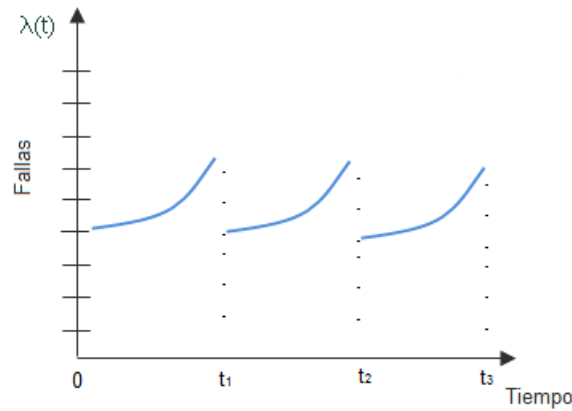


Figura 3.4: Reparaciones perfectas

El proceso de Poisson Homogéneo representa la probabilidad de que ocurra un evento en un tiempo específico o en un intervalo de tiempo, cuando la tasa de falla es constante.

$$\lambda = \text{Tasa de falla o número de fallas por unidad de tiempo}$$

Las siguientes distribuciones tienen tasa de falla constante:

3.3.1.1. Distribución Exponencial

La distribución exponencial es la distribución más conocida y empleada en el cálculo de confiabilidad.

$$\lambda(t) = \text{Constante} \quad (3.5)$$

$$R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt} \quad (3.6)$$

Para la función exponencial $\lambda = \text{Constante}$

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (3.7)$$

$$f(t) = \frac{-dR(t)}{dt} = \lambda e^{-\lambda t} \quad (3.8)$$

$$F(t) = \int_t^{\infty} \lambda e^{-\lambda t} dt = 1 - e^{-\lambda} \quad (3.9)$$

Donde el número esperado de fallas se da en la ecuación (3.10).

$$E(t) = \frac{1}{\lambda} \quad (3.10)$$

Y la desviación en la ecuación (3.11).

$$\sigma = \frac{1}{\lambda} \quad (3.11)$$

3.3.1.2. Distribución Weibull

El análisis de Weibull es la técnica mayormente elegida para estimar una probabilidad, se sustenta en datos medidos o asumidos; fue descubierta por el Sueco Walodi Weibull y anunciada por primera vez, en 1951. La distribución es útil para simular un amplio rango de distribuciones como la normal, la exponencial, y otras.

$$f(t) = \frac{\beta t^{\beta-1}}{\eta} e^{\left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta}\right]} \quad (3.12)$$

Donde $t \geq 0$, $\beta > 0$ y $\eta > 0$

$$R(t) = e^{\left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta}\right]} \quad (3.13)$$

$$F(t) = 1 - e^{\left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta}\right]} \quad (3.14)$$

Si $\beta > 1$: Tendencia Positiva

Si $\beta < 1$: Tendencia Negativa

Si $\beta = 1$: Tendencia Cero

3.3.1.3. Distribución Gamma

Esta distribución es similar a la distribución Weibull, pero tiene dos parámetros de forma β y α y mediante su variación se puede para ajustar o aproximar a una amplia gama de datos experimentales (Roy, 1992).

$$f(t) = \frac{t^{\beta-1}}{\alpha^{\beta}\Gamma(\beta)} e^{(-\frac{t}{\alpha})} \quad (3.15)$$

Donde $t \geq 0$, $\beta > 0$ y $\alpha > 0$ and $\Gamma(\beta) = \int_0^{\infty} t^{\beta-1} e^{-t} dt$

$$R(t) = \int_0^t \frac{t^{\beta-1}}{\alpha^{\beta}\Gamma(\beta)} e^{(-\frac{t}{\alpha})} dt \quad (3.16)$$

$$F(t) = \int_t^{\infty} \frac{t^{\beta-1}}{\alpha^{\beta}\Gamma(\beta)} e^{(-\frac{t}{\alpha})} dt \quad (3.17)$$

3.3.2. Proceso de Poisson No Homogéneo

Se presenta cuando la ocurrencia de los eventos no es dependiente del tiempo, por lo tanto, el proceso no es estacionario. Se caracteriza por lo siguiente: Los tiempos entre fallas no son ni independientes ni idénticamente distribuidos, los sistemas o equipos reciben reparaciones imperfectas lo que deja a los equipos entre los estados como nuevo y tan viejo como antes de la intervención (As Good As New exclusive y As Bad As Old). Un modelo de reparaciones imperfectas se puede ver en la Figura 3.5, donde el eje X corresponde al tiempo de observación del equipo, y el eje Y, corresponde la tasa de fallas que presenta este equipo en el tiempo. En $t = 0$ el equipo entra en servicio; a medida que pasa el tiempo, éste sufre desgaste, debido a su funcionamiento que hace que su tasa de falla empiece a aumentar. En t_1 el equipo es intervenido y reparado, y queda un poco mejor que como estaba, pero no como nuevo; es decir, disminuye un poco su tasa de falla. Este equipo continua en funcionamiento hasta t_2 y t_3 , donde es intervenido nuevamente, lo que disminuye su tasa de falla (Rausand, 2004) (R.Pascual, 2007).

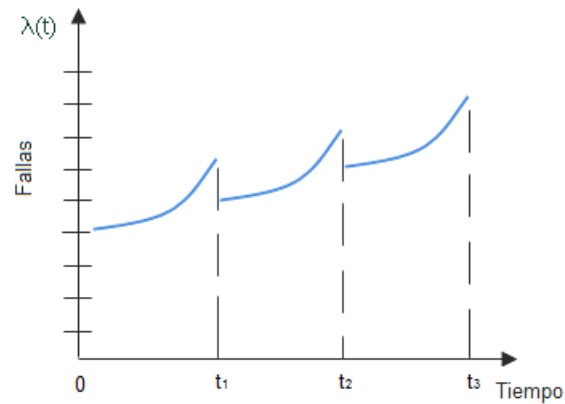


Figura 3.5: Reparaciones imperfectas

El proceso de Poisson No Homogéneo representa la probabilidad de que ocurra un evento en un tiempo específico o en un intervalo de tiempo cuando la tasa de falla es no constante.

3.3.2.1. Distribución Power Law

Una distribución Power Law es cualquier distribución en el que una minoría de elementos acumula casi todas las relaciones y el resto de elementos (una mayoría) tiene muy pocas relaciones. La distribución Power Law se define por medio de la siguiente función de tasa de falla:

$$\lambda(t) = \frac{\beta t^{\beta-1}}{\eta} \quad (3.18)$$

Este método es llamado Weibull, y se sustenta en la similitud existente entre la función de intensidad de Power Law y la tasa de eventos de la distribución Weibull. Sin embargo, el uso de este nombre es una afirmación equivocada debido a que en un proceso con tendencia como el Power Law, los tiempos entre llegada de eventos no son independientes ni pertenecen a la misma distribución:

- Función de probabilidad de Masa: es la probabilidad de que en un período de tiempo dado $[0,t]$, “lleguen” u ocurran exactamente k eventos. En un NHPP Power Law, está dada por la ecuación (3.19) (R.Pascual, 2007).

$$P[N(t) = k] = \frac{1}{k!} \left[\frac{t^\beta}{\eta} \right]^k * e^{-\frac{t^\beta}{\eta}} \text{ para } k = 0, 1, 2, 3... \quad (3.19)$$

- Función de distribución de probabilidad: es la probabilidad de que en un período de tiempo dado $[0,t]$, “lleguen” u ocurran k o menos eventos en un NHPP Power Law está dada por la ecuación (3.20).

$$P[N(t) \leq k] = \sum_{i=0}^k \frac{1}{i!} \left[\frac{t^\beta}{\eta} \right]^i * e^{-\frac{t^\beta}{\eta}} \text{ para } i = 0, 1, 2, 3... \quad (3.20)$$

Número de fallas esperadas y varianza

$$E(t) = \frac{t^\beta}{\eta} \quad (3.21)$$

$$\sigma = \frac{t^\beta}{\eta} \quad (3.22)$$

3.3.2.2. Distribución Log Normal

Esta distribución está relacionada con la distribución normal y se puede modelar mediante dos parámetros de distribución. Es de bajo empleo para representar el ciclo de vida de componentes porque esta distribución no considera o evalúa el pasado. En cambio, es de amplio empleo muy usada para analizar la confiabilidad de sistemas. Las ecuaciones (3.23) y (3.24) representan la función de densidad de probabilidad y distribución acumulada de falla.

$$f(t) = \frac{1}{t\sigma\sqrt{2\pi}} e^{\left[-\frac{\ln(t-\mu)^2}{2\sigma^2} \right]} dt \quad (3.23)$$

$$R(t) = \int \frac{1}{t\sigma\sqrt{2\pi}} e^{\left[-\frac{\ln(t-\mu)^2}{2\sigma^2} \right]} dt \quad (3.24)$$

3.4. Pruebas de tendencia

Para determinar si un proceso aleatorio de llegada de eventos tiene tendencia, se utilizan métodos gráficos y el test de Laplace.

3.4.1. Métodos gráficos

- Gráfica del número acumulado de eventos versus el tiempo acumulado de observación. Si esta gráfica es cóncava hacia arriba o hacia abajo (convexa) existe tendencia. Un ejemplo se muestra en la Figura 3.6.

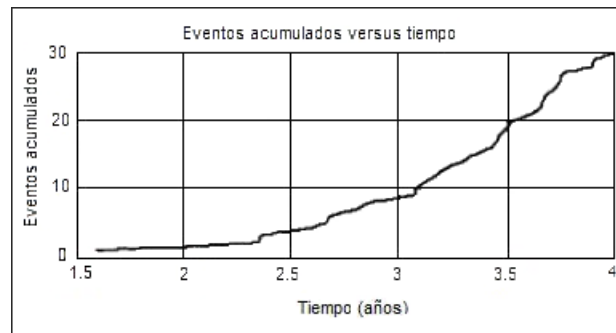


Figura 3.6: Gráfica del número acumulado de eventos

Fuente: (Carlos J., 2008)

- Gráfica del número de eventos en subperíodos del tiempo total de observación. Si la gráfica es creciente o decreciente, hay tendencia, como se puede observar en la Figura 3.7.

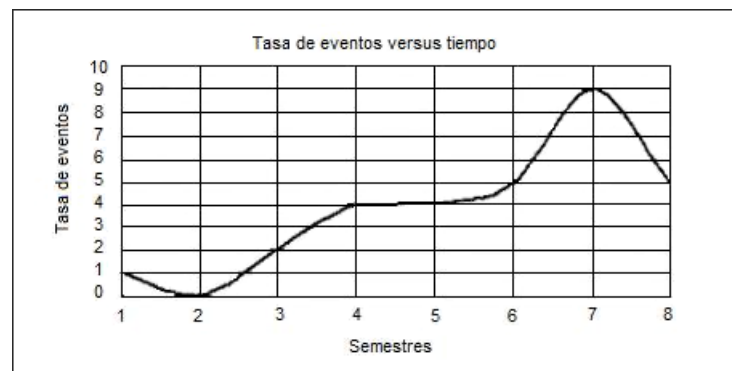


Figura 3.7: Gráfica del número de eventos en subperíodos

Fuente: (Carlos J., 2008)

- Gráfica de barras de los tiempos entre arribo de eventos que conservan su orden cronológico. Si la gráfica es creciente o decreciente hay tendencia, como se puede ver en la Figura 3.8.

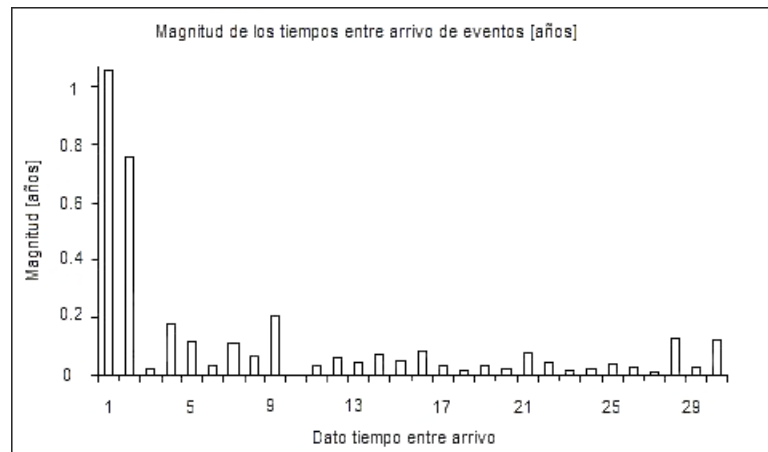


Figura 3.8: Gráfica de barras

Fuente: (Carlos J., 2008)

3.4.2. Test de Laplace

Para una muestra de n tiempos para arribo de eventos t_1, t_2, \dots, t_n se define la siguiente función de prueba de tendencia:

$$U_L = \frac{\left(\frac{1}{k} \sum t_i\right) - \frac{1}{2}T'}{T' \sqrt{\frac{1}{12k}}} \quad (3.25)$$

k : Es igual a $(n-1)$ si las observaciones terminan en el último evento, de lo contrario, es igual al número de observaciones n .

T' : Es igual a t_n si las observaciones terminan en el último evento, de lo contrario es igual al periodo total de las observaciones T .

Sí, $U_L = 0$ no existe tendencia, el proceso es estacionario.

Sí, $U_L > 0$ existe tendencia positiva o creciente, el proceso no es estacionario.

Sí, $U_L < 0$ existe tendencia negativa o decreciente, el proceso no es estacionario.

El test de Laplace compara el valor medio o “centroide” de los tiempos de arribo con el punto medio del intervalo de las observaciones (Carlos J., 2008).

3.5. Selección de un modelo para un proceso estocástico puntual

Para determinar si un fenómeno aleatorio se puede modelar mediante un modelo estocástico se puede seguir el diagrama de flujo propuesto en Figura 3.9.

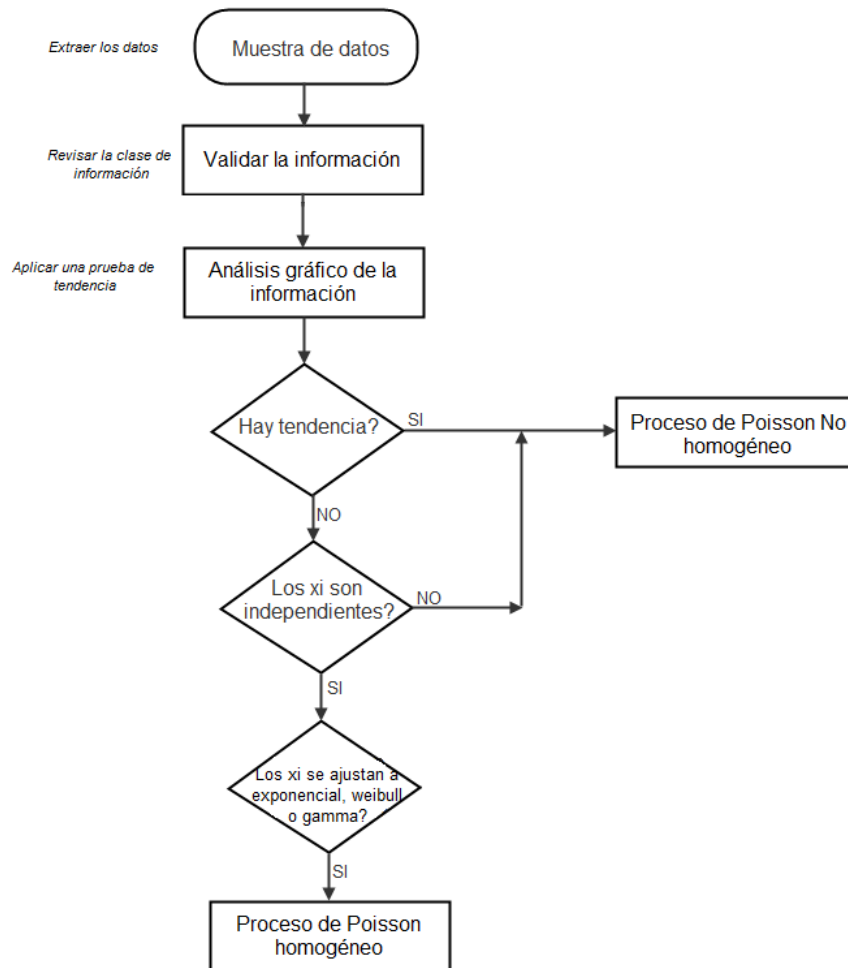


Figura 3.9: Diagrama de flujo de selección de un modelo estocástico puntual

Fuente: (R.Pascual, 2007)

3.6. Equipos No reparables

Son equipos o partes que fallan a cualquier edad y que no es posible repararlos. Si un equipo o parte es puesto en servicio y después de un tiempo falla y se reemplaza con otro elemento, se considera un equipo o parte no reparable.

El concepto de no reparable puede darse por varios factores, por ejemplo: aunque un buje de transformador se puede reparar, el estado actual de la tecnología y los costos asociados con la reparación pueden ser tan grandes que lo hagan irreparable. Estos factores hacen que los bujes se traten como equipo no reparables. Los tiristores de un SVC no pueden ser reparados; las tarjetas de algunos equipos no se pueden reparar o su reparación es muy costosa, etc. Cuando un equipo falla por una parte y es posible reemplazarla pero no repararla, y se desea hacer el análisis al nivel de equipo, éste se debe considerar como un elemento reparable. Si el análisis se hace al nivel de parte ésta será considerada no reparable (Manotas, 2004).

Es indispensable conocer la fecha de puesta en servicio y la fecha en que los elementos son retirados de servicio para hacer el análisis de confiabilidad.

3.7. Equipos reparables

Es el conjunto de equipos o partes que se pueden reparar, es decir, que sus condiciones de operación pueden ser llevadas de nuevo a la condición anterior a la falla. Cualquier equipo que siga en servicio después de una reparación es un equipo reparable, así algunas partes hayan sido reemplazadas o corregidas, por ejemplo: los relés de protección pueden ser considerados equipos reparables, pues si alguna tarjeta o módulo falla, ésta se reemplaza mas no el equipo completo (Manotas, 2004).

Es indispensable conocer la fecha de puesta en servicio y la fecha en que los elementos se retiran de servicio para hacer el análisis de confiabilidad. El proceso que presentan los equipos reparables normalmente se comportan como una recurrencia, es decir, se repite varias veces el mismo evento, como si cada modo de falla se presentara varias veces.

Para modelar sistemas reparables y no reparables se puede utilizar el proceso de Poisson Homogéneo (HPP) y el proceso de Poisson No Homogéneo (NHPP). Se ha encontrado que el HPP no es totalmente apropiado para modelar los sistemas reparables y a diferencia de éstos, los procesos NHPP sí permiten realizar un modelado adecuado (Ascher, 1984).

3.8. Censura

Censura es el término que se aplica a los datos sobre los cuales no se conoce información de eventos o equipos o partes que nunca han tenido eventos.

3.8.1. Censura a izquierda

Corresponde al período de tiempo en el cual se desconoce la información de fallas desde la fecha de puesta en servicio hasta el tiempo en el cual se empieza a llevar registro de la información de las fallas. Éste hecho suele presentarse cuando un equipo se adquiere de otra empresa. En la Figura 3.10 se puede observar el modelo de censura a izquierda, desde $t = 0$ hasta $t = x$ donde se desconoce las fallas que ocurrieron en este tiempo.

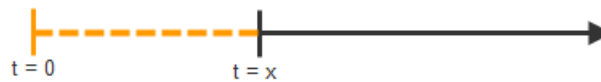


Figura 3.10: Censura a izquierda

3.8.2. Censura a intervalo

Corresponde al período de tiempo entre dos fechas, entre las cuales se presenta uno o varios eventos y se desconoce la información de las fallas, éste suele presentarse cuando el equipo de mantenimiento encargado del equipo no registra de manera juiciosa este tipo de información. La censura a intervalo se puede observar en el modelo representado en la Figura 3.11.



Figura 3.11: Censura a intervalo

3.8.3. Censura a derecha

Corresponde al período de tiempo después de la última falla en adelante o al período de tiempo después de la fecha de corte del estudio que se desconoce la información debido a que no ha

sucedido o a que un equipo es sacado de servicio. Ésto se puede ver en la Figura 3.12.

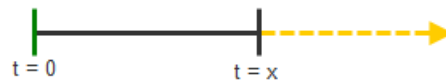


Figura 3.12: Censura a derecha

El equipo A ingresó al estudio, en t_0 pero ya tenía un tiempo de funcionamiento del cual no se conoce qué recurrencias se presentaron; en t_1 y t_2 , A presenta eventos de reparación, y entre t_3 y t_4 se perdió información acerca de las recurrencias de A. En t_5 , A vuelve a tener un evento de reparación y, finalmente, t_6 , es la edad del equipo A al momento de cerrar el estudio y no se sabe que eventos de recurrencia presentará en el futuro el equipo A. En la Figura 3.13 se pueden observar los diferentes tipos de censura que se le realizaron al equipo A a través del tiempo.

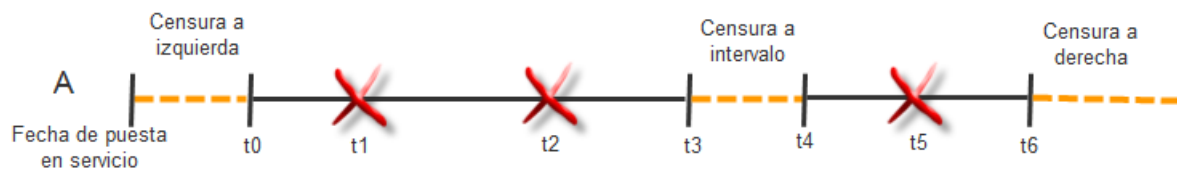


Figura 3.13: Ejemplo censura

Capítulo 4

PROPUESTA

4.1. Problema por solucionar

A lo largo de su vida operativa, los equipos están sometidos a diferentes actividades de vigilancia y mantenimiento, con el fin de controlar su proceso de envejecimiento y el impacto negativo que sobre el entorno pueda causar, que también es consecuencia de los diferentes mecanismos de degradación que actúan sobre los equipos. Por ello, este trabajo de grado propone el análisis de equipos como reparables y no reparables, con el fin de aportar soluciones para contribuir a la disminución de las interrupciones del fluido eléctrico, de manera eficaz y eficiente mediante operaciones de predicción de las fallas en los equipos con que actualmente cuentan las empresas transportadoras de energía (Coppola, 1984; Cohen, 1984) y otros (citado por (Luis A., 2000)).

4.2. Marco conceptual de la propuesta

Confiabilidad es la probabilidad de que un equipo realice su función hasta cierto tiempo especificado con ciertas condiciones de uso definidas, con este concepto la confiabilidad se puede evaluar conociendo el comportamiento que se espera que el equipo tenga por cierto tiempo, por lo tanto es necesario conocer el historial de falla de cada uno de los equipos de la familia bajo estudio.

Se propone en este trabajo analizar cada familia de equipos como reparable y No Reparable debido a la utilidad de los resultados de cada análisis, ayudando a las diferentes empresas en sus procesos de compras, planeación del mantenimiento y renovación.

Reparables: un equipo reparable es aquel que puede ser reparado, es decir que sus condiciones

de operación pueden ser llevadas de nuevo a la condición anterior a la falla; un caso particular de esta situación, es aquella donde se lleva el equipo reparado a la condición tan bueno como nuevo, la cual corresponde a procesos de renovación, es decir como si el equipo hubiera sido renovado. Cualquier equipo que siga en servicio después de una reparación es un equipo reparado así algunas partes hayan sido reemplazadas o corregidas. Los resultados que arroja un estudio de equipos reparables es la tasa de falla y la probabilidad de ocurrencia de de esta falla, los cuales reflejan la condición futura de cada equipo. Estos valores pueden ser utilizados en la ampliación o reducción de los tiempos de mantenimiento o en la modificación de las diferentes tareas a fin de mantener en buen estado el equipo. Se propone analizar cada equipo como reparado. El análisis de equipos reparables se puede realizar mediante procesos estacionarios no homogéneos como lo es el de Poisson No Homogéneo (NHPP). En la Figura 4.1 se pueden ver las funciones mas empleadas para modelar un NHPP según (Carlos J., 2008).

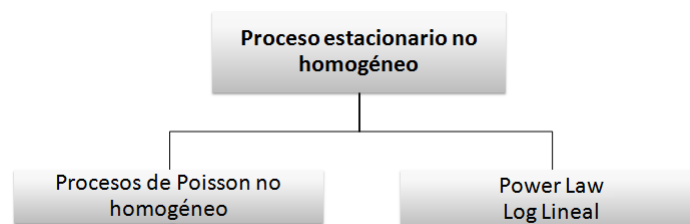


Figura 4.1: Funciones empleadas para modelar un proceso No Homogéneo de Poisson (NHPP)

Se empleará la función Power Law para modelar la tasa de falla, los resultados obtenidos serán: número de fallas acumuladas y probabilidad de ocurrencia

No Reparables: un equipo no reparado es aquel que falla a cualquier edad y que no es posible reparar. Si un equipo es puesto en servicio y después de un tiempo falla y se reemplaza con otro equipo, se considera un equipo como no reparado. El concepto de no reparado puede darse por varios factores; aunque un equipo pueda ser reparado, el estado actual de la tecnología y los costos asociados a la reparación puedan ser tan onerosos que hagan inviable la reparación, estos factores hacen que ciertos equipos sean considerados como equipos no reparables. Los resultados que arroja un estudio de equipos no reparables es la confiabilidad de una familia de equipos y la probabilidad de falla desde su fecha de puesta en servicio. Estos resultados permiten identificar tendencias de fallas en una familia de equipos siendo esta una herramienta en el momento de tomar decisiones de compra o ajustar el período de tiempo para el primer mantenimiento. El

análisis de equipos No Reparables se puede realizar mediante procesos estacionarios homogéneos como lo es el de Poisson Homogéneo (HPP). En la Figura 4.2, se puede ver las funciones más empleadas para modelar un NHPP (Carlos J., 2008).

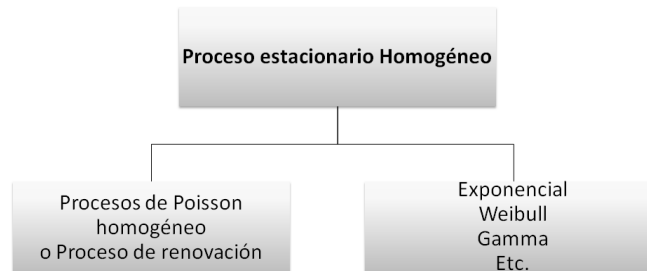


Figura 4.2: Funciones usadas para modelar un Proceso Homogéneo de Poisson (HPP)

Se empleará la función Weibull para modelar la confiabilidad de la familia de equipos y su probabilidad de falla, los resultados obtenidos serán confiabilidad y tendencia de falla.

4.3. Delimitaciones y Alcance de la propuesta

En lo que atañe al proceso, la propuesta abarca todas las fallas que se presenten sin perjuicio de que las mismas puedan ser tratadas de manera grupal por falla o por función o según los aspectos más relevantes para el estudio. En la Figura 4.3, se pueden observar diferentes tipos de clasificaciones que pueden ser aplicados al realizar el historial de fallas.



Figura 4.3: Clasificación del historial de fallas

4.4. La necesidad de pronosticar

Desde épocas inmemoriales, el hombre ha debido predecir, entendido esto como el “pronóstico de algo específico que puede suceder” , con el fin de tomar decisiones acertadas para el logro de sus objetivos cualquiera que fueran, llevándolo finalmente a crear estrategias y métodos que le aseguraran estabilidad en algún tipo de organización (Llinás R., 2003).

Es así como para el caso del mantenimiento de equipos, en las últimas décadas, y debido a que las exigencias de calidad en la producción son cada vez mayores, y al hecho de que las empresas necesitan ser más competitivas en el ámbito del comercio internacional, los distintos países han optado por desarrollar filosofías de mantenimiento predictivo propias, a tal punto que actualmente puede hablarse de una nueva tecnología multidisciplinar conocida como Terotecnología, que, nacida en Gran Bretaña hace más o menos 20 años, desarrolla un conjunto de actividades sistemáticas destinadas al descubrimiento y eliminación de las causas de la disminución de la eficacia de los sistemas industriales.

4.5. ¿Quiénes requieren hacer pronósticos?

Requieren hacer pronósticos de confiabilidad todas aquellas pequeñas o medianas empresas, en todas las áreas, con el fin de optimizar los procesos y, de paso, sus utilidades. Pero, especialmente, aquéllas que tengan en su inventario equipos o máquinas cuyo deterioro o avería pudiera ser peligros para el personal o crítica para el sistema de producción.

4.6. Tipos de pronósticos

1. Pronósticos a corto plazo: este tipo de pronóstico se efectúa cada mes o menos. Se utiliza para programas de abastecimiento, disponibilidad, asignación planificación de mantenimiento.
2. Pronósticos a mediano plazo: abarca un lapso de seis meses a tres años. Este se utilizan para estimar planes de mantenimiento, compras, repuestos.
3. Pronósticos a largo plazo: abarca un lapso de tres años o mas. Este tipo de pronóstico se utiliza en la planificación de nuevas inversiones, nuevos procesos, preparación de proyectos.

Esta propuesta abarca pronósticos de mediano y largo plazo ya que predice el comportamiento de los equipos año a año. Se sugiere actualizar año a año este estudio con las nuevas fallas.

Las “Cadenas de Markov” constituyen un procedimiento mediante el cual es posible predecir el comportamiento de los equipos en el mediano y largo plazo en el tiempo.

4.7. Motivación del trabajo

Lo que motivó a la realización de este trabajo fué una necesidad que percibió la autora de este proyecto durante una práctica universitaria en una empresa de transporte de energía en Colombia. La necesidad la tenían las personas encargadas del mantenimiento de los equipos, ellos querían conocer cuando iba a fallar el equipo y la causa de ésta para así poder realizar una mejor planeación de sus equipos.

4.8. Metodología

4.8.1. Identificar los equipos por estudiar

Para identificar los equipos que harán parte del estudio, se considera lo siguiente:

- Los equipos deben tener la misma función.
- Todos los equipos que hacen parte de esta familia deben ser del mismo fabricante.
- Con el paso del tiempo, los fabricantes de equipos suelen realizar cambios en sus equipos debido a los avances tecnológicos presentados, lo que genera nuevas referencias y especificaciones, por lo cual los equipos deben ser agrupados según el caso.
- Se debe analizar qué condiciones operativas soportan los equipos objeto de análisis, ya que ciertas condiciones operativas pueden afectar el comportamiento de los equipos.

Es importante resaltar el hecho de dar estricto cumplimiento a cada uno de los ítems propuestos, pues de ello depende la generalización e inferencia estadística de resultados. En la Figura 4.4, se puede observar diferentes clasificaciones de equipos por estudiar. Por ejemplo: se pueden clasificar los equipos de acuerdo con sus funciones y éstos, a su vez, de acuerdo con fabricante o tipo de tecnología. Una vez clasificados de esta forma, puede refinarse un poco más dependiendo de si el fabricante maneja diferentes referencias o de si los equipos se encuentran sometidos a diferentes condiciones operativas, lo que altera el funcionamiento normal de éste. La clasificación de los equipos se puede refinar de acuerdo con las características representativas que éstos posean de acuerdo como se observa en la figura 4.4.

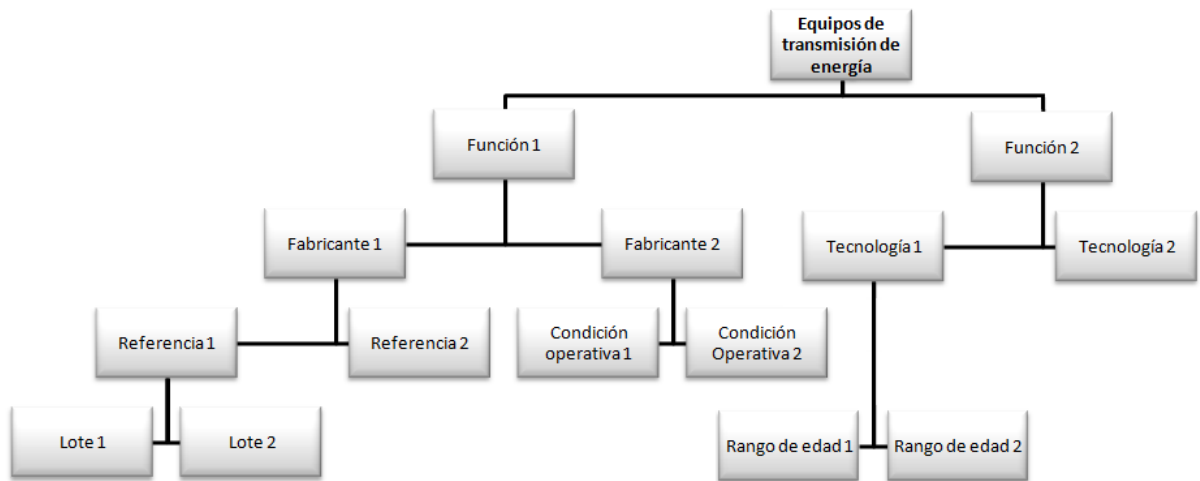


Figura 4.4: Clasificación de equipos por estudiar

4.8.2. Identificar el histórico de fallas de los equipos

En este paso, se consultará la información de falla de cada uno de los equipos bajo estudio. El histórico de fallas de cada uno de los equipos bajo estudio está representado por todas aquellas fallas detectadas en cada uno de los equipos desde su fecha de puesta en servicio hasta la fecha de corte del estudio.

Depurar la información contenida en el historial de fallas, prestando atención a:

- Fecha de puesta en servicio: Es la fecha en que cada uno de los equipos bajo estudio comenzó a funcionar.
- Fecha de inicio de la falla: Es la fecha en que el equipo falló.
- Fecha de corte del estudio: Es la fecha en la cual se requiere comenzar la predicción.
- Falla funcional: Es la inhabilidad de un equipo a cumplir una función en un estándar de funcionamiento y dice en forma genérica cómo la función se puede perder.
- Modo de falla: Es un evento el cual es probable que haga que el equipo o sistema pierda su función.

4.8.3. Identificación de los tiempos de Censura

Consiste en identificar dentro del histórico del equipo, si un evento específico corresponde a un tiempo de censura, ya sea una censura a derecha o una censura a izquierda.

4.8.3.1. Identificación de Censura a izquierda

Se puede realizar censura a izquierda en un equipo cuando una empresa lo adquiere estando ya en funcionamiento y su información de falla es desconocida. También cuando la empresa perdió la información histórica del equipo o porque simplemente la empresa no había detectado la necesidad de llevar un registro histórico. Para la censura a izquierda, se debe identificar la fecha en la cual el equipo entró al servicio (en la empresa de origen) la fecha en que entró a ser parte del estudio de confiabilidad (fecha en la que se comenzó a llevar un registro histórico), ya que estas fechas identifican el intervalo de tiempo del cual no se sabe nada acerca de los eventos de “falla” del equipo.

4.8.3.2. Identificación Censura a intervalo

Se presenta cuando en un intervalo de tiempo se desconoce la información de falla por pérdida de ella o porque ésta no se tomó. Cuando se presenta una censura a intervalo se debe identificar la fecha inicial y final del intervalo del tiempo donde no se conoce nada acerca de eventos de “falla” del equipo.

4.8.3.3. Identificación Censura a derecha

La censura a la derecha se presenta y se realiza cuando un equipo sale del estudio en forma definitiva (por ejemplo es cedido a otra empresa); entonces debe identificarse el tiempo a partir del cual se deja de hacer seguimiento a tal equipo.

4.8.4. Cálculo en número de días de la edad del equipo cuando falló

Este cálculo se realiza teniendo en cuenta el día en que ocurrió cada falla funcional (Fail) y el día de corte del estudio (End, Censored) de la siguiente manera:

Fail=Fecha de la falla - Fecha de puesta en servicio

Fecha del corte del estudio - Fecha de puesta en servicio

Ejemplo:

Fail = 28 (28/03/2000 - 01/03/2010 = 28)

End=30 (30/03/2000 - 01/03/2010=30)

4.8.5. Estimación de parámetros

Los parámetros son valores que caracterizan el comportamiento de los datos.

Para analizar equipos reparables se emplea la función “Power law”, ya que esta posee la flexibilidad de adaptarse a cualquier comportamiento de los datos. Esta posee dos parámetros llamados parámetro de escala y de forma η y β que deben ser calculados.

Para analizar equipos No Reparables se emplea la función “Weibull” ya que esta posee la flexibilidad de adaptarse a cualquier comportamiento de los datos. Esta posee dos parámetros llamados parámetro de escala y de forma η y β que deben ser calculados. Aunque los parámetros de la función Power Law y Weibull tengan el mismo nombre los valores de estos son diferentes.

Métodos para el cálculo de los parámetros:

4.8.5.1. Método gráfico para calcular los parámetros de la función Weibull

Se puede observar la función de confiabilidad en la ecuación (4.1).

$$R(t) = 1 - F(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (4.1)$$

Para estimar los parámetros de la función confiabilidad se aplica logaritmo natural a la igualdad, pasando el término $F(t)$ a la izquierda

$$\text{Ln}(1 - F(t)) = -\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta \quad (4.2)$$

$$\text{Ln}(-\text{Ln}(1 - F(t))) = \beta \text{Ln}(t) - \beta \text{Ln}(\eta) \quad (4.3)$$

$$\text{Ln}\left(\text{Ln}\left(\frac{1}{1 - F(t)}\right)\right) = \beta \text{Ln}(t) - \beta \text{Ln}(\eta) \quad (4.4)$$

$$\text{Ln}\left(\text{Ln}\left(\frac{1}{R(t)}\right)\right) = \beta \text{Ln}(t) - \beta \text{Ln}(\eta) \quad (4.5)$$

La ecuación (4.5) corresponde con la de una línea recta tal como la ecuación (4.6).

$$y = mx + b \quad (4.6)$$

$\text{Ln}(\text{Ln}\left(\frac{1}{R(t)}\right))$ es una función lineal, donde β es la pendiente de la ecuación lineal y $\beta \text{Ln}(\eta)$ es el intercepto (Eulalia, 2003).

Construcción del gráfico:

1. Ordenar los tiempos de falla $t(i)$ de menor a mayor.
2. Asignar a cada falla el rango i , $i = 1 \dots n$. El rango i es la posición de la falla de menor a mayor.
3. Calcular $F_n(i)$, que es el porcentaje de fallas ocurridas antes del tiempo de falla correspondiente al rango

$$F_n(i) = \frac{i - 0,5}{n} \quad i = 1, \dots, n \quad (4.7)$$

4. Calcular $\text{Ln}(t(i))$.
5. Calcular $\text{Ln}(\text{Ln}\left(\frac{1}{1-F(i)}\right))$.
6. Dibujar los puntos para la falla de rango i , $\text{Ln}(t_i)$ en las abscisas y $\text{Ln}(\text{Ln}\left(\frac{1}{1-F(i)}\right))$ en el eje de ordenadas.
7. Determinar mediante mínimos cuadrados la recta más cercana a los puntos de falla, de modo que el error medio cuadrático entre los datos y la recta sea lo menor posible

Por último η se obtiene de la ecuación (4.8).

$$\eta = e^{\left(\frac{b}{m}\right)} \quad (4.8)$$

4.8.5.2. Método analítico para calcular los parámetros de la función Power Law

Para k equipos con diferentes tiempos tanto de inicio de observación, como de final de observación, se estiman los parámetros λ y β ; se estiman de forma iterativa, suponiendo un valor de β inicial. Empleando las ecuaciones de la (4.9) a la (4.12):

$$\beta = \frac{\sum_{q=1}^k N_q}{\lambda \sum_{q=1}^k \left[T_q^\beta \text{Ln}(T_q) - S_q^\beta \text{Ln}(S_q) \right] - \sum_{q=1}^k \sum_{i=1}^{N_q} \text{Ln}(X_{i,q})} \quad (4.9)$$

$$\lambda = \frac{\sum_{q=1}^k N_q}{\sum_{q=1}^k \left[T_q^\beta - S_q^\beta \right]} \quad (4.10)$$

$$\eta = \left(\frac{1}{\lambda} \right)^{\frac{1}{\beta}} \quad (4.11)$$

$$\eta = \frac{\sum_{q=1}^k [T_q - S_q]}{\sum_{q=1}^k N_q^{\frac{1}{\beta}}} \quad (4.12)$$

k = Número de equipos bajo estudio.

q^{th} = Equipo observado (1,...,k).

S_q = Tiempo inicial de observación.

T_q = Tiempo final de observación.

N_q = Número de fallas del q^{th} equipo.

$X_{N,q}$ = Tiempo de ocurrencia de la falla.

4.8.6. Reemplazo de parámetros en las funciones

Una vez se calcula los parámetros de Weibull y Power law, éstos deben ser reemplazados en las diferentes ecuaciones que se muestran a continuación:

Weibull

Confiabilidad:

$$R(t) = e^{\left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta\right]} \quad (4.13)$$

Probabilidad de falla:

$$F(t) = 1 - e^{\left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta\right]} \quad (4.14)$$

Si $\beta > 1$: Tendencia Positiva.

Si $\beta < 1$: Tendencia Negativa.

Si $\beta = 1$: Tendencia Cero.

Power Law

Fallas esperadas

$$E(t) = \frac{t_2^\beta - t_1^\beta}{\eta} \quad (4.15)$$

Probabilidad de ocurrencia de k fallas

$$P[N(t) = k] = \frac{1}{k!} \left[\frac{t^\beta}{\eta} \right]^k * e^{-\frac{t^\beta}{\eta}} \quad \text{para } k = 0, 1, 2, 3... \quad (4.16)$$

Probabilidad de que ocurran k o menos fallas

$$P[N(t) \leq k] = \sum \frac{1}{i!} \left[\frac{t^\beta}{\eta} \right]^i * e^{-\frac{t^\beta}{\eta}} \quad \text{para } i = 0, 1, 2, 3... \quad (4.17)$$

4.8.7. Resultados esperados

Analizando el equipo como No Reparable se espera que:

La ecuación de confiabilidad expresada como la exponencial de $\left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta\right]$, donde t es el tiempo en que se desea conocer el valor de la confiabilidad, y varía desde cero hasta infinito. El resultado de esta operación debe mostrar qué tan rápido decrece la confiabilidad de un equipo y la confiabilidad del mismo en un lapso de tiempo determinado, así como la tendencia de falla de esa familia de equipos objeto de estudio.

En cuanto a la probabilidad de falla, ésta es, uno menos el valor de la Confiabilidad; ello quiere decir que, mientras el valor de la confiabilidad decrece, el valor de la probabilidad de falla crece, mostrándonos qué tan probable es que falle un equipo en un lapso determinado de tiempo.

Analizando el equipo como Reparable se espera: identificar el número de fallas que podrían presentar cada uno de los equipos en los años siguientes al año de corte de estudio, así como la probabilidad de ocurrencia de esas fallas y la probabilidad de ocurrencia de cualquier número de fallas, expresado en la ecuación como $\frac{t_2^\beta - t_1^\beta}{\eta}$, donde t_2 es el tiempo durante el cual queremos conocer el número de fallas y t_1 es el tiempo de corte del estudio. Otros resultados que se esperan son: la estadística de las fallas funcionales y la estadística de los modos de falla, lo que se desprende del historial de fallas, útil también para el conocimiento del tipo y modo de falla más recurrentes.

En la Figura 4.5 se muestra de manera esquemática la metodología propuesta en este trabajo de grado.

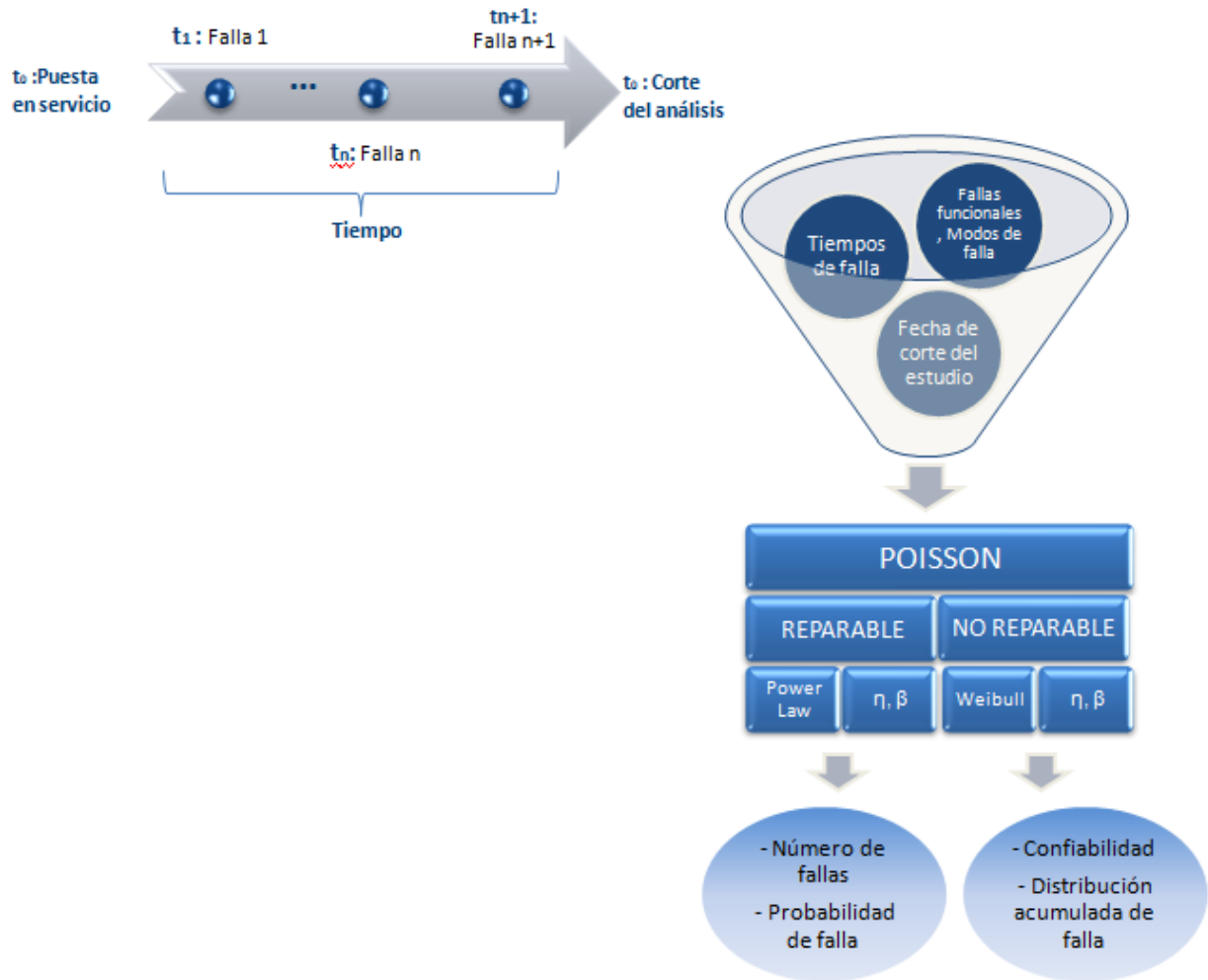


Figura 4.5: Metodología propuesta en el presente trabajo de grado

4.8.8. Ejemplo de un caso de estudio

Se requiere realizar un estudio a los equipos AAA.

4.8.8.1. Identificar los equipos por estudiar

Se consultó en la base de datos y hacen parte de esta familia 14 equipos. En la Tabla 4.1, se observa el identificador de cada equipo y su fecha de puesta en servicio.

Equipo	Fe.puesta serv
109097	01/01/1993
109377	01/01/1993
109426	01/01/1993
111413	01/01/1993
111417	01/01/1993
111421	01/01/1993
111950	01/01/1993
112008	01/01/1993
112021	01/01/1993
201555	01/01/1993
112261	01/12/1993
112216	09/12/1993
112226	09/12/1993
112268	09/12/1993

Tabla 4.1: Equipos bajo estudio

4.8.8.2. Identificar el histórico de fallas de los equipos

En las Tablas de la 4.2 a la 4.9, se puede observar el histórico de falla de los equipos AAA.

Identificador de la falla	Identificación Equipo	Fecha inicio de falla	Hora de inicio de falla	Falla funcional	Modo de Falla	Status usuario
9148	111950	13/02/1998	16:00:00	No preserva la seguridad del medio ambiente y del equipo bajo condiciones normales y de falla.	Baja presión de aceite hidráulico por fugas internas de aceite entre los sistemas de alta y baja presión.	MONT
13399	111413	10/09/1998	11:29:00	El interruptor no abre correctamente (Algunas fases o las tres fases, el tiempo de apertura esta por fuera de la especificación de funcionamiento)	Indicación errónea del bloque de contactos auxiliares por contactos quemados, desgastados, sulfatados, y/o desajuste del mecanismo de accionamiento. (Bloque de contactos auxiliares).	MONT
13802	111421	07/12/1998	21:53:00	El interruptor no cierra (el tiempo de cierre esta por fuera de la especificación de funcionamiento, algunas fases o las tres fases)	Indicación errónea del bloque de contactos auxiliares por contactos quemados, desgastados, sulfatados, y/o desajuste del mecanismo de accionamiento. (Bloque de contactos auxiliares).	MONT
13821	111421	10/12/1998	06:21:00	El interruptor no cierra (el tiempo de cierre esta por fuera de la especificación de funcionamiento, algunas fases o las tres fases)	Indicación errónea del bloque de contactos auxiliares por contactos quemados, desgastados, sulfatados, y/o desajuste del mecanismo de accionamiento. (Bloque de contactos auxiliares).	MONT
15377	112268	17/03/1999	15:00:00	El interruptor no cierra (el tiempo de cierre esta por fuera de la especificación de funcionamiento, algunas fases o las tres fases)	Indicación errónea del bloque de contactos auxiliares por contactos quemados, desgastados, sulfatados, y/o desajuste del mecanismo de accionamiento. (Bloque de contactos auxiliares).	MONT
15377	112268	17/03/1999	15:00:00	El interruptor no abre correctamente (Algunas fases o las tres fases, el tiempo de apertura esta por fuera de la especificación de funcionamiento)	No abre interruptor por bobina abierta o cortocircuitada para operación de las válvulas.	MONT
15129	112268	17/03/1999	11:00:00	No preserva la seguridad del medio ambiente y del equipo bajo condiciones normales y de falla.	Baja presión de gas SF6 por fugas en empaquetaduras, juntas, porcelanas, tuberías y mangueras de conexión. Baja presión de gas SF6 por: Descalibración de mandosostatos que muestra baja presión de gas SF6 en forma errónea.	MONT
16470	201555	01/06/1999	06:00:00	No preserva la seguridad del medio ambiente y del equipo bajo condiciones normales y de falla.	Baja presión de gas SF6 por fugas en empaquetaduras, juntas, porcelanas, tuberías y mangueras de conexión. Baja presión de gas SF6 por: Descalibración de mandosostatos que muestra baja presión de gas SF6 en forma errónea.	MONT
17418	112268	02/07/1999	21:13:00	No preserva la seguridad del medio ambiente y del equipo bajo condiciones normales y de falla.	Baja presión de gas SF6 por fugas en empaquetaduras, juntas, porcelanas, tuberías y mangueras de conexión. Baja presión de gas SF6 por: Descalibración de mandosostatos que muestra baja presión de gas SF6 en forma errónea.	MONT

Tabla 4.2: Histórico de falla equipos AAA

Identificador de la falla	Identificación Equipo	Hora de inicio de falla	Fecha inicio de falla	Falla funcional	Modo de Falla	Status usuario
17336	112021	03/07/1999	08:10:00	El interruptor no abre correctamente (Algunas fases o las tres fases, el tiempo de apertura esta por fuera de la especificación de funcionamiento)	Indicación errónea del bloque de contactos auxiliares por contactos quemados, desgastados, sulfatados, y/o desajuste del mecanismo de accionamiento. (Bloque de contactos auxiliares).	MONT
17336	112021	03/07/1999	08:10:00	El interruptor no abre correctamente (Algunas fases o las tres fases, el tiempo de apertura esta por fuera de la especificación de funcionamiento)	Indicación errónea del bloque de contactos auxiliares por contactos quemados, desgastados, sulfatados, y/o desajuste del mecanismo de accionamiento. (Bloque de contactos auxiliares).	MONT
19231	111950	06/10/1999	17:05:00	No preserva la seguridad del medio ambiente y del equipo bajo condiciones normales y de falla.	Baja presión de aceite hidráulico por fugas internas de aceite entre los sistemas de alta y baja presión.	MONT
19898	111950	07/10/1999	08:00:00	No preserva la seguridad del medio ambiente y del equipo bajo condiciones normales y de falla.	Baja presión de aceite hidráulico por fugas internas de aceite entre los sistemas de alta y baja presión.	MONT
19798	201555	25/10/1999	14:00:00	No preserva la seguridad del medio ambiente y del equipo bajo condiciones normales y de falla.	Baja presión de aceite hidráulico por fugas internas de aceite entre los sistemas de alta y baja presión.	MONT
19811	112268	03/11/1999	10:00:00	No envía señales o las envía en forma errónea /no bloquea	Falla en los dispositivos de señalización y control (Contactores, pulsadores, breakers, fusibles, conexiones.) por vibración, fatiga, sobre esfuerzos mecánicos.	MONT
19848	111421	04/11/1999	14:00:00	El interruptor no abre correctamente (Algunas fases o las tres fases, el tiempo de apertura esta por fuera de la especificación de funcionamiento)	Indicación errónea del bloque de contactos auxiliares por contactos quemados, desgastados, sulfatados.	MONT
30973	111421	26/11/1999	12:20:00	No preserva la seguridad del medio ambiente y del equipo bajo condiciones normales y de falla.	Baja presión de gas SF6 por fugas en empaquetaduras, juntas, porcelanas, tuberías y mangueras de conexión. Baja presión de gas SF6 por: Descalibración de manodensómetros que muestra baja presión de gas SF6 en forma errónea.	MONT
34285	112268	14/04/2000	10:00:00	No preserva la seguridad del medio ambiente y del equipo bajo condiciones normales y de falla.	Baja presión de aceite hidráulico por falla en el control eléctrico del motor. (Pulsadores, contactores, térmico, escobillas)	MONT
34996	112268	19/04/2000	18:00:00	No preserva la seguridad del medio ambiente y del equipo bajo condiciones normales y de falla.	Baja presión de aceite hidráulico por falla en temporizado de marcha.	MONT

Tabla 4.3: Histórico de falla equipos AAA

Identificador de la falla	Identificación Equipo	Hora de inicio de falla	Fecha inicio de falla	Falla funcional	Modo de Falla	Status usuario
52697	111417	12/03/2002	08:00:00	No preserva la seguridad del medio ambiente y del equipo bajo condiciones normales y de falla.	Baja presión de gas SF6 por fugas en empaquetaduras, juntas, porcelanas, tuberías y mangueras de conexión. Baja presión de gas SF6 por: Descalibración de manómetros que muestra baja presión de gas SF6 en forma errónea.	MONT
54055	201555	17/04/2002	15:02:00	El interruptor no cierra (el tiempo de cierre esta por fuera de la especificación de funcionamiento, algunas fases o las tres fases)	No abre interruptor por bobina abierta o cortocircuitada para operación de las válvulas.	MONT
66270	109377	04/04/2003	07:00:00	No preserva la seguridad del medio ambiente y del equipo bajo condiciones normales y de falla.	Baja presión de aceite hidráulico por fugas internas de aceite entre los sistemas de alta y baja presión.	MONT
66276	109377	15/04/2003	09:22:00	No preserva la seguridad del medio ambiente y del equipo bajo condiciones normales y de falla.	Baja presión de aceite hidráulico por fugas internas de aceite entre los sistemas de alta y baja presión.	MONT
71206	109377	30/09/2003	01:30:00	No envía señales o las envía en forma errónea (no bloquea)	Falla en los dispositivos de señalización y control (Contactores, pulsadores, breakers, fusibles, conexiones,) por vibración, fatiga, sobre esfuerzos mecánicos.	MONT
78390	109377	07/04/2004	14:02:00	No preserva la seguridad del medio ambiente y del equipo bajo condiciones normales y de falla.	Baja presión de aceite hidráulico por falla en el control eléctrico del motor. (Pulsadores, contactores, térmico, escobillas)	MONT
81132	112268	03/09/2004	08:00:00	No preserva la seguridad del medio ambiente y del equipo bajo condiciones normales y de falla.	Baja presión de gas SF6 por fugas en empaquetaduras, juntas, porcelanas, tuberías y mangueras de conexión. Baja presión de gas SF6 por: Descalibración de manómetros que muestra baja presión de gas SF6 en forma errónea.	MONT
81910	109377	09/09/2004	11:30:00	No preserva la seguridad del medio ambiente y del equipo bajo condiciones normales y de falla.	Baja presión de aceite hidráulico por falla en rodamientos Motor/Bomba del sistema hidráulico	MONT
81910	109377	09/09/2004	11:30:00	No preserva la seguridad del medio ambiente y del equipo bajo condiciones normales y de falla.	Baja presión de aceite hidráulico por falla en rodamientos Motor/Bomba del sistema hidráulico	MONT

Tabla 4.4: Histórico de falla equipos AAA

Identificador de la falla	Identificación Equipo	Hora de inicio de falla	Fecha inicio de falla	Falla funcional	Modo de Falla	Status usuario
99819	112268	13/03/2006	20:31:00	No preserva la seguridad del medio ambiente y del equipo bajo condiciones normales y de falla.	Baja presión de gas SF6 por fugas en empaquetaduras, juntas, porcelanas, tuberías y mangueras de conexión. Baja presión de gas SF6 por: Descalibración de manodensostatos que muestra baja presión de gas SF6 en forma errónea.	MONT
100548	109097	23/03/2006	07:16:00	No preserva la seguridad del medio ambiente y del equipo bajo condiciones normales y de falla.	Proceso de llenado errado	MONT
101561	109377	26/04/2006	17:24:00	No preserva la seguridad del medio ambiente y del equipo bajo condiciones normales y de falla.	Proceso de llenado errado	MONT
102067	112268	06/06/2006	08:30:00	No preserva la seguridad del medio ambiente y del equipo bajo condiciones normales y de falla.	Baja presión de gas SF6 por fugas en empaquetaduras, juntas, porcelanas, tuberías y mangueras de conexión. Baja presión de gas SF6 por: Descalibración de manodensostatos que muestra baja presión de gas SF6 en forma errónea.	MONT
102280	112216	19/06/2006	16:06:00	No preserva la seguridad del medio ambiente y del equipo bajo condiciones normales y de falla.	Baja presión de gas SF6 por fugas en empaquetaduras, juntas, porcelanas, tuberías y mangueras de conexión. Baja presión de gas SF6 por: Descalibración de manodensostatos que muestra baja presión de gas SF6 en forma errónea.	MONT
102281	112261	19/06/2006	16:06:00	No preserva la seguridad del medio ambiente y del equipo bajo condiciones normales y de falla.	Baja presión de gas SF6 por fugas en empaquetaduras, juntas, porcelanas, tuberías y mangueras de conexión. Baja presión de gas SF6 por: Descalibración de manodensostatos que muestra baja presión de gas SF6 en forma errónea.	MONT
103151	109426	19/07/2006	09:24:00	El interruptor no abre correctamente (Algunas fases o las tres fases, el tiempo de apertura está por fuera de la especificación de funcionamiento)	Indicación errónea del bloque de contactos auxiliares por contactos quemados, desgastados, sulfatados, y/o desajuste del mecanismo de accionamiento. (Bloque de contactos auxiliares).	MONT
104566	112268	11/09/2006	13:00:00	No preserva la seguridad del medio ambiente y del equipo bajo condiciones normales y de falla.	Baja presión de gas SF6 por fugas en empaquetaduras, juntas, porcelanas, tuberías y mangueras de conexión. Baja presión de gas SF6 por: Descalibración de manodensostatos que muestra baja presión de gas SF6 en forma errónea.	MONT

Tabla 4.6: Histórico de falla equipos AAA

Identificador de la falla	Identificación Equipo	Hora de inicio de falla	Fecha inicio de falla	Falla funcional	Modo de Falla	Status usuario
133852	112216	29/02/2008	22:00:00	No preserva la seguridad del medio ambiente y del equipo bajo condiciones normales y de falla.	Baja presión de gas SF6 por fugas en empaquetaduras, juntas, porcelanas, tuberías y mangueras de conexión. Baja presión de gas SF6 por: Descalibración de manodensímetros que muestra baja presión de gas SF6 en forma errónea.	MONT
134061	112216	01/03/2008	00:30:00	No preserva la seguridad del medio ambiente y del equipo bajo condiciones normales y de falla.	Baja presión de gas SF6 por fugas en empaquetaduras, juntas, porcelanas, tuberías y mangueras de conexión. Baja presión de gas SF6 por: Descalibración de manodensímetros que muestra baja presión de gas SF6 en forma errónea.	MONT
135997	112261	09/03/2008	11:00:00	No preserva la seguridad del medio ambiente y del equipo bajo condiciones normales y de falla.	Baja presión de aceite hidráulico por fallas microviches de sistema hidráulico F-1 (faliga-desajuste del resorte)	MONT
148981	111421	22/07/2008	17:42:00	El interruptor no abre correctamente (Algunas fases o las tres fases, el tiempo de apertura esta por fuera de la especificación de funcionamiento)	Problemas con el relé de sincronismo	MONT
173923	109377	04/03/2009	10:00:00	No preserva la seguridad del medio ambiente y del equipo bajo condiciones normales y de falla.	Baja presión de aceite hidráulico por falla en el control eléctrico del motor. (Pulsadores, contactores, térmico.	MONT
175897	112021	15/04/2009	10:00:00	No preserva la seguridad del medio ambiente y del equipo bajo condiciones normales y de falla.	Baja presión de aceite hidráulico por fugas internas de aceite entre los sistemas de alta y baja presión.	MONT
175698	201555	22/04/2009	12:30:00	No preserva la seguridad del medio ambiente y del equipo bajo condiciones normales y de falla.	Baja presión de aceite hidráulico por fugas internas de aceite entre los sistemas de alta y baja presión.	MONT
175697	201555	22/04/2009	12:30:00	No preserva la seguridad del medio ambiente y del equipo bajo condiciones normales y de falla.	Baja presión de aceite hidráulico por fugas internas de aceite entre los sistemas de alta y baja presión.	MONT
175699	201555	22/04/2009	13:00:00	No preserva la seguridad del medio ambiente y del equipo bajo condiciones normales y de falla.	Baja presión de aceite hidráulico por fugas internas de aceite entre los sistemas de alta y baja presión.	MONT
175701	201555	23/04/2009	12:00:00	El interruptor no cierra (el tiempo de cierre esta por fuera de la especificación de funcionamiento, algunas fases o las tres fases)	No abre interruptor por bobina abierta o cortocircuitada para operación de las válvulas.	MONT
175685	109426	24/04/2009	08:00:00	No preserva la seguridad del medio ambiente y del equipo bajo condiciones normales y de falla.	Baja presión de aceite hidráulico por fugas internas de aceite entre los sistemas de alta y baja presión.	MONT
178219	201555	25/04/2009	08:00:00	No preserva la seguridad del medio ambiente y del equipo bajo condiciones normales y de falla.	Baja presión de aceite hidráulico por fugas internas de aceite entre los sistemas de alta y baja presión.	MONT

Tabla 4.7: Histórico de falla equipos AAA

Identificador de la falla	Identificación Equipo	Hora de inicio de falla	Fecha inicio de falla	Falla funcional	Modo de Falla	Status usuario
105340	109426	24/10/2006	17:48:00	El interruptor no cierra (el tiempo de cierre esta por fuera de la especificación de funcionamiento, algunas fases o las tres fases)	Baja presión de aceite hidráulico por falla en el control eléctrico del motor. (Pulsadores, contactores, térmico, escobillas)	MONT
106095	112268	13/12/2006	09:45:00	No preserva la seguridad del medio ambiente y del equipo bajo condiciones normales y de falla.	Baja presión de gas SF6 por fugas en empaquetaduras, juntas, porcelanas, tuberías y mangueras de conexión. Baja presión de gas SF6 por: Descalibración de manómetros que muestra baja presión de gas SF6 en forma errónea.	MONT
112223	112268	06/06/2007	10:19:00	No preserva la seguridad del medio ambiente y del equipo bajo condiciones normales y de falla.	Baja presión de gas SF6 por fugas en empaquetaduras, juntas, porcelanas, tuberías y mangueras de conexión. Baja presión de gas SF6 por: Descalibración de manómetros que muestra baja presión de gas SF6 en forma errónea.	MONT
117691	112268	03/09/2007	19:15:00	No preserva la seguridad del medio ambiente y del equipo bajo condiciones normales y de falla.	Baja presión de gas SF6 por fugas en empaquetaduras, juntas, porcelanas, tuberías y mangueras de conexión. Baja presión de gas SF6 por: Descalibración de manómetros que muestra baja presión de gas SF6 en forma errónea.	MONT
128587	112268	01/11/2007	10:00:00	No preserva la seguridad del medio ambiente y del equipo bajo condiciones normales y de falla.	Baja presión de aceite hidráulico por fugas internas de aceite entre los sistemas de alta y baja presión.	MONT
126219	112268	21/11/2007	17:00:00	No preserva la seguridad del medio ambiente y del equipo bajo condiciones normales y de falla.	Baja presión de gas SF6 por fugas en empaquetaduras, juntas, porcelanas, tuberías y mangueras de conexión. Baja presión de gas SF6 por: Descalibración de manómetros que muestra baja presión de gas SF6 en forma errónea.	MONT
126524	112268	23/11/2007	12:00:00	No preserva la seguridad del medio ambiente y del equipo bajo condiciones normales y de falla.	Baja presión de gas SF6 por fugas en empaquetaduras, juntas, porcelanas, tuberías y mangueras de conexión. Baja presión de gas SF6 por: Descalibración de manómetros que muestra baja presión de gas SF6 en forma errónea.	MONT
132865	112216	05/02/2008	10:00:00	No preserva la seguridad del medio ambiente y del equipo bajo condiciones normales y de falla.	Baja presión de gas SF6 por fugas en empaquetaduras, juntas, porcelanas, tuberías y mangueras de conexión. Baja presión de gas SF6 por: Descalibración de manómetros que muestra baja presión de gas SF6 en forma errónea.	MONT
132865	112216	05/02/2008	10:00:00	No preserva la seguridad del medio ambiente y del equipo bajo condiciones normales y de falla.	Baja presión de aceite hidráulico por fugas internas de aceite entre los sistemas de alta y baja presión.	MONT

Tabla 4.8: Histórico de falla equipos AAA

Identificador de la falla	Identificación Equipo	Hora de inicio de falla	Fecha inicio de falla	Falla funcional	Modo de Falla	Status usuario
176908	112008	19/05/2009	08:00:00	No preserva la seguridad del medio ambiente y del equipo bajo condiciones normales y de falla.	Baja presión de aceite hidráulico por fugas internas de aceite entre los sistemas de alta y baja presión.	MONT
177862	112261	22/06/2009	02:45:00	No preserva la seguridad del medio ambiente y del equipo bajo condiciones normales y de falla.	Baja presión de aceite hidráulico por fugas internas de aceite entre los sistemas de alta y baja presión.	MONT
182420	112216	26/08/2009	16:45:00	El interruptor no cierra (el tiempo de cierre esta por fuera de la especificación de funcionamiento, algunas fases o las tres fases)	Baja presión de aceite por obstrucción en las válvulas por contaminación del aceite hidráulico. (filtro sucio)	MONT
185317	201555	19/10/2009	13:45:00	El interruptor no cierra (el tiempo de cierre esta por fuera de la especificación de funcionamiento, algunas fases o las tres fases)	Cableado suelto	MONT
188090	112008	09/12/2009	14:30:00	No preserva la seguridad del medio ambiente y del equipo bajo condiciones normales y de falla.	Baja presión de aceite hidráulico por fugas internas de aceite entre los sistemas de alta y baja presión.	MONT

Tabla 4.9: Histórico de falla equipos AAA

Se quiere preservar la función de cada uno de los equipos bajo estudio, por lo que se tendrá en cuenta todo el historial de fallas extraído de la base de datos.

4.8.8.3. Identificación de los Tiempos de Censura

Como estos equipos fueron puestos en servicio desde nuevos, y desde entonces se ha llevado un registro riguroso de sus fallas, no es necesario hacer censura a izquierda o a intervalo. Como todos los equipos aún se encuentran en funcionamiento, es decir, no se ha dado de baja ninguno tampoco es necesario hacer censura a derecha.

4.8.8.4. Cálculo en número de días de la edad de funcionamiento del equipo cuando falló

En la Figura 4.10, se muestra el resultado del cálculo en número de días de la aparición de cada una de las fallas que sufrieron los equipos y el cálculo del día que se realizó el corte del estudio.

EQUIPO	TIEMPO(Días)	STATUS	EQUIPO	TIEMPO(Días)	STATUS	EQUIPO	TIEMPO(Días)	STATUS
109097	0	Start	111950	0	Start	112268	1924	Fail
109097	4829	Fail	111950	1869	Fail	112268	2031	Fail
109097	6312	End	111950	2469	Fail	112268	2155	Fail
109377	0	Start	111950	2470	Fail	112268	2318	Fail
109377	5906	Fail	111950	6312	End	112268	2405	Fail
109377	3196	Fail	112008	0	Start	112268	2749	Fail
109377	3291	Fail	112008	6186	Fail	112268	2863	Fail
109377	3745	Fail	112008	5982	Fail	112268	3921	Fail
109377	3756	Fail	112008	6312	End	112268	4230	Fail
109377	3924	Fail	112021	0	Start	112268	4323	Fail
109377	4114	Fail	112021	2374	Fail	112268	4404	Fail
109377	4269	Fail	112021	2374	Fail	112268	4477	Fail
109377	4269	Fail	112021	2778	Fail	112268	4562	Fail
109377	4522	Fail	112021	2951	Fail	112268	4659	Fail
109377	4863	Fail	112021	5948	Fail	112268	4752	Fail
109377	6312	End	112021	6312	End	112268	4927	Fail
109426	0	Start	112216	0	Start	112268	5016	Fail
109426	4738	Fail	112216	3980	Fail	112268	5095	Fail
109426	4947	Fail	112216	4188	Fail	112268	5970	End
109426	5957	Fail	112216	5171	Fail	201555	0	Start
109426	4531	Fail	112216	5171	Fail	201555	2959	Fail
109426	5044	Fail	112216	5195	Fail	201555	5955	Fail
109426	6312	End	112216	5739	Fail	201555	5955	Fail
111413	0	Start	112216	4575	Fail	201555	5956	Fail
111413	2078	Fail	112216	5196	Fail	201555	5958	Fail
111413	6312	End	112216	5970	End	201555	6135	Fail
111417	0	Start	112226	0	Start	201555	2342	Fail
111417	3357	Fail	112226	5970	End	201555	2488	Fail
111417	6312	End	112261	0	Start	201555	3393	Fail
111421	0	Start	112261	5212	Fail	201555	5955	Fail
111421	2166	Fail	112261	4583	Fail	201555	6312	End
111421	2169	Fail	112261	5682	Fail			
111421	2498	Fail	112261	5978	End			
111421	3253	Fail	112268	0	Start			
111421	5290	Fail	112268	1924	Fail			
111421	5681	Fail	112268	2323	Fail			
111421	2520	Fail	112268	5075	Fail			
111421	4568	Fail	112268	5097	Fail			
111421	6312	End	112268	1924	Fail			

Tabla 4.10: Cálculo en número de días de la edad del equipo cuando falló, equipos AAA

4.8.8.5. Estimación de parámetros

Weibull

En la Figura 4.6 se observa un gráfico de los datos de falla y la ecuación que linealiza los datos de los equipos AAA.

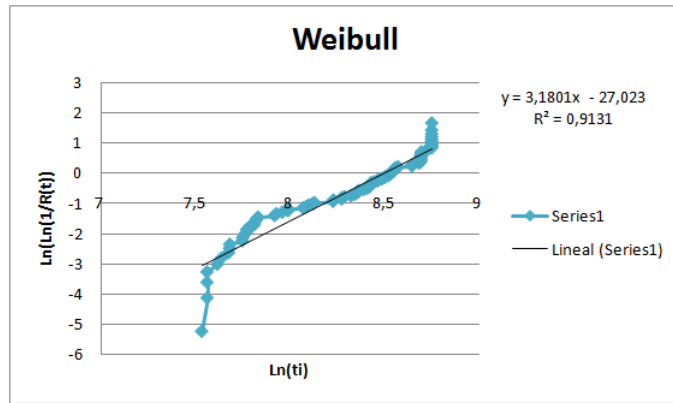


Figura 4.6: Linealización Weibull

$$y = 3,1801x - 27,023$$

$$\beta = 3,1801$$

$$\eta = e^{\left(\frac{27,023}{3,1801}\right)} = 4902,65$$

Power Law

$k = 13$ Equipos bajo estudio.

$S_q = [0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0]$ Es cero para todos los equipos, porque fueron puestos en servicio desde nuevos, y ese día se empezó a llevar un control de fallas.

$T_q = [6312\ 6312\ 6312\ 6312\ 6312\ 6312\ 6312\ 6312\ 6312\ 5970\ 5970\ 5978\ 5970]$ Son diferentes tiempos porque algunos equipos fueron puestos en servicio antes que otros.

$N_q = [1\ 11\ 5\ 1\ 1\ 8\ 3\ 2\ 5\ 8\ 3\ 23\ 10]$ Número de fallas por equipo.

$X_{i,q}$ = Día en que falló cada equipo.

$$\sum_{q=1}^k \sum_{q=1}^N Ln(X_{i,q}) = 668,2102233.$$

$$\sum_{q=1}^k N_q = 81.$$

Iterando en Matlab la formula 4.18.

$$\beta = \frac{\sum_{q=1}^k N_q}{\lambda \sum_{q=1}^k \left[T_q^\beta \ln(T_q) - S_q^\beta \ln(S_q) \right] - \sum_{q=1}^k \sum_{i=1}^N \ln(X_{i,q})} \quad (4.18)$$

$$\lambda = \frac{\sum_{q=1}^k N_q}{\sum_{q=1}^k \left[T_q^\beta - S_q^\beta \right]} \quad (4.19)$$

$$\eta = \frac{\sum_{q=1}^k \left[T_q - S_q \right]}{\sum_{q=1}^k N_q^{\frac{1}{\beta}}} \quad (4.20)$$

Se obtienen los siguientes resultados de cada iteración:

Iteración	Valor de β
1	2,0472
2	2,0449
3	2,0449
4	2,0449
5	2,0449
6	2,0449
7	2,0449
8	2,0449
9	2,0449
10	2,0449

Por lo que se deduce los siguientes resultado de los parámetros:

$$\eta = 2548,7$$

$$\beta = 2,0449$$

El código empleado para estimar β y η se observa en la Figura 4.7.

```

clear all
clc
Tq=[6312 6312 6312 6312 6312 6312 6312 6312 6312 5970 5978 5970 6312 ];
Sq=[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 ]; %Tiempo inicial de observación
ss=668.2102233; %Suma de logaritmo natural de la falla
beta=1; %Valor inicial de beta
Nq=81; %Total de fallas
h=13; %Total de equipos

for k=1:10
    beta;
    sqbeta=Sq.^beta;
    Tqbeta=Tq.^beta;
    tqbmesqb=Tqbeta-sqbeta;
    sumatqbmescb=sum(tqbmesqb);
    lamda=Nq/sumatqbmescb;
    beta;
    suma=0;
    for m=1:h
        if Sq(m)==0
            suma=suma+(Tq(m).^beta).*log(Tq(m));
        else
            suma=suma+(Tq(m).^beta).*log(Tq(m))-(Sq(m).^beta).*log(Sq(m));
        end
    end
    suma=lamda*suma-ss;
    k
    beta=Nq/suma
end
beta;
lamda=Nq/(sum(Tq.^beta));
eta=(1/(lamda))^(1/beta)

```

Figura 4.7: Código en Matlab para estimar β

4.8.8.6. Reemplazo de parámetros en las funciones

Weibull

Reemplazando los parámetros estimados en las siguientes ecuaciones, se obtiene

$$R(t) = e^{\left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta\right]} \quad (4.21)$$

$$R(t) = e^{\left[-\left(\frac{t}{4902,65}\right)^{3,18}\right]} \quad (4.22)$$

$$F(t) = 1 - e\left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta\right] \quad (4.23)$$

$$F(t) = 1 - e\left[-\left(\frac{t}{4902,65}\right)^{3,18}\right] \quad (4.24)$$

Power Law

$$\lambda(t) = \frac{\beta t^{\beta-1}}{\eta} \quad (4.25)$$

$$\lambda(t) = \frac{2,0449t^{2,0449-1}}{2548,7} \quad (4.26)$$

$$P[N(t) = k] = \frac{1}{k!} \left[\frac{t^\beta}{\alpha}\right]^k * e^{-\frac{t^\beta}{\alpha}} \quad \text{para } k = 0, 1, 2, 3...(\text{fallas}) \quad (4.27)$$

$$P[N(t) = k] = \frac{1}{k!} \left[\frac{t^{2,0449}}{2548,7}\right]^k * e^{-\frac{t^{2,0449}}{2548,7}} \quad \text{para } k = 0, 1, 2, 3...(\text{fallas}) \quad (4.28)$$

$$P[N(t) \leq k] = \sum \frac{1}{i!} \left[\frac{t^\beta}{\eta}\right]^i * e^{-\frac{t^\beta}{\alpha}} \quad \text{para } i = 0, 1, 2, 3... \quad (4.29)$$

$$P[N(t) \leq k] = \sum \frac{1}{i!} \left[\frac{t^{2,0449}}{2548,7}\right]^i * e^{-\frac{t^{2,0449}}{2548,7}} \quad \text{para } i = 0, 1, 2, 3... \quad (4.30)$$

4.8.8.7. Resultados

Weibull:

En la Tabla 4.11, se puede observar el valor de la confiabilidad R(t) y probabilidad de falla F(t) año a año.

Año	Número de días	R(T)	F(t)
0	0	100%	0,000%
1	365	99,989%	0,011%
2	730	99,873%	0,127%
3	1095	99,473%	0,527%
4	1460	98,560%	1,440%
5	1825	96,875%	3,125%
6	2190	94,158%	5,842%
7	2555	90,178%	9,822%
8	2920	84,774%	15,226%
9	3285	77,901%	22,099%
10	3650	69,668%	30,332%
11	4015	60,352%	39,648%
12	4380	50,395%	49,605%
13	4745	40,353%	59,647%
14	5110	30,819%	69,181%
15	5475	22,325%	77,675%
16	5840	15,251%	84,749%
17	6205	9,765%	90,235%
18	6570	5,825%	94,175%
19	6935	3,216%	96,784%
20	7300	1,633%	98,367%
21	7665	0,757%	99,243%
22	8030	0,319%	99,681%
23	8395	0,121%	99,879%
24	8760	0,041%	99,959%
25	9125	0,012%	99,988%
26	9490	0,003%	99,997%
27	9855	0,001%	99,999%
28	10220	0,000%	100,000%
29	10585	0,000%	100,000%

Tabla 4.11: Valor de la confiabilidad y distribución acumulada de falla año a año

Este resultado se interpreta como la confiabilidad de la familia de equipos AAA. Durante los primeros años, se observa una confiabilidad alta, es decir, los equipos de esta familia han presentado una tasa de falla baja. Hacia el sexto año, el valor de la confiabilidad baja un poco, ésto sustentado en que en ese año varios equipos presentan fallas. Al llegar el doceavo año, la mitad de los equipos bajo estudio habrán presentado al menos una falla. A los 28, años todos los equipos habrán fallado al menos una vez. Se puede concluir que estos equipos presentan una tasa de falla baja durante los primeros años, por lo que se recomendaría su uso en comparación con otros que presentan una tasa de falla alta desde su puesta en servicio. En la gráfica 4.8, se puede observar el valor de la confiabilidad $R(t)$ y el de la función de la distribución acumulada de falla $F(t)$, graficado desde su puesta en servicio.

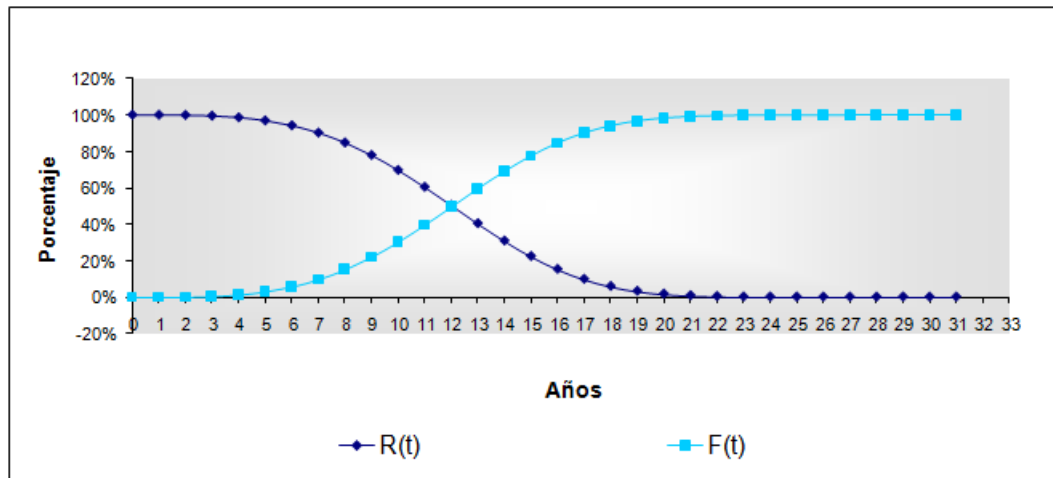


Figura 4.8: Gráfica de Confiability y distribución acumulada de falla

Power Law:

Reemplazando los parámetros estimados en las ecuaciones (4.26), (4.28) y (4.30), y reemplazando t para los próximos 10 años de servicio, se obtiene el número de fallas esperadas, la probabilidad de que ocurran k eventos y la probabilidad de que ocurran k o menos eventos, tal como se observa en las Figuras 4.12, 4.13 y 4.14.

Año	t1	t2	N° de fallas
2010	6312	6677	0,78
2011	6312	7042	1,60
2012	6312	7407	2,47
2013	6312	7772	3,39
2014	6312	8137	4,35
2015	6312	8502	5,36
2016	6312	8867	6,41
2017	6312	9232	7,51
2018	6312	9597	8,66
2019	6312	9962	9,86

Tabla 4.12: Tasa de falla esperada para los próximos años 10 años

k fallas	1 2010	2 2011	3 2012	4 2013	5 2014	6 2015	7 2016	8 2017	9 2018	10 2019
0	45,92%	20,14%	8,44%	3,38%	1,29%	0,47%	0,16%	0,05%	0,02%	0,01%
1	35,74%	32,27%	20,86%	11,44%	5,61%	2,52%	1,05%	0,41%	0,15%	0,05%
2	13,91%	25,86%	25,79%	19,38%	12,21%	6,78%	3,37%	1,54%	0,65%	0,25%
3	3,61%	13,81%	21,26%	21,89%	17,70%	12,07%	7,21%	3,88%	1,87%	0,84%
4	0,70%	5,53%	13,14%	18,54%	19,26%	16,17%	11,56%	7,24%	4,06%	2,06%
5	0,11%	1,77%	6,50%	12,57%	16,75%	17,33%	14,82%	10,89%	7,03%	4,06%
6	0,01%	0,47%	2,68%	7,10%	12,15%	15,48%	15,85%	13,63%	10,15%	6,88%
7	0,00%	0,11%	0,95%	3,44%	7,55%	11,85%	14,52%	14,63%	12,56%	9,40%
8	0,00%	0,02%	0,29%	1,46%	4,11%	7,94%	11,64%	13,75%	13,60%	11,58%
9	0,00%	0,00%	0,08%	0,55%	1,98%	4,73%	8,29%	11,48%	13,09%	12,88%
10	0,00%	0,00%	0,02%	0,19%	0,88%	2,53%	5,32%	8,62%	11,34%	12,50%
11	0,00%	0,00%	0,00%	0,06%	0,34%	1,23%	3,10%	5,89%	8,93%	11,20%
12	0,00%	0,00%	0,00%	0,02%	0,12%	0,55%	1,66%	3,69%	6,44%	9,20%
13	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,04%	0,23%	0,82%	2,13%	4,29%	6,97%
14	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%	0,09%	0,37%	1,14%	2,66%	4,91%
15	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,03%	0,16%	0,57%	1,53%	3,22%
16	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%	0,06%	0,27%	0,83%	1,99%
17	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,02%	0,12%	0,42%	1,15%
18	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%	0,05%	0,20%	0,63%
19	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,02%	0,09%	0,33%
20	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%	0,04%	0,16%
21	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,02%	0,08%
22	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%	0,03%
23	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%
24	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%
25	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
26	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
27	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
28	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
29	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
30	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%

Tabla 4.13: Probabilidad de que ocurran k eventos

Este resultado se interpreta como la probabilidad de falla acumulada de que ocurran k fallas en un tiempo acumulado. Y se entenderá de la siguiente forma: para el año 2010 cada uno de los equipos bajo estudio tiene una probabilidad del 45,92 % de que no ocurran fallas, que es la mayor probabilidad entre k fallas. Para el 2011, hay una probabilidad del 32,27 % de que sufra una falla cada uno de los equipos, para el 2012 hay una probabilidad del 25,79 % de que cada uno de los equipos tenga acumuladas dos fallas; es decir, el equipo puede sufrir una falla en el 2011 y otra en el 2012; pero si esto no ocurre, las dos podrían presentarse en el 2012, y así sucesivamente para los siguientes años.

k fallas	1 2010	2 2011	3 2012	4 2013	5 2014	6 2015	7 2016	8 2017	9 2018	10 2019
0	45,92%	20,14%	8,44%	3,38%	1,29%	0,47%	0,16%	0,05%	0,02%	0,01%
1	35,74%	32,27%	20,85%	11,44%	5,61%	2,52%	1,05%	0,15%	0,05%	0,05%
2	49,65%	58,13%	48,65%	30,82%	17,82%	9,28%	4,42%	1,95%	0,80%	0,31%
3	53,26%	71,94%	67,91%	52,71%	35,52%	21,35%	11,63%	5,80%	2,67%	1,14%
4	53,96%	77,48%	81,04%	71,26%	54,78%	37,52%	23,19%	13,05%	6,73%	3,21%
5	54,07%	79,25%	87,54%	83,82%	71,53%	54,85%	38,01%	23,93%	13,77%	7,27%
6	54,08%	79,73%	90,22%	90,92%	83,88%	70,34%	53,86%	37,57%	23,92%	13,95%
7	54,08%	79,82%	91,15%	94,35%	91,23%	82,19%	63,37%	52,20%	36,44%	23,35%
8	54,08%	79,86%	91,46%	95,81%	95,34%	90,12%	80,01%	65,95%	50,08%	34,53%
9	54,08%	79,86%	91,54%	96,36%	97,32%	94,85%	88,31%	77,42%	63,17%	47,61%
10	54,08%	79,86%	91,56%	96,55%	98,19%	97,38%	93,62%	86,05%	74,51%	60,11%
11	54,08%	79,86%	91,56%	96,60%	98,53%	98,62%	96,73%	91,94%	83,44%	71,30%
12	54,08%	79,86%	91,56%	96,62%	98,85%	99,17%	98,38%	95,63%	89,88%	80,50%
13	54,08%	79,86%	91,56%	96,62%	98,89%	99,40%	99,20%	97,76%	94,13%	87,47%
14	54,08%	79,86%	91,56%	96,62%	98,70%	99,48%	99,57%	98,90%	96,83%	92,38%
15	54,08%	79,86%	91,56%	96,62%	98,71%	99,51%	99,73%	99,48%	98,37%	95,60%
16	54,08%	79,86%	91,56%	96,62%	98,71%	99,52%	99,80%	99,75%	99,20%	97,59%
17	54,08%	79,86%	91,56%	96,62%	98,71%	99,53%	99,82%	99,86%	99,62%	98,74%
18	54,08%	79,86%	91,56%	96,62%	98,71%	99,53%	99,83%	99,91%	99,82%	99,37%
19	54,08%	79,86%	91,56%	96,62%	98,71%	99,53%	99,83%	99,83%	99,83%	99,82%
20	54,08%	79,86%	91,56%	96,62%	98,71%	99,53%	99,84%	99,94%	99,96%	99,86%
21	54,08%	79,86%	91,56%	96,62%	98,71%	99,53%	99,84%	99,94%	99,97%	99,94%
22	54,08%	79,86%	91,56%	96,62%	98,71%	99,53%	99,84%	99,95%	99,98%	99,97%
23	54,08%	79,86%	91,56%	96,62%	98,71%	99,53%	99,84%	99,95%	99,99%	99,99%
24	54,08%	79,86%	91,56%	96,62%	98,71%	99,53%	99,84%	99,95%	99,99%	99,99%
25	54,08%	79,86%	91,56%	96,62%	98,71%	99,53%	99,84%	99,95%	99,98%	99,98%
26	54,08%	79,86%	91,56%	96,62%	98,71%	99,53%	99,84%	99,95%	99,98%	99,98%
27	54,08%	79,86%	91,56%	96,62%	98,71%	99,53%	99,84%	99,95%	99,98%	99,98%
28	54,08%	79,86%	91,56%	96,62%	98,71%	99,53%	99,84%	99,95%	99,98%	99,98%
29	54,08%	79,86%	91,56%	96,62%	98,71%	99,53%	99,84%	99,95%	99,98%	99,98%
30	54,08%	79,86%	91,56%	96,62%	98,71%	99,53%	99,84%	99,95%	99,98%	99,98%
31	54,08%	79,86%	91,56%	96,62%	98,71%	99,53%	99,84%	99,95%	99,98%	99,98%
32	54,08%	79,86%	91,56%	96,62%	98,71%	99,53%	99,84%	99,95%	99,98%	99,98%
33	54,08%	79,86%	91,56%	96,62%	98,71%	99,53%	99,84%	99,95%	99,98%	99,98%
34	54,08%	79,86%	91,56%	96,62%	98,71%	99,53%	99,84%	99,95%	99,98%	99,98%
35	54,08%	79,86%	91,56%	96,62%	98,71%	99,53%	99,84%	99,95%	99,98%	99,98%
36	54,08%	79,86%	91,56%	96,62%	98,71%	99,53%	99,84%	99,95%	99,98%	99,98%
37	54,08%	79,86%	91,56%	96,62%	98,71%	99,53%	99,84%	99,95%	99,98%	99,98%
38	54,08%	79,86%	91,56%	96,62%	98,71%	99,53%	99,84%	99,95%	99,98%	99,98%
39	54,08%	79,86%	91,56%	96,62%	98,71%	99,53%	99,84%	99,95%	99,98%	99,98%
40	54,08%	79,86%	91,56%	96,62%	98,71%	99,53%	99,84%	99,95%	99,98%	99,98%
41	54,08%	79,86%	91,56%	96,62%	98,71%	99,53%	99,84%	99,95%	99,98%	99,98%
42	54,08%	79,86%	91,56%	96,62%	98,71%	99,53%	99,84%	99,95%	99,98%	99,98%
43	54,08%	79,86%	91,56%	96,62%	98,71%	99,53%	99,84%	99,95%	99,98%	99,98%
44	54,08%	79,86%	91,56%	96,62%	98,71%	99,53%	99,84%	99,95%	99,98%	99,98%
45	54,08%	79,86%	91,56%	96,62%	98,71%	99,53%	99,84%	99,95%	99,98%	99,98%
46	54,08%	79,86%	91,56%	96,62%	98,71%	99,53%	99,84%	99,95%	99,98%	99,98%
47	54,08%	79,86%	91,56%	96,62%	98,71%	99,53%	99,84%	99,95%	99,98%	99,98%
48	54,08%	79,86%	91,56%	96,62%	98,71%	99,53%	99,84%	99,95%	99,98%	99,98%
49	54,08%	79,86%	91,56%	96,62%	98,71%	99,53%	99,84%	99,95%	99,98%	99,98%
50	54,08%	79,86%	91,56%	96,62%	98,71%	99,53%	99,84%	99,95%	99,98%	99,98%
51	54,08%	79,86%	91,56%	96,62%	98,71%	99,53%	99,84%	99,95%	99,98%	99,98%
52	54,08%	79,86%	91,56%	96,62%	98,71%	99,53%	99,84%	99,95%	99,98%	99,98%
53	54,08%	79,86%	91,56%	96,62%	98,71%	99,53%	99,84%	99,95%	99,98%	99,98%
54	54,08%	79,86%	91,56%	96,62%	98,71%	99,53%	99,84%	99,95%	99,98%	99,98%
55	54,08%	79,86%	91,56%	96,62%	98,71%	99,53%	99,84%	99,95%	99,98%	99,98%
56	54,08%	79,86%	91,56%	96,62%	98,71%	99,53%	99,84%	99,95%	99,98%	99,98%
57	54,08%	79,86%	91,56%	96,62%	98,71%	99,53%	99,84%	99,95%	99,98%	99,98%
58	54,08%	79,86%	91,56%	96,62%	98,71%	99,53%	99,84%	99,95%	99,98%	99,98%
59	54,08%	79,86%	91,56%	96,62%	98,71%	99,53%	99,84%	99,95%	99,98%	99,98%
60	54,08%	79,86%	91,56%	96,62%	98,71%	99,53%	99,84%	99,95%	99,98%	99,98%
61	54,08%	79,86%	91,56%	96,62%	98,71%	99,53%	99,84%	99,95%	99,98%	99,98%
62	54,08%	79,86%	91,56%	96,62%	98,71%	99,53%	99,84%	99,95%	99,98%	99,98%
63	54,08%	79,86%	91,56%	96,62%	98,71%	99,53%	99,84%	99,95%	99,98%	99,98%
64	54,08%	79,86%	91,56%	96,62%	98,71%	99,53%	99,84%	99,95%	99,98%	99,98%
65	54,08%	79,86%	91,56%	96,62%	98,71%	99,53%	99,84%	99,95%	99,98%	99,98%
66	54,08%	79,86%	91,56%	96,62%	98,71%	99,53%	99,84%	99,95%	99,98%	99,98%
67	54,08%	79,86%	91,56%	96,62%	98,71%	99,53%	99,84%	99,95%	99,98%	99,98%
68	54,08%	79,86%	91,56%	96,62%	98,71%	99,53%	99,84%	99,95%	99,98%	99,98%
69	54,08%	79,86%	91,56%	96,62%	98,71%	99,53%	99,84%	99,95%	99,98%	99,98%
70	54,08%	79,86%	91,56%	96,62%	98,71%	99,53%	99,84%	99,95%	99,98%	99,98%
71	54,08%	79,86%	91,56%	96,62%	98,71%	99,53%	99,84%	99,95%	99,98%	99,98%
72	54,08%	79,86%	91,56%	96,62%	98,71%	99,53%	99,84%	99,95%	99,98%	99,98%
73	54,08%	79,86%	91,56%	96,62%	98,71%	99,53%	99,84%	99,95%	99,98%	99,98%
74	54,08%	79,86%	91,56%	96,62%	98,71%	99,53%	99,84%	99,95%	99,98%	99,98%
75	54,08%	79,86%	91,56%	96,62%	98,71%	99,53%	99,84%	99,95%	99,98%	99,98%
76	54,08%	79,86%	91,56%	96,62%	98,71%	99,53%	99,84%	99,95%	99,98%	99,98%
77	54,08%	79,86%	91,56%	96,62%	98,71%	99,53%	99,84%	99,95%	99,98%	99,98%
78	54,08%	79,86%	91,56%	96,62%	98,71%	99,53%	99,84%	99,95%	99,98%	99,98%
79	54,08%	79,86%	91,56%	96,62%	98,71%	99,53%	99,84%	99,95%	99,98%	99,98%
80	54,08%	79,86%	91,56%	96,62%	98,71%	99,53%	99,84%	99,95%	99,98%	99,98%
81	54,08%	79,86%	91,56%	96,62%	98,71%	99,53%	99,84%	99,95%	99,98%	99,98%
82	54,08%	79,86%	91,56%	96,62%	98,71%	99,53%	99,84%	99,95%	99,98%	99,98%
83	54,08%	79,86%	91,56%	96,62%	98,71%	99,53%	99,84%	99,95%	99,98%	99,98%
84	54,08%	79,86%	91,56%	96,62%	98,71%	99,53%	99,84%	99,95%	99,98%	99,98%
85	54,08%	79,86%	91,56%	96,62%	98,71%	99,53%	99,84%	99,95%	99,98%	99,98%
86	54,08%	79,86%	91,56%	96,62%	98,71%	99,53%	99,84%	99,95%	99,98%	99,98%
87	54,08%	79,86%	91,56%	96,62%	98,71%	99,53%	99,84%	99,95%	99,98%	99,98%
88	54,08%	79,86%	91,56%	96,62%	98,71%	99,53%	99,84%	99,95%	99,98%	99,98%
89	54,08%	79,86%	91,56%	96,62%	98,71%	99,53%	99,84%	99,95%	99,98%	99,98%
90	54,08%	79,86%	91,56%	96,62%	98,71%	99,53%	99,84%	99,95%	99,98%	99,98%
91	54,08%	79,86%	91,56%	96,62%	98,71%	99,53%	99,84%	99,95%	99,98%	99,98%
92	54,08%	79,86%	91,56%	96,62%	98,71%	99,53%	99,84%	99,95%	99,98%	99,98%
93	54,08%	79,86%	91,56%	96,62%	98,71%	99,53%	99,84%	99,95%	99,98%	99,98%
94	54,08%	79,86%	91,56%	96,62%	98,71%	99,53%	99,84%	99,95%	99,98%	99,98%
95	54,08%	79,86%	91,56%	96,62%	98,71%	99,53%	99,84%	99,95%	99,98%	99,98%
96	54,08%	79,86%	91,56%	96,62%	98,71%	99,53%	99,84%	99,95%	99,98%	99,98%
97	54,08%	79,86%	91,56%	96,62%	98,71%	99,53%	99,84%	99,95%	99,98%	99,98%
98	54,08%	79,86%	91,56%	96,62%	98,71%	99,53%	99,84%	99,95%	99,98%	99,98%
99	54,08%	79,86%	91,56%	96,62%	98,71%	99,53%	99,84%	99,95%	99,98%	99,98%
100	54,08%	79,86%	91,56%	96,62%	98,71%	99,53%	99,84%	99,95%	99,98%	99,98%

Tabla 4.14: Probabilidad de que ocurran k o menos eventos

Este resultado se interpreta como la probabilidad de falla acumulada de que ocurran k o menos fallas, en un intervalo de tiempo acumulado sin tener en cuenta la probabilidad de cero fallas. Y se entenderá de la siguiente forma, teniendo en cuenta el número de fallas esperadas: para el

2010, se espera que no ocurran fallas; para el 2011, se espera que ocurra una falla; para el 2012, se espera que cada uno de los equipos bajo estudio tenga acumuladas dos o menos fallas con una probabilidad del 46,65 %.

4.9. Uso de Herramientas Computacionales

El desarrollo creciente de la tecnología computacional ha impactado, cada vez con mayor fuerza, en el quehacer de las diversas disciplinas científicas, lo que permite, en este caso, la realización de un diseño y ajuste a una base de datos en Microsoft Access, *RCM II*; un aplicativo Microsoft Excel “*Confiabilidad*” y la utilización de un paquete estadístico, *S-PLUS* para dar mayor agilidad al manejo de la información, realización de cálculos estadísticos, obtención de resultados, estimación de parámetros, todo ello dirigido a la obtención del cálculo de confiabilidad. En la Figura 4.9, se puede observar la relación existente entre las diferentes herramientas.

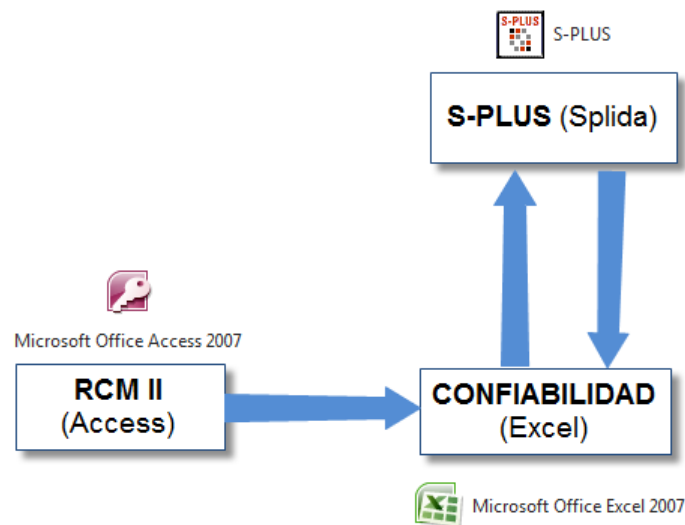


Figura 4.9: Relación entre herramientas
Fuente: Autora del proyecto

4.9.1. Base de datos

Como base de datos, la referencia será la herramienta elaborada en el proyecto de grado “Metodología RCM aplicada a transformadores de potencia” realizada por Lyda Marisel Torres Álvarez y dirigida por Hermann Raúl Vargas Torres, llamada *RCM II*, que se complementó para

que funcionara como base de datos en este proyecto. En la Figura 4.10, se puede observar un diagrama conceptual de la herramienta *RCM II*.

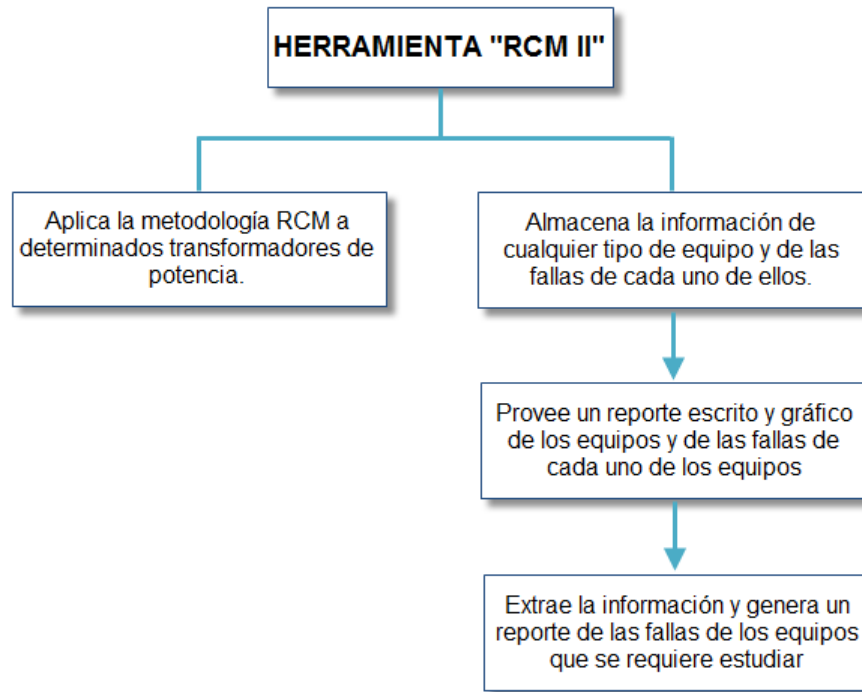


Figura 4.10: Herramienta *RCM II* complementada
Fuente: Autora del proyecto

Dentro de esta herramienta, se creó un módulo llamado "Cálculo de Confiabilidad", donde se puede registrar la información de los equipos, la información de las fallas y también se puede realizar la escogencia de los equipos que se desee estudiar. En la Figura 4.11, se puede observar el módulo de confiabilidad creado en la herramienta *RCM II*.



Figura 4.11: Módulo “Cálculo de Confiabilidad”

Fuente: Autora del proyecto

4.9.2. Estimador de parámetros

Para estimar los parámetros se emplea la herramienta S-PLUS, la cual tiene licencia académica gratuita durante un año. Éste es un programa de uso estadístico en el cual se desarrolló una librería llamada SPLIDA (SPlus Life Data Analysis), que trabaja en el área de confiabilidad con un conjunto de funciones y una interfaz gráfica para el análisis de datos. Estas funciones ofrecen capacidades básicas para ajustar algunos de los modelos (físicos o empíricos) apropiados para los datos de confiabilidad más comunes. El S-PLUS estima los valores de η y β empleados en las funciones de Power Law y Weibull (Meeker, 1998).

4.9.3. Procesador de datos

Para procesar los datos, se elaboró un aplicativo llamado *Confiabilidad*, que tiene la capacidad de consultar la base de datos *RCM II* y extraer la información de los equipos que se requieren estudiar así como de preparar un archivo para que sea ingresado en *S-PLUS* para estimar los parámetros. Una vez estimados los parámetros, éstos se ingresan en el aplicativo de *Confiabilidad* y se reemplazan estos valores en las diferentes ecuaciones, que agiliza de este modo la elaboración de los cálculos. En la Figura 4.12 se puede observar las funciones del aplicativo *Confiabilidad*.

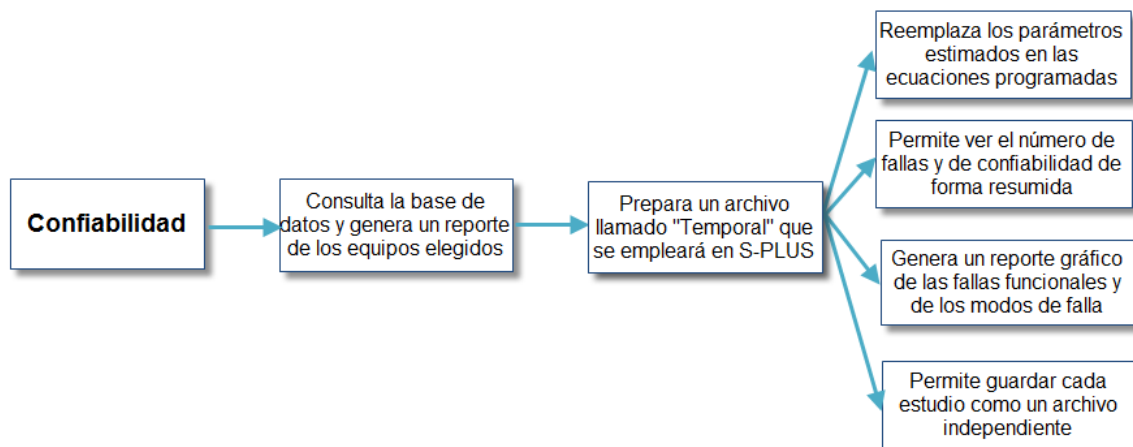


Figura 4.12: Aplicativo “Confiabilidad”

Fuente: Autora del Proyecto

4.10. Descripción del trabajo con las herramientas informáticas

1. Cargar base de datos (Access): si se trata de un usuario nuevo de esta herramienta, se debe cargar los datos de cada uno de los equipos. A continuación, se pasa a cargar las fallas, ésta será la información que alimenta el estudio. Si la base de datos se encuentra actualizada, se pasa a cargar los datos desde Excel.
2. Cargar datos (Excel): en este punto se deben escoger los equipos a los cuales se le quiere realizar el cálculo de confiabilidad para que la herramienta los cargue desde Access.
3. Revisar datos (Excel): una vez traídos los datos de Access, se realiza una inspección de los datos para corroborar que cumple con las condiciones que se necesitan.
4. Cargar datos (S-plus): los datos traídos desde Access a Excel se deben cargar a S-plus el que será el encargado de modelar el comportamiento de falla de los equipos y obtener los parámetros η y β necesarios para el cálculo de confiabilidad.
5. Insertar datos de S-plus (Excel): obtenidos los valores de η y β mediante S-plus se ingresan en la herramienta para que realice los diferentes cálculos que fueron programados.
6. Analizar resultados(Excel): interpretar los resultados de los valores de confiabilidad y tasa de falla esperada.

Identificador de la falla	Identificación Equipo	Hora de inicio de falla	Fecha inicio de falla	Falla funcional	Modo de Falla	Status Usuario
34808	112268	10/07/2000	08:00:00	No preserva la seguridad del medio ambiente y del equipo bajo condiciones normales y de falla.	Baja presión de gas SF6 por fugas en empaquetaduras, juntas, porcelanas, tuberías y mangueras de conexión. Baja presión de gas SF6 por: Descalibración de manodensostatos que muestra baja presión de gas SF6 en forma errónea.	MONT
38161	112021	10/08/2000	14:00:00	No preserva la seguridad del medio ambiente y del equipo bajo condiciones normales y de falla.	Baja presión de aceite hidráulico por falla en rodamientos. Motor/Bomba del sistema hidráulico	MONT
40227	112021	30/01/2001	14:00:00	No preserva la seguridad del medio ambiente y del equipo bajo condiciones normales y de falla.	Baja presión de aceite hidráulico por fugas internas de aceite entre los sistemas de alta y baja presión.	MONT
40922	201555	07/02/2001	08:00:00	El interruptor no cierra (el tiempo de cierre esta por fuera de la especificación de funcionamiento, algunas fases o las tres fases)	No abre interruptor por bobina abierta o cortocircuitada para operación de las válvulas.	MONT
45410	112268	19/06/2001	08:30:00	No preserva la seguridad del medio ambiente y del equipo bajo condiciones normales y de falla.	Baja presión de gas SF6 por fugas en empaquetaduras, juntas, porcelanas, tuberías y mangueras de conexión. Baja presión de gas SF6 por: Descalibración de manodensostatos que muestra baja presión de gas SF6 en forma errónea.	MONT
47928	109377	02/10/2001	13:00:00	No preserva la seguridad del medio ambiente y del equipo bajo condiciones normales y de falla.	Baja presión de gas SF6 por fugas en empaquetaduras, juntas, porcelanas, tuberías y mangueras de conexión. Baja presión de gas SF6 por: Descalibración de manodensostatos que muestra baja presión de gas SF6 en forma errónea.	MONT
47931	112268	11/10/2001	08:00:00	No preserva la seguridad del medio ambiente y del equipo bajo condiciones normales y de falla.	Baja presión de gas SF6 por fugas en empaquetaduras, juntas, porcelanas, tuberías y mangueras de conexión. Baja presión de gas SF6 por: Descalibración de manodensostatos que muestra baja presión de gas SF6 en forma errónea.	MONT
48734	111421	28/11/2001	08:00:00	El interruptor no cierra (el tiempo de cierre esta por fuera de la especificación de funcionamiento, algunas fases o las tres fases)	Cableado suelto	MONT
49981	109377	05/01/2002	18:02:00	No preserva la seguridad del medio ambiente y del equipo bajo condiciones normales y de falla.	Baja presión de gas SF6 por fugas en empaquetaduras, juntas, porcelanas, tuberías y mangueras de conexión. Baja presión de gas SF6 por: Descalibración de manodensostatos que muestra baja presión de gas SF6 en forma errónea.	MONT

Tabla 4.5: Histórico de falla equipos AAA

Capítulo 5

PROBLEMAS RESUELTOS UTILIZANDO LA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL

Este capítulo presenta los resultados de algunos ejemplos.

5.1. Subestaciones

5.1.1. Interruptores

- Se quiere analizar la familia de equipos conformada por los interruptores del fabricante BBB y referencia del equipo 3AQ.
- Consultando la base de datos se encontró que se cuenta con 15 de estos equipos.
- Se va a realizar el estudio con fecha de corte del estudio el 14 de Abril de 2010.

Dadas las anteriores condiciones, se extrae la información de fallas de la base de datos empleando el aplicativo *Confabilidad*, tal como se puede observar en las Tablas 5.1 y 5.2.

REFERENCIA DEL EQUIPO	FABRICANTE	FECHA DE PUESTA EN SERVICIO	FECHA DE INICIO DE LA FALLA	IDENTIFICADOR DEL EQUIPO	TIEMPO EN DIAS	STATUS	EDAD	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	# de días
3AQ	BBB	01/12/1993	06/07/2006	106559	4600	Fail	5978	No preserva la seguridad del medio ambiente, bajo condiciones normales y de falla.	Baja presión de aceite por: Fugas externas de Aceite Hidráulico	4600
3AQ	BBB	01/12/1993	03/11/2009	106559	5816	Fail	5978	No envía señales o las envía en forma errónea.	Indicación errónea del bloque de contactos auxiliares por: Deterioro de contactos auxiliares por envejecimiento normal. (Bloque de contactos auxiliares)	5816
3AQ	BBB	01/01/1993	06/07/2006	106585	4934	Fail	6312	No preserva la seguridad del medio ambiente, bajo condiciones normales y de falla.	Baja presión de aceite por: Fugas externas de Aceite Hidráulico	4934
3AQ	BBB	01/12/1994	15/08/2003	117347	3179	Fail	5613	El interruptor no abre correctamente (El tiempo de apertura esta por fuera de la especificación de funcionamiento)	No se encontró la causa de este evento	3179
3AQ	BBB	01/12/1994	26/05/2001	117449	2368	Fail	5613	El interruptor no abre correctamente (El tiempo de apertura esta por fuera de la especificación de funcionamiento)	Bobina para la apertura no opera por: Bobina de apertura abierta o cortocircuitada	2368
3AQ	BBB	18/05/2000	08/03/2001	117475	294	Fail	3618	El interruptor no abre correctamente (El tiempo de apertura esta por fuera de la especificación de funcionamiento)	Se resetea en el selector con llave la discrepancia de polos	294
3AQ	BBB	14/09/1999	28/03/2005	123174	2022	Fail	3865	No preserva la seguridad del medio ambiente, bajo condiciones normales y de falla.	Baja presión de gas SF6 por: Fugas de gas SF6 por empaquetaduras, juntas, porcelanas, tuberías, racores.	2022
3AQ	BBB	14/09/1999	19/11/2005	123174	2258	Fail	3865	No preserva la seguridad del medio ambiente, bajo condiciones normales y de falla.	Baja presión de gas SF6 por: Fugas de gas SF6 por empaquetaduras, juntas, porcelanas, tuberías, racores.	2258
3AQ	BBB	14/09/1999	01/03/2006	123174	2360	Fail	3865	No preserva la seguridad del medio ambiente, bajo condiciones normales y de falla.	Baja presión de gas SF6 por: Fugas de gas SF6 por empaquetaduras, juntas, porcelanas, tuberías, racores.	2360

Tabla 5.1: Información de fallas Interruptores BBB 3AQ

REFERENCIA DEL EQUIPO	FABRICANTE	FECHA DE PUESTA EN SERVICIO	FECHA DE INICIO DE LA FALLA	IDENTIFICADOR DEL EQUIPO	TIEMPO EN DIAS	STATUS	EDAD	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	# de dias
3AQ	BBB	14/09/1999	28/03/2006	123174	2387	Fail	3865	No preserva la seguridad del medio ambiente, bajo condiciones normales y de falla.	Baja presión de gas SF6 por: Fugas de gas SF6 por empaquetaduras, juntas, porcelanas, tuberías, racores.	2387
3AQ	BBB	14/09/1999	27/06/2007	123174	2843	Fail	3865	No preserva la seguridad del medio ambiente, bajo condiciones normales y de falla.	Baja presión de aceite por: Fugas externas de Aceite Hidráulico	2843
3AQ	BBB	14/09/1999	08/02/2004	123175	1608	Fail	3865	El interruptor no abre correctamente (El tiempo de apertura esta por fuera de la especificación de funcionamiento)	Bobina para la apertura no opera por: Bobina de apertura abierta o cortocircuitada	1608
3AQ	BBB	14/09/1999	08/02/2004	123175	1608	Fail	3865	El interruptor no abre correctamente (El tiempo de apertura esta por fuera de la especificación de funcionamiento)	Bobina para la apertura no opera por: Bobina de apertura abierta o cortocircuitada	1608
3AQ	BBB	01/12/1993	19/01/1999	200948	1875	Fail	5978	El interruptor no abre correctamente (El tiempo de apertura esta por fuera de la especificación de funcionamiento)	Bobina para la apertura no opera por: Bobina de apertura abierta o cortocircuitada	1875
3AQ	BBB	01/12/1993	06/07/2006	200963	4600	Fail	5978	No preserva la seguridad del medio ambiente, bajo condiciones normales y de falla.	Baja presión de aceite por: Fugas externas de Aceite Hidráulico	4600
3AQ	BBB	01/12/1993	06/07/2006	200963	4600	Fail	5978	No preserva la seguridad del medio ambiente, bajo condiciones normales y de falla.	Baja presión de aceite por: Fugas externas de Aceite Hidráulico	4600
3AQ	BBB	01/12/1993	06/07/2006	200978	4600	Fail	5978	No preserva la seguridad del medio ambiente, bajo condiciones normales y de falla.	Baja presión de aceite por: Fugas externas de Aceite Hidráulico	4600
3AQ	BBB	01/12/1993	06/07/2006	200978	4600	Fail	5978	No preserva la seguridad del medio ambiente, bajo condiciones normales y de falla.	Baja presión de aceite por: Fugas externas de Aceite Hidráulico	4600
3AQ	BBB	01/01/1993	06/07/2006	200993	4934	Fail	6312	No preserva la seguridad del medio ambiente, bajo condiciones normales y de falla.	Baja presión de aceite por: Fugas externas de Aceite Hidráulico	4934

Tabla 5.2: Información de fallas Interruptores BBB 3AQ

De acuerdo con la información de fallas, se encuentran reportadas 19 fallas para esta familia, en estudio en la base de datos.

- Con esta información, se obtiene la Figura 5.1, de fallas funcionales, que muestra cada una de las fallas ocurridas en esta familia en estudio y el número de veces.

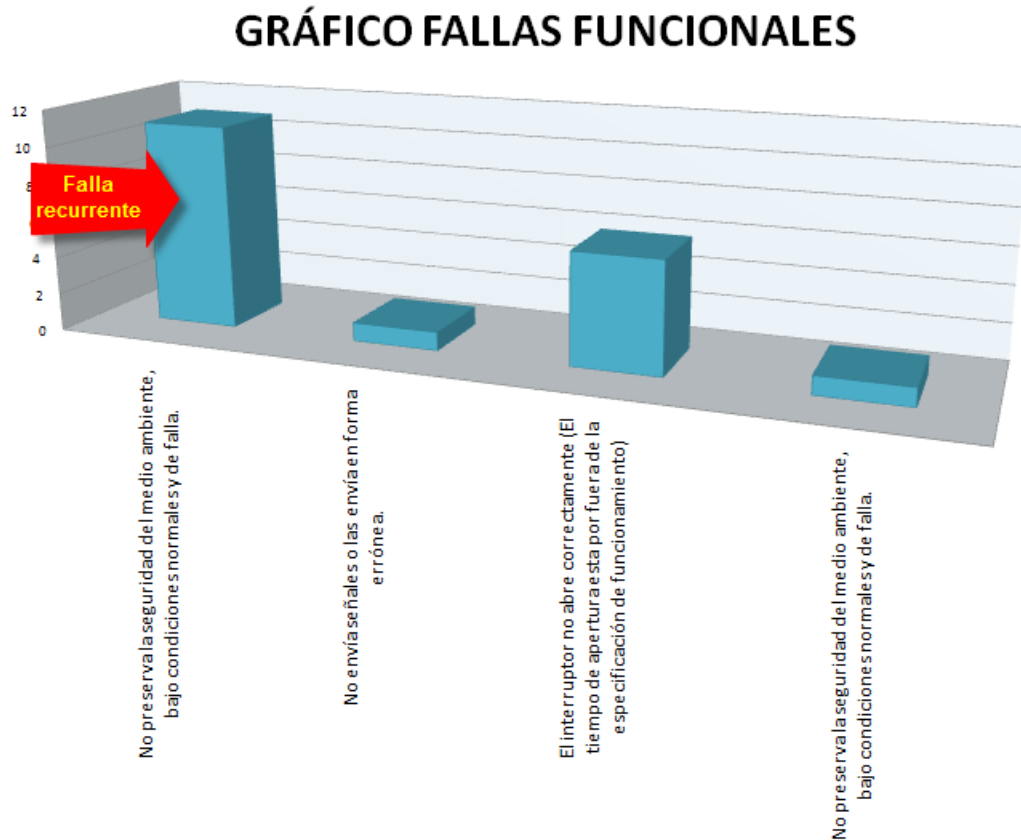


Figura 5.1: Gráfico de fallas interruptores BBB 3AQ

Se concluye que la falla funcional más recurrente entre estos equipos es: “No preserva la seguridad del medio ambiente, bajo condiciones normales de falla”, que evidencia 10 fallas de este tipo en esta familia de equipos, desde su fecha de puesta en servicio hasta la fecha de corte del estudio.

- De la información de fallas, se obtiene la Figura 5.2 de modos de fallas, que muestra cada uno de los modos de falla ocurridos en esta familia en estudio y el porcentaje de ocurrencia.

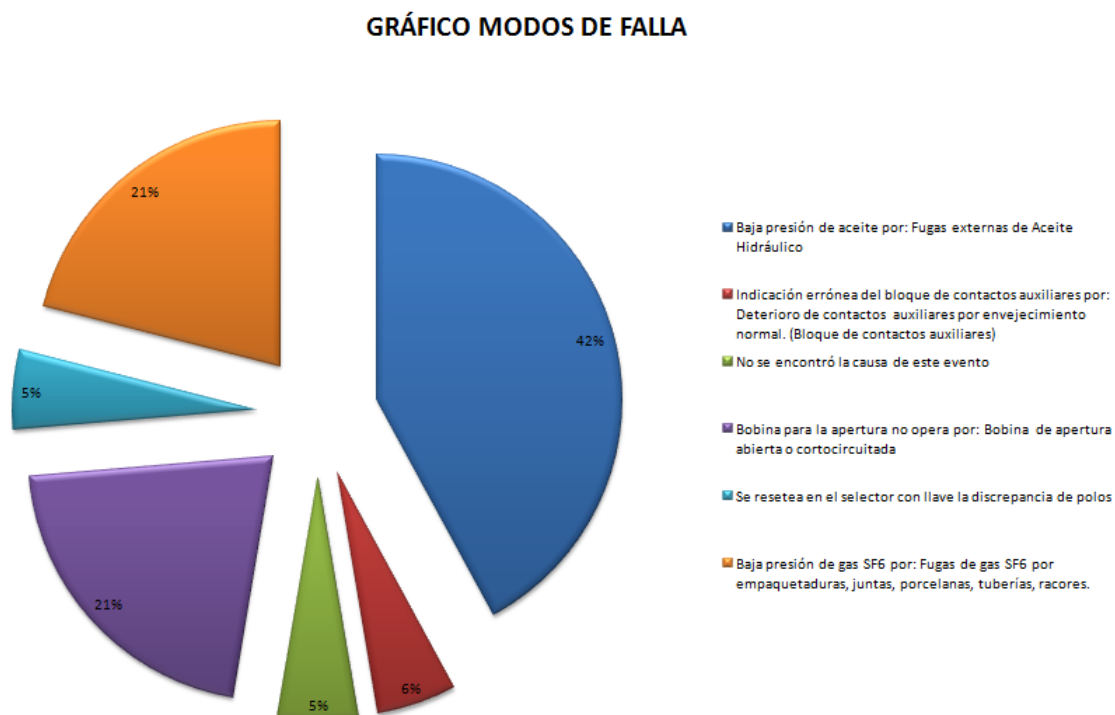


Figura 5.2: Gráfico de modos de fallas interruptores BBB 3AQ

Se concluye que el modo de falla más recurrente entre estos equipos es: “Baja presión de aceite por: Fugas de aceite hidráulico”, siguiéndolo “Baja presión de gas SF6 por: Fugas de gas SF6 por empaquetaduras, juntas, porcelanas, tuberías, racores” y “Indicación errónea del bloque de contactos auxiliares por: Deterioro de contactos auxiliares por envejecimiento normal. (Bloque de contactos auxiliares)” .

- Una vez extraída la información de falla de la base de datos, se genera el archivo necesario para estimar los parámetros mediante el botón “Reparable” y “No reparable”.

- Se obtiene de S-PLUS el ajuste de los datos mediante Power Law, ver Figura 5.3 y mediante Weibull, ver Figura 5.5:

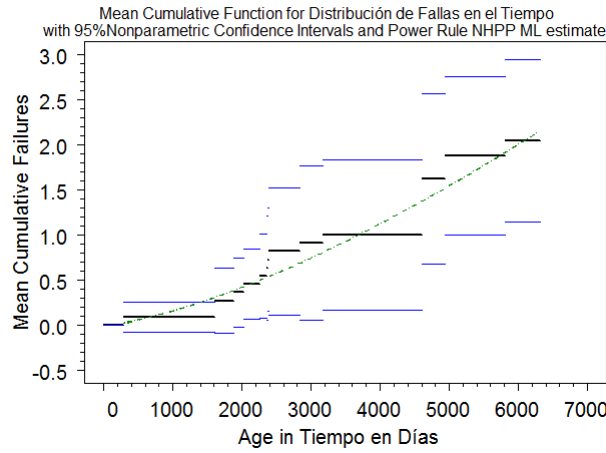


Figura 5.3: Modelado NHPP Power Law interruptores BBB 3AQ

Y el resultado numérico de los parámetros de η (eta) y β (beta) , ver resultado de Power Law Figura 5.4, ver resultado de Weibull Figura 5.6

	MLE	Std.Err.	95% Lower	95% Upper
η → eta	3692.202	681.4420	2356.6006	5027.80
β → beta	1.427	0.3178	0.8044	2.05

Figura 5.4: Parámetros estimados NHPP Power Law interruptores BBB 3AQ

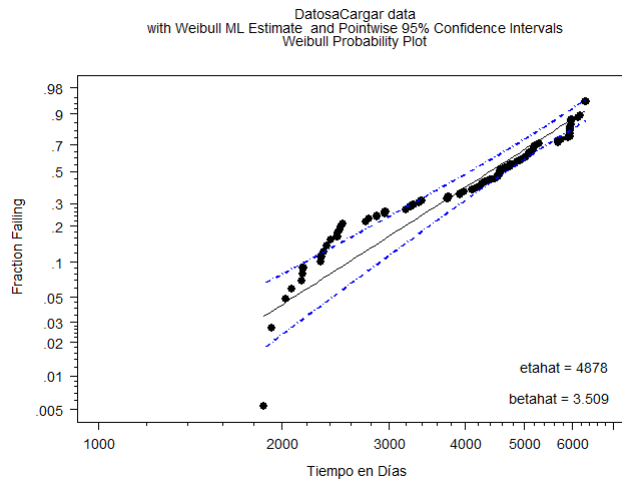


Figura 5.5: Modelado HPP Weibull Interruptores BBB 3AQ

Parameter	MLE	Std.Err.	Approx Conf. Interval	
			95% Lower	95% Upper
mu	8.4129	0.07436	8.2672	8.5587
sigma	0.3905	0.06050	0.2883	0.5291
η \rightarrow weibull.eta	4504.9814	334.97745	3894.0373	5211.7779
β \rightarrow weibull.beta	2.5606	0.39670	1.8901	3.4691

Figura 5.6: Parámetros estimados HPP Weibull interruptores BBB 3AQ

Reemplazando los parámetros se obtienen los siguientes resultados:

- En la Tabla 5.3, se puede observar los resultados del número de fallas esperadas para los próximos diez años y su probabilidad de ocurrencia asociada, y en la Figura 5.7, un gráfico de la misma:

Año	Número de fallas por equipo acumuladas	Probabilidad acumulada de ocurrencia por equipo
2010	0	83,57%
2011	0	69,54%
2012	0	57,63%
2013	0	47,56%
2014	0	39,11%
2015	1	36,47%
2016	1	35,07%
2017	1	32,92%
2018	1	30,29%
2019	1	27,44%

Tabla 5.3: Tasa de falla y probabilidad de ocurrencia asociada para interruptores BBB 3AQ

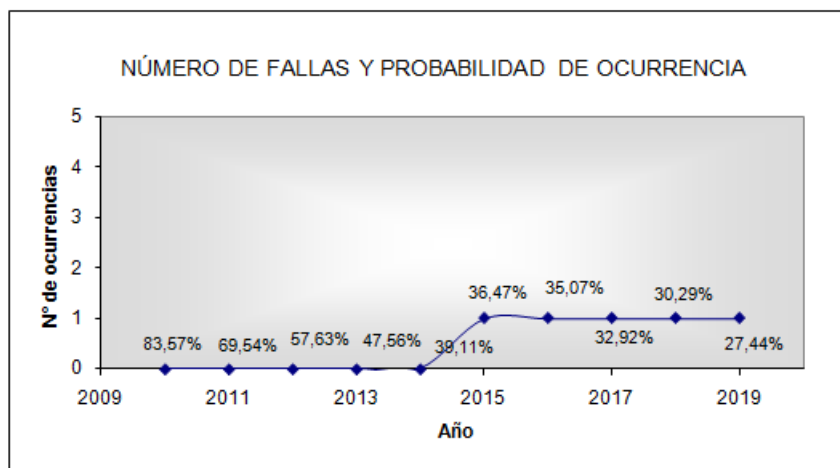


Figura 5.7: Gráfica de tasa de falla y probabilidad de ocurrencia asociada para interruptores BBB 3AQ

- En la Tabla 5.4 se puede observar el resultado de la probabilidad total de falla y la probabilidad total de que no exista falla año a año, que tiene cada equipo bajo estudio de esta familia.

PROBABILIDAD DE FALLA TOTAL POR EQUIPO		
Año	Probabilidad de falla	Probabilidad de que NO exista falla
2010	16,43%	83,57%
2011	30,46%	69,54%
2012	42,37%	57,63%
2013	52,44%	47,56%
2014	60,89%	39,11%
2015	67,97%	32,03%
2016	73,86%	26,14%
2017	78,74%	21,26%
2018	82,78%	17,22%
2019	86,09%	13,91%

Tabla 5.4: Probabilidad total de falla interruptores BBB 3AQ

- En la Tabla 5.5 se puede observar el resultado de la confiabilidad de estos equipos a través de los años y en la Figura 5.8 un gráfico que muestra el comportamiento.

Año	Número de días	R(t)	F(t)
0	0	100%	0,000%
1	365	99,840%	0,160%
2	730	99,058%	0,942%
3	1095	97,362%	2,638%
4	1460	94,568%	5,432%
5	1825	90,584%	9,416%
6	2190	85,409%	14,591%
7	2555	79,132%	20,868%
8	2920	71,931%	28,069%
9	3285	64,054%	35,946%
10	3650	55,800%	44,200%
11	4015	47,490%	52,510%
12	4380	39,436%	60,564%
13	4745	31,913%	68,087%
14	5110	25,137%	74,863%
15	5475	19,251%	80,749%
16	5840	14,317%	85,683%
17	6205	10,330%	89,670%
18	6570	7,223%	92,777%
19	6935	4,889%	95,111%
20	7300	3,201%	96,799%
21	7665	2,025%	97,975%
22	8030	1,236%	98,764%
23	8395	0,728%	99,272%
24	8760	0,413%	99,587%
25	9125	0,226%	99,774%
26	9490	0,118%	99,882%
27	9855	0,060%	99,940%
28	10220	0,029%	99,971%
29	10585	0,013%	99,987%
30	10950	0,006%	99,994%
31	11315	0,003%	99,997%
32	11680	0,001%	99,999%
33	12045	0,000%	100,000%

Tabla 5.5: Confiabilidad y distribución acumulada de falla interruptores BBB 3AQ

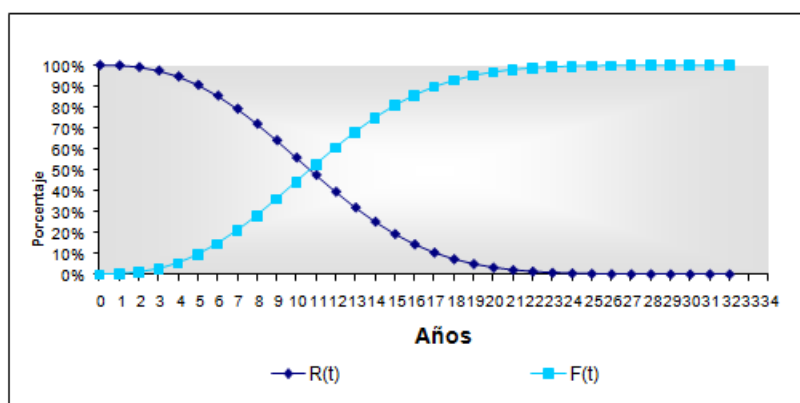


Figura 5.8: Gráfica de confiabilidad y distribución acumulada de falla interruptores BBB 3AQ

Conclusión: se espera que cada equipo de esta familia, durante los próximos cinco años, no falle; pero, después de este tiempo, es probable que falle una vez para los siguientes cinco años. De acuerdo con el comportamiento histórico que presenta esta familia de equipos se creería que la falla que se presentase será por problemas de fugas de aceite, por lo que se recomienda realizar acciones preventivas que mitiguen todo tipo de fugas. Esta familia ha presentado fallas desde edades muy tempranas, por lo que se recomienda retroalimentar al fabricante sobre estos sucesos.

5.1.2. Transformadores

- Se quiere analizar la familia de equipos conformada por los autotransformadores del fabricante CCC y referencia del equipo 500/110 M .
- Consultando la base de datos, se encontró que se cuenta con 6 de estos equipos.
- Se va a realizar el estudio con fecha de corte del estudio el 01 de Enero de 2010.

Dadas las anteriores condiciones se extrae la información de fallas de la base de datos empleando el aplicativo *Confiabilidad*, tal como se puede observar en las Tablas 5.6, 5.7 y 5.8.

REFERENCIA DEL EQUIPO	FABRICANTE	FECHA DE PUESTA EN SERVICIO	FECHA DE INICIO DE LA FALLA	IDENTIFICADOR DEL EQUIPO	TIEMPO EN DIAS	STATUS	EDAD	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	# de días
500/110 M	CCC	01/01/1985	03/09/2002	201437	6454	Fail	9131	No transfiere, entre los dos sistemas, toda su potencia.	Conexiones inadecuadas en el circuito de potencia (internas, externas) por: Alta resistencia en las conexiones externas de potencia por mal contacto.	6454
500/110 M	CCC	01/01/1985	30/07/2007	201437	8245	Fail	9131	No preserva la seguridad e integridad de las personas y el equipo bajo condiciones normales y de falla.	Perdida de la capacidad aislamiento internos por fugas.	8245
500/110 M	CCC	01/01/1985	20/07/2001	201438	6044	Fail	9131	No transfiere, entre los dos sistemas, toda su potencia.	Conexiones inadecuadas en el circuito de potencia (internas, externas) por: Alta resistencia en las conexiones internas de potencia mal contacto por fatiga/Estrés termico/reacciones FQ	6044
500/110 M	CCC	01/01/1985	21/07/2004	201438	7141	Fail	9131	No preserva la seguridad e integridad de las personas y el equipo bajo condiciones normales y de falla.	Perdida del aislamiento del buje por Bajo nivel de aceite en el buje POR FUGAS	7141
500/110 M	CCC	01/01/1985	22/12/2004	201438	7295	Fail	9131	No transfiere, entre los dos sistemas, toda su potencia.	Conexiones inadecuadas en el circuito de potencia (Internas; externas) por: Alta resistencia en las conexiones internas de potencia mal contacto por fatiga/Estrés termico/reacciones FQ	7295
500/110 M	CCC	01/01/1985	26/10/2005	201438	7603	Fail	9131	No preserva la seguridad e integridad de las personas y el equipo bajo condiciones normales y de falla.	Perdida del aislamiento del buje por Bajo nivel de aceite en el buje POR FUGAS	7603
500/110 M	CCC	01/01/1985	25/03/2006	201438	7753	Fail	9131	No envía correctamente señales para: Protecciones mecánicas, eléctricas, control del cambiador y refrigeración	Las señales para las protecciones no son enviadas correctamente debido a: ingreso de humedad a las cajas de conexión y armario LCC por mal ajuste del empaque y/o cristalización o por envejecimiento (Incluye la caja de control del cambiador).	7753
500/110 M	CCC	01/01/1985	30/07/2007	201438	8245	Fail	9131	No preserva la seguridad e integridad de las personas y el equipo bajo condiciones normales y de falla.	Perdida de la capacidad aislamiento internos por fugas.	8245
500/110 M	CCC	01/01/1985	29/10/1999	201439	5414	Fail	9131	No envía correctamente señales para: Protecciones mecánicas, eléctricas, control del cambiador y refrigeración	Las señales para las protecciones mecánicas no son enviadas correctamente desde los Relés mecánicos. (Buchholz, Presión súbita, nivel, flujo, sobre presión) por ingreso de humedad a las cajas de conexión y/o de paso.	5414
500/110 M	CCC	01/01/1985	01/12/2002	201439	6543	Fail	9131	No envía correctamente señales para: Protecciones mecánicas, eléctricas, control del cambiador y refrigeración	Las señales para las protecciones no son enviadas correctamente debido a: ingreso de humedad a las cajas de conexión y armario LCC por mal ajuste del empaque y/o cristalización o por envejecimiento (Incluye la caja de control del cambiador).	6543

Tabla 5.6: Información de fallas Autotransformadores CCC

REFERENCIA DEL EQUIPO	FABRICANTE	FECHA DE PUESTA EN SERVICIO	FECHA DE INICIO DE LA FALLA	IDENTIFICADOR DEL EQUIPO	TIEMPO EN DIAS	STATUS	EDAD	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	# de días
500/110 M	CCC	01/01/1985	09/07/2004	201439	7129	Fail	9131	No envía correctamente señales para: Protecciones mecánicas, eléctricas, control del cambiador y refrigeración	Las señales para las protecciones mecánicas no son enviadas correctamente, desde los Relés mecánicos. (Buchholz, Presión súbita, nivel, flujo, sobre presión) por ingreso de humedad a las cajas de conexión y/o de paso.	7129
500/110 M	CCC	01/01/1985	23/03/2005	201439	7386	Fail	9131	No envía correctamente señales para: Protecciones mecánicas, eléctricas, control del cambiador y refrigeración	Deterioro de componentes externos del cambiador por: Desgaste normal de los componentes de accionamiento y control eléctrico debido al uso Suciedad/Ingreso de humedad/estrés térmico..	7386
500/110 M	CCC	01/01/1985	23/04/2005	201439	7417	Fail	9131	No envía correctamente señales para: Protecciones mecánicas, eléctricas, control del cambiador y refrigeración	Las señales para las protecciones mecánicas no son enviadas correctamente, desde los Relés mecánicos. (Buchholz, Presión súbita, nivel, flujo, sobre presión) por ingreso de humedad a las cajas de conexión y/o de paso.	7417
500/110 M	CCC	01/01/1985	26/10/2005	201439	7603	Fail	9131	No preserva la seguridad e integridad de las personas y el equipo bajo condiciones normales y de falla.	Perdida de la capacidad aislamiento internos por fugas.	7603
500/110 M	CCC	01/01/1985	25/03/2006	201439	7753	Fail	9131	No envía correctamente señales para: Protecciones mecánicas, eléctricas, control del cambiador y refrigeración	Las señales para las protecciones no son enviadas correctamente debido a: ingreso de humedad a las cajas de conexión y armario LCC por mal ajuste del empaque y/o cristalización o por envejecimiento (Incluye la caja de control del cambiador).	7753
500/110 M	CCC	01/01/1985	10/01/2007	201439	8044	Fail	9131	No preserva la seguridad e integridad de las personas y el equipo bajo condiciones normales y de falla.	Perdida de la capacidad aislamiento internos por fugas.	8044
500/110 M	CCC	01/01/1985	24/07/2007	201439	8239	Fail	9131	No preserva la seguridad e integridad de las personas y el equipo bajo condiciones normales y de falla.	Perdida del aislamiento internos por Transferencia de humedad del aceite al papel debido a deterioro de la bolsa de preservación.	8239
500/110 M	CCC	01/01/1985	30/07/2007	201439	8245	Fail	9131	No preserva la seguridad e integridad de las personas y el equipo bajo condiciones normales y de falla.	Perdida de la capacidad aislamiento internos por fugas.	8245
500/110 M	CCC	01/01/1985	01/11/2007	201439	8339	Fail	9131	No preserva la seguridad e integridad de las personas y el equipo bajo condiciones normales y de falla.	Conexiones inadecuadas en el circuito de potencia. (Internas, externas) por: Alta resistencia en las conexiones internas de potencia mal contacto por fatiga/Estrés térmico/reacciones FQ	8339
500/110 M	CCC	01/01/1985	28/03/1998	201582	4834	Fail	9131	No preserva la seguridad e integridad de las personas y el equipo bajo condiciones normales y de falla.	Perdida de la capacidad aislamiento internos por fugas.	4834

Tabla 5.7: Información de fallas Autotransformadores CCC

REFERENCIA DEL EQUIPO	FABRICANTE	FECHA DE PUESTA EN SERVICIO	FECHA DE INICIO DE LA FALLA	IDENTIFICADOR DEL EQUIPO	TIEMPO EN DIAS	STATUS	EDAD	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	# de días
500/110 M	CCC	01/01/1985	09/03/1999	201582	5180	Fail	9131	No preserva la seguridad e integridad de las personas y el equipo bajo condiciones normales y de falla.	Perdida de la capacidad aislamiento internos por fugas.	5180
500/110 M	CCC	01/01/1985	24/08/2000	201582	5714	Fail	9131	No envía correctamente señales para: Protecciones mecánicas, eléctricas, control del cambiador y refrigeración	Las señales para las protecciones mecánicas no son enviadas correctamente, desde los Relés mecánicos. (Buchholz, Presión súbita, nivel, flujo, sobre presión) por ingreso de humedad a las cajas de conexión y/o de paso.	5714
500/110 M	CCC	01/01/1985	11/08/2003	201582	6796	Fail	9131	No transfiere, entre los dos sistemas, toda su potencia.	Conexiones inadecuadas en el circuito de potencia.(Internas, externas) por: Alta resistencia en las conexiones internas de potencia mal contacto por fatiga/Estrés termico/reacciones FQ	6796
500/110 M	CCC	01/01/1985	01/07/2004	201582	7121	Fail	9131	No envía correctamente señales para: Protecciones mecánicas, eléctricas, control del cambiador y refrigeración	Las señales para las protecciones mecánicas no son enviadas correctamente, desde los Relés mecánicos. (Buchholz, Presión súbita, nivel, flujo, sobre presión) por ingreso de humedad a las cajas de conexión y/o de paso.	7121
500/110 M	CCC	01/01/1985	03/07/2005	201582	7488	Fail	9131	No preserva la seguridad e integridad de las personas y el equipo bajo condiciones normales y de falla.	Perdida de la capacidad aislamiento internos por fugas.	7488
500/110 M	CCC	01/01/1985	28/07/2005	201582	7513	Fail	9131	No preserva la seguridad e integridad de las personas y el equipo bajo condiciones normales y de falla.	Perdida de la capacidad aislamiento internos por fugas.	7513
500/110 M	CCC	01/01/1985	06/11/2002	201583	6518	Fail	9131	No transfiere, entre los dos sistemas, toda su potencia.	Conexiones inadecuadas en el circuito de potencia.(Internas, externas) por: Alta resistencia en las conexiones externas de potencia por mal contacto.	6518
500/110 M	CCC	01/01/1985	03/07/2005	201583	7488	Fail	9131	No preserva la seguridad e integridad de las personas y el equipo bajo condiciones normales y de falla.	Perdida de la capacidad aislamiento internos por fugas.	7488
500/110 M	CCC	01/01/1985	29/10/2005	201583	7606	Fail	9131	No preserva la seguridad e integridad de las personas y el equipo bajo condiciones normales y de falla.	Perdida de la capacidad aislamiento internos por fugas.	7606
500/110 M	CCC	01/01/1985	05/07/2008	201583	8586	Fail	9131	No preserva la seguridad e integridad de las personas y el equipo bajo condiciones normales y de falla.	Perdida de la capacidad aislamiento internos por fugas.	8586
500/110 M	CCC	01/01/1985	01/07/2004	201584	7121	Fail	9131	No transfiere, entre los dos sistemas, toda su potencia.	Conexiones inadecuadas en el circuito de potencia.(Internas, externas) por: Alta resistencia en las conexiones externas de potencia por mal contacto.	7121
500/110 M	CCC	01/01/1985	15/09/2004	201584	7197	Fail	9131	No preserva la seguridad e integridad de las personas y el equipo bajo condiciones normales y de falla.	Perdida de la capacidad aislamiento internos por fugas.	7197
500/110 M	CCC	01/01/1985	29/01/2008	201584	8428	Fail	9131	No transfiere, entre los dos sistemas, toda su potencia.	Conexiones inadecuadas en el circuito de potencia.(Internas, externas) por: Alta resistencia en las conexiones internas de potencia mal contacto por fatiga/Estrés termico/reacciones FQ	8428
500/110 M	CCC	01/01/1985	02/11/2008	201584	8706	Fail	9131	No preserva la seguridad e integridad de las personas y el equipo bajo condiciones normales y de falla.	Perdida de la capacidad aislamiento internos por fugas.	8706

Tabla 5.8: Información de fallas Autotransformadores CCC

Se encuentran reportadas 34 fallas para esta familia en estudio

- De las fallas reportadas se obtiene la Figura 5.9 de fallas funcionales.

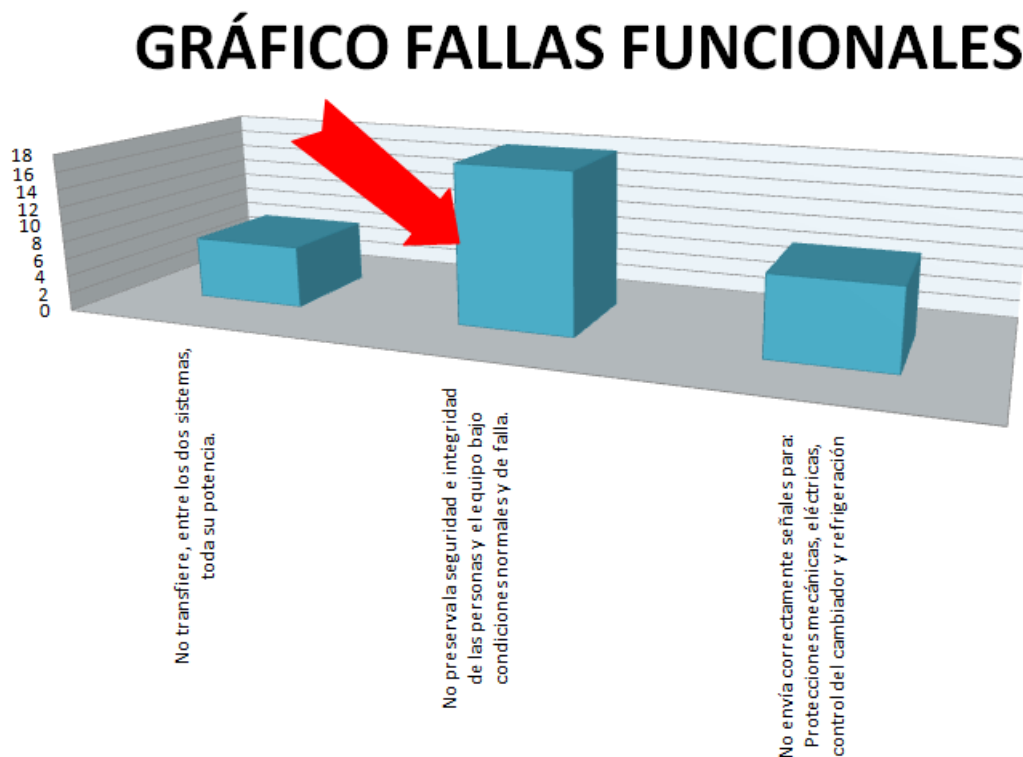


Figura 5.9: Gráfico de fallas Autotransformadores CCC

Se concluye que la falla funcional más recurrente entre estos equipos es: “No preserva la seguridad del medio ambiente, bajo condiciones normales de falla”, que evidencia 16 fallas de este tipo en esta familia de equipos desde su fecha de puesta en servicio hasta la fecha de corte del estudio.

- De las fallas reportadas se obtiene la Figura 5.10 de modos de fallas.

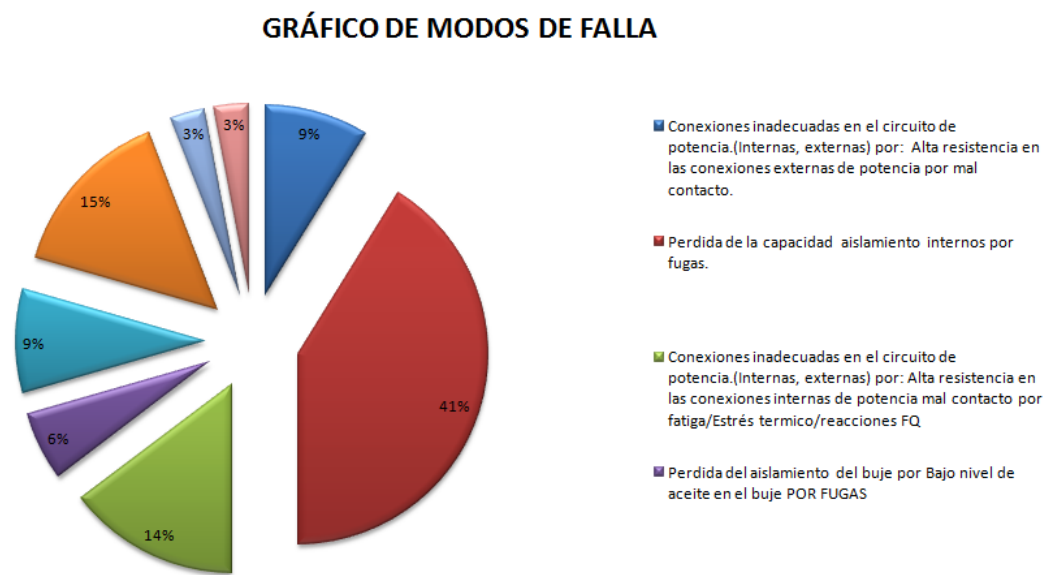


Figura 5.10: Gráfico de modos de fallas Autotransformadores CCC

Se concluye que el modo de falla más recurrente entre estos equipos es: “Pérdida de la capacidad aislamiento internos por fugas” .

- Una vez extraída la información de falla de la base de datos, se genera el archivo necesario para estimar los parámetros mediante el botón “Reparable” y “No reparable”.
- Se obtiene de S-PLUS el ajuste de los datos mediante Power Law, ver Figura 5.11 y ajuste mediante Weibull, ver Figura 5.13:

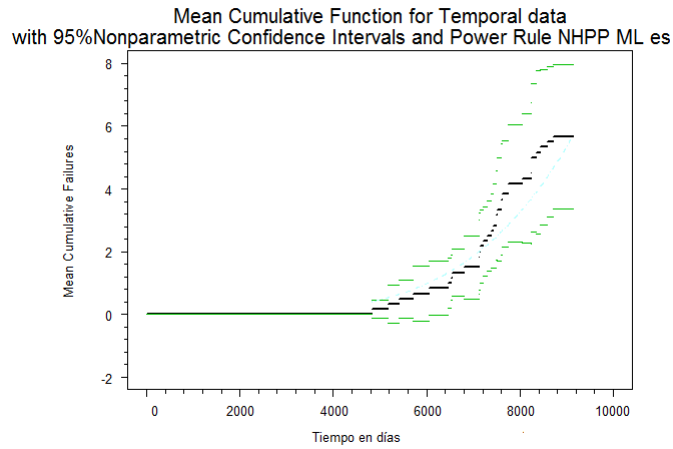


Figura 5.11: Modelado NHPP Power Law Autotransformadores CCC

Y el resultado numérico de los parámetros de η (eta) y β (beta) , ver resultado de Power Law Figura 5.12, ver resultado de Weibull Figura 5.14:

	MLE	Std.Err.	95% Lower	95% Upper
eta	6047.42	493.268	5080.636	7014.209
beta	4.21	0.722	2.795	5.625

Figura 5.12: Parámetros estimados NHPP Power Law Autotransformadores CCC

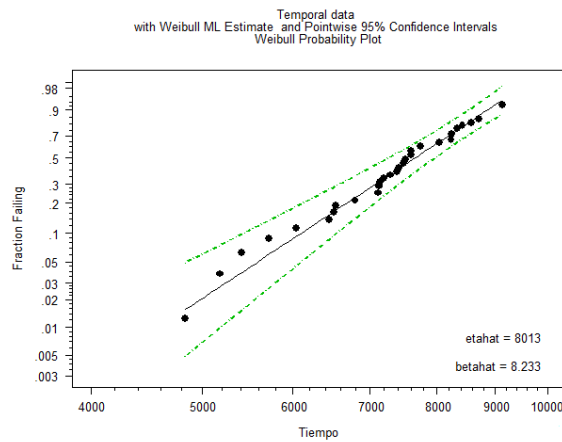


Figura 5.13: Modelado HPP Weibull Autotransformadores CCC

Parameter	Approx Conf. Interval			
	MLE	Std.Err.	95% Lower	95% Upper
mu	8.9888	0.02021	8.94923	9.0285
sigma	0.1215	0.01527	0.09493	0.1554
weibull.eta	8013.1802	161.96731	7701.93592	8337.0022
weibull.beta	8.2332	1.03519	6.43490	10.5340

Figura 5.14: Parámetros estimados HPP Weibull Autotransformadores CCC

Reemplazando los parámetros se obtienen los siguientes resultados

- En la Tabla 5.9, se puede observar los resultados del número de fallas esperadas para los próximos diez años y su probabilidad de ocurrencia asociada y en la Figura 5.15 un gráfico de la misma:

Año	Número de fallas por equipo acumuladas	Probabilidad acumulada de ocurrencia por equipo
2010	1	36,78%
2011	2	26,89%
2012	3	21,69%
2013	4	17,84%
2014	6	15,70%
2015	8	13,86%
2016	10	12,44%
2017	12	11,29%
2018	14	10,24%
2019	17	9,50%

Tabla 5.9: Tasa de falla y probabilidad de ocurrencia asociada Autotransformadores CCC

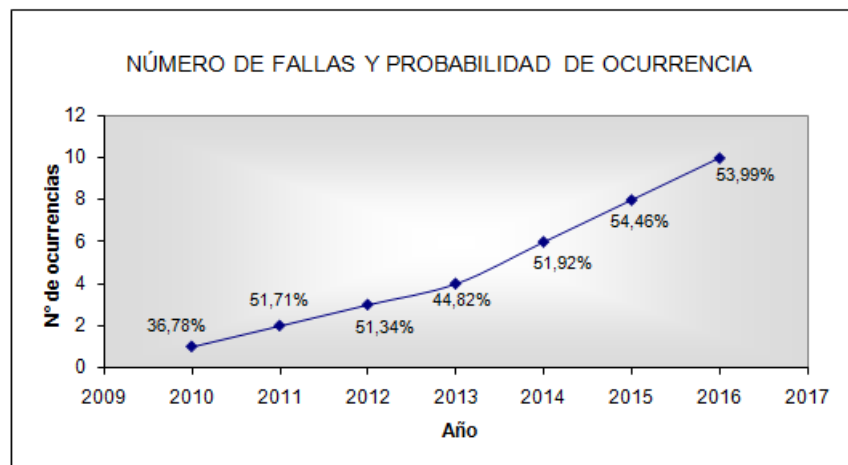


Figura 5.15: Gráfica de tasa de falla y probabilidad de ocurrencia asociada Autotransformadores CCC

- En la Tabla 5.10 se puede observar el resultado de la probabilidad total de falla y la probabilidad total de que no exista falla año a año para cada equipo de esta familia bajo estudio:

PROBABILIDAD DE FALLA TOTAL POR EQUIPO		
Año	Probabilidad de falla	Probabilidad de que NO exista falla
2010	63,82%	36,18%
2011	88,55%	11,45%
2012	96,86%	3,14%
2013	99,27%	0,73%
2014	99,86%	0,14%
2015	99,98%	0,02%
2016	100,00%	0,00%
2017	100,00%	0,00%
2018	100,00%	0,00%
2019	100,00%	0,00%

Tabla 5.10: Probabilidad total de falla interruptores Autotransformadores CCC

- En la Tabla 5.11, se puede observar el resultado de la confiabilidad de estos equipos a través de los años, y en la Figura 5.16, un gráfico que muestra el comportamiento.

Año	Número de días	R(t)	F(t)
0	0	100%	0,000%
1	365	100,000%	0,000%
2	730	100,000%	0,000%
3	1095	100,000%	0,000%
4	1460	100,000%	0,000%
5	1825	99,999%	0,001%
6	2190	99,998%	0,002%
7	2555	99,992%	0,008%
8	2920	99,975%	0,025%
9	3285	99,935%	0,065%
10	3650	99,846%	0,154%
11	4015	99,662%	0,338%
12	4380	99,310%	0,690%
13	4745	98,671%	1,329%
14	5110	97,568%	2,432%
15	5475	95,747%	4,253%
16	5840	92,874%	7,126%
17	6205	88,534%	11,466%
18	6570	82,286%	17,714%
19	6935	73,764%	26,236%
20	7300	62,864%	37,136%
21	7665	49,973%	50,027%
22	8030	36,153%	63,847%
23	8395	23,061%	76,939%
24	8760	12,460%	87,540%
25	9125	5,422%	94,578%
26	9490	1,785%	98,215%
27	9855	0,412%	99,588%
28	10220	0,061%	99,939%
29	10585	0,005%	99,995%
30	10950	0,000%	100,000%

Tabla 5.11: Confiabilidad y distribución acumulada de falla Autotransformadores CCC

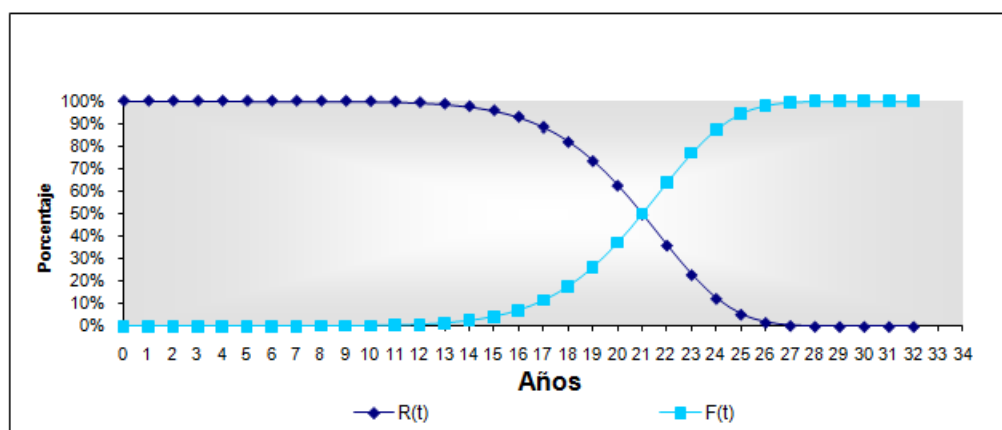


Figura 5.16: Gráfica de confiabilidad y distribución acumulada de falla Autotransformadores CCC

Conclusión: se espera que cada uno de los equipos de esta familia presente en promedio una falla para los próximos cinco años, siendo la falla funcional predominante “Pérdida de la capacidad de aislamiento por fugas”. Se recomienda realizar una actividad urgente de tipo preventiva para reducir, las fugas, ya que esto puede acarrear una avería grave de este equipo. Se puede concluir que en general es un equipo bastante bueno, ya que no presentó fallas a edades tempranas.

5.2. SPAT (Sistemas de Protecciones, Automatización y Telecomunicaciones)

- Se quiere analizar la familia de equipos conformada por los Relés Función Distancia del fabricante DDD y referencia del equipo EPAC.
- Consultando la base de datos, se encontró que se cuenta con 59 de estos equipos.
- Se va a realizar el estudio con fecha de corte del estudio el 30 de Junio de 2009.

Dadas las anteriores condiciones, se extrae la información de fallas de la base de datos empleando el aplicativo *Confabilidad*, tal como se puede observar en las Tablas 5.12 a 5.15.

REFERENCIA DEL EQUIPO	FABRICANTE	FECHA DE PUESTA EN SERVICIO	FECHA DE INICIO DE LA FALLA	IDENTIFICADOR DEL EQUIPO	TIEMPO EN DIAS	STATUS	EDAD	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	# de días
EPAC	DDD	35431	38852	100586	3421	Fail	4563	No opera cuando debe o lo hace en un tiempo superior al ajustado	Tarjetas o módulos defectuosos por envejecimiento u operación normal y que son autosupervisados.	3421
EPAC	DDD	35765	39402	100634	3637	Fail	4229	No entrega señales o las entrega erróneamente.	Tarjetas o módulos defectuosos por envejecimiento u operación normal y que son autosupervisados.	3637
EPAC	DDD	35781	36820	114786	1039	Fail	4213	Bloqueo del relé cuando no debe	Caminos de las tarjetas electrónicas en corto por depósito de suciedad o humedad.	1039
EPAC	DDD	35774	36313	114844	539	Fail	4220	No entrega señales o las entrega erróneamente.	Tarjetas o módulos defectuosos por envejecimiento u operación normal y que son autosupervisados.	539
EPAC	DDD	35774	38698	114844	2924	Fail	4220	No entrega señales o las entrega erróneamente.	Tarjetas o módulos defectuosos por envejecimiento u operación normal y que son autosupervisados.	2924
EPAC	DDD	35431	36508	114876	1077	Fail	4563	Bloqueo del relé cuando no debe	Contactos de salida, transformadores de entrada y tarjetas electrónicas abiertos o en corto por operación normal y que no son monitoreadas por la autosupervisión.	1077
EPAC	DDD	35431	38660	114876	3229	Fail	4563	Bloqueo del relé cuando no debe	Contactos de salida, transformadores de entrada y tarjetas electrónicas abiertos o en corto por operación normal y que no son monitoreadas por la autosupervisión.	3229
EPAC	DDD	35431	36508	114877	1077	Fail	4563	Bloqueo del relé cuando no debe	Caminos de las tarjetas electrónicas en corto por depósito de suciedad o humedad.	1077
EPAC	DDD	35796	36565	114941	769	Fail	4198	No es posible la comunicación con la red de gestión	Tarjetas o módulos defectuosos por envejecimiento u operación normal y que son autosupervisados.	769

Tabla 5.12: Información de fallas Relés EPAC

REFERENCIA DEL EQUIPO	FABRICANTE	FECHA DE PUESTA EN SERVICIO	FECHA DE INICIO DE LA FALLA	IDENTIFICADOR DEL EQUIPO	TIEMPO EN DÍAS	STATUS	EDAD	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	# de días
EPAC	DDD	35796	39220	114941	3424	Fail	4198	No es posible la comunicación con la red de gestión	Tarjetas o módulos defectuosos por envejecimiento u operación normal y que son autosupervisados.	3424
EPAC	DDD	35431	36523	114942	1092	Fail	4563	Bloqueo del relé cuando no debe	Contactos de salida, transformadores de entrada y tarjetas electrónicas abiertos o en corto por operación normal y que no son monitoreadas por la autosupervisión	1092
EPAC	DDD	35431	37538	114942	2107	Fail	4563	Bloqueo del relé cuando no debe	Contactos de salida, transformadores de entrada y tarjetas electrónicas abiertos o en corto por operación normal y que no son monitoreadas por la autosupervisión	2107
EPAC	DDD	35431	37629	114942	2198	Fail	4563	Bloqueo del relé cuando no debe	Contactos de salida, transformadores de entrada y tarjetas electrónicas abiertos o en corto por operación normal y que no son monitoreadas por la autosupervisión	2198
EPAC	DDD	35431	37803	114942	2372	Fail	4563	Bloqueo del relé cuando no debe	Contactos de salida, transformadores de entrada y tarjetas electrónicas abiertos o en corto por operación normal y que no son monitoreadas por la autosupervisión	2372
EPAC	DDD	35431	38162	114942	2731	Fail	4563	Bloqueo del relé cuando no debe	Contactos de salida, transformadores de entrada y tarjetas electrónicas abiertos o en corto por operación normal y que no son monitoreadas por la autosupervisión	2731
EPAC	DDD	35781	36790	115166	1009	Fail	4213	Bloqueo del relé cuando no debe	Caminos de las tarjetas electrónicas en corto por depósito de suciedad o humedad.	1009

Tabla 5.13: Información de fallas Relés EPAC

REFERENCIA DEL EQUIPO	FABRICANTE	FECHA DE PUESTA EN SERVICIO	FECHA DE INICIO DE LA FALLA	IDENTIFICADOR DEL EQUIPO	TIEMPO EN DIAS	STATUS	EDAD	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	# de días
EPAC	DDD	35781	36868	115174	1087	Fail	4213	Bloqueo del relé cuando no debe	Contactos de salida, transformadores de entrada y tarjetas electrónicas abiertos o en corto por operación normal y que no son monitoreadas por la autosupervisión	1087
EPAC	DDD	35781	36985	115174	1204	Fail	4213	Bloqueo del relé cuando no debe	Contactos de salida, transformadores de entrada y tarjetas electrónicas abiertos o en corto por operación normal y que no son monitoreadas por la autosupervisión	1204
EPAC	DDD	35781	37709	115174	1928	Fail	4213	Bloqueo del relé cuando no debe	Contactos de salida, transformadores de entrada y tarjetas electrónicas abiertos o en corto por operación normal y que no son monitoreadas por la autosupervisión	1928
EPAC	DDD	35781	37709	115174	1928	Fail	4213	Bloqueo del relé cuando no debe	Contactos de salida, transformadores de entrada y tarjetas electrónicas abiertos o en corto por operación normal y que no son monitoreadas por la autosupervisión	1928
EPAC	DDD	35781	37316	116772	1535	Fail	4213	Bloqueo del relé cuando no debe	Caminos de las tarjetas electrónicas en corto por depósito de suciedad o humedad.	1535
EPAC	DDD	36037	37116	118061	1079	Fail	3957	No opera cuando debe o lo hace en un tiempo superior al ajustado	Tarjetas o módulos defectuosos por envejecimiento u operación normal y que son autosupervisados.	1079
EPAC	DDD	36303	37168	118946	865	Fail	3691	No opera cuando debe o lo hace en un tiempo superior al ajustado	Tarjetas o módulos defectuosos por envejecimiento u operación normal y que son autosupervisados.	865
EPAC	DDD	36470	38860	121593	2390	Fail	3524	No entrega señales o las entrega erróneamente.	Tarjetas o módulos defectuosos por envejecimiento u operación normal y que son autosupervisados.	2390
EPAC	DDD	36470	36654	121594	184	Fail	3524	No opera cuando debe o lo hace en un tiempo superior al ajustado	Tarjetas o módulos defectuosos por envejecimiento u operación normal y que son autosupervisados.	184
EPAC	DDD	36470	36655	121594	185	Fail	3524	No opera cuando debe o lo hace en un tiempo superior al ajustado	Tarjetas o módulos defectuosos por envejecimiento u operación normal y que son autosupervisados.	185
EPAC	DDD	36470	36644	121596	174	Fail	3524	No opera cuando debe o lo hace en un tiempo superior al ajustado	Tarjetas o módulos defectuosos por envejecimiento u operación normal y que son autosupervisados.	174
EPAC	DDD	36470	37705	121596	1235	Fail	3524	No opera cuando debe o lo hace en un tiempo superior al ajustado	Tarjetas o módulos defectuosos por envejecimiento u operación normal y que son autosupervisados.	1235

Tabla 5.14: Información de fallas Relés EPAC

REFERENCIA DEL EQUIPO	FABRICANTE	FECHA DE PUESTA EN SERVICIO	FECHA DE INICIO DE LA FALLA	IDENTIFICADOR DEL EQUIPO	TIEMPO EN DÍAS	STATUS	EDAD	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	# de días
EPAC	DDD	36470	37752	121596	1282	Fail	3524	No opera cuando debe o lo hace en un tiempo superior al ajustado	Tarjetas o módulos defectuosos por envejecimiento u operación normal y que son autosupervisados.	1282
EPAC	DDD	36470	38272	121596	1802	Fail	3524	No opera cuando debe o lo hace en un tiempo superior al ajustado	Tarjetas o módulos defectuosos por envejecimiento u operación normal y que son autosupervisados.	1802
EPAC	DDD	35796	36608	122560	812	Fail	4198	Bloqueo del relé cuando no debe	Caminos de las tarjetas electrónicas en corto por depósito de suciedad o humedad.	812
EPAC	DDD	35796	37004	122560	1208	Fail	4198	Bloqueo del relé cuando no debe	Caminos de las tarjetas electrónicas en corto por depósito de suciedad o humedad.	1208
EPAC	DDD	35796	37018	122560	1222	Fail	4198	Bloqueo del relé cuando no debe	Caminos de las tarjetas electrónicas en corto por depósito de suciedad o humedad.	1222
EPAC	DDD	36302	37100	122639	798	Fail	3692	Bloqueo del relé cuando no debe	Contactos de salida, transformadores de entrada y tarjetas electrónicas abiertos o en corto por operación normal y que no son monitoreadas por la autosupervisión	798
EPAC	DDD	36302	37484	122639	1182	Fail	3692	Bloqueo del relé cuando no debe	Contactos de salida, transformadores de entrada y tarjetas electrónicas abiertos o en corto por operación normal y que no son monitoreadas por la autosupervisión	1182
EPAC	DDD	36302	39148	122639	2846	Fail	3692	Bloqueo del relé cuando no debe	Contactos de salida, transformadores de entrada y tarjetas electrónicas abiertos o en corto por operación normal y que no son monitoreadas por la autosupervisión	2846
EPAC	DDD	36707	36931	124387	224	Fail	3287	No opera cuando debe o lo hace en un tiempo superior al ajustado	Tarjetas o módulos defectuosos por envejecimiento u operación normal y que son autosupervisados.	224
EPAC	DDD	37166	37504	125450	338	Fail	2828	Bloqueo del relé cuando no debe	Contactos de salida, transformadores de entrada y tarjetas electrónicas abiertos o en corto por operación normal y que no son monitoreadas por la autosupervisión	338
EPAC	DDD	35431	37320	126356	1889	Fail	4563	No entrega señales o las entrega erróneamente.	Tarjetas o módulos defectuosos por envejecimiento u operación normal y que son autosupervisados.	1889
EPAC	DDD	35431	37320	126356	1889	Fail	4563	No entrega señales o las entrega erróneamente.	Tarjetas o módulos defectuosos por envejecimiento u operación normal y que son autosupervisados.	1889
EPAC	DDD	35431	37561	126356	2130	Fail	4563	No entrega señales o las entrega erróneamente.	Tarjetas o módulos defectuosos por envejecimiento u operación normal y que son autosupervisados.	2130
EPAC	DDD	39611	39923	126675	312	Fail	383	Bloqueo del relé cuando no debe	Contactos de salida, transformadores de entrada y tarjetas electrónicas abiertos o en corto por operación normal y que no son monitoreadas por la autosupervisión	312

Tabla 5.15: Información de fallas Relés EPAC

Se encuentran reportadas 75 fallas para esta familia en estudio

- De las fallas reportadas se obtiene la Figura 5.17 de fallas funcionales.

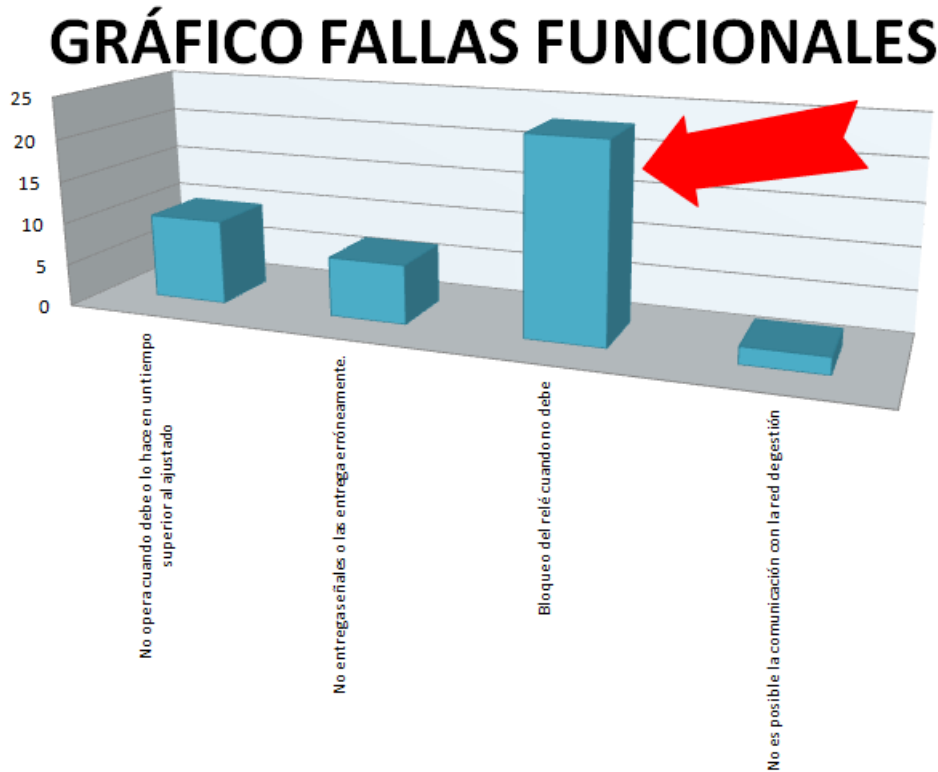


Figura 5.17: Gráfico de fallas Relés EPAC

Se concluye que la falla funcional más recurrente entre estos equipos es: “Bloqueo del relé cuando no debe”, que evidencia 23 fallas de este tipo en esta familia de equipos, desde su fecha de puesta en servicio, hasta la fecha de corte del estudio.

- De las fallas reportadas, se obtiene la Figura 5.17, de modos de fallas.

GRÁFICO DE MODOS DE FALLA

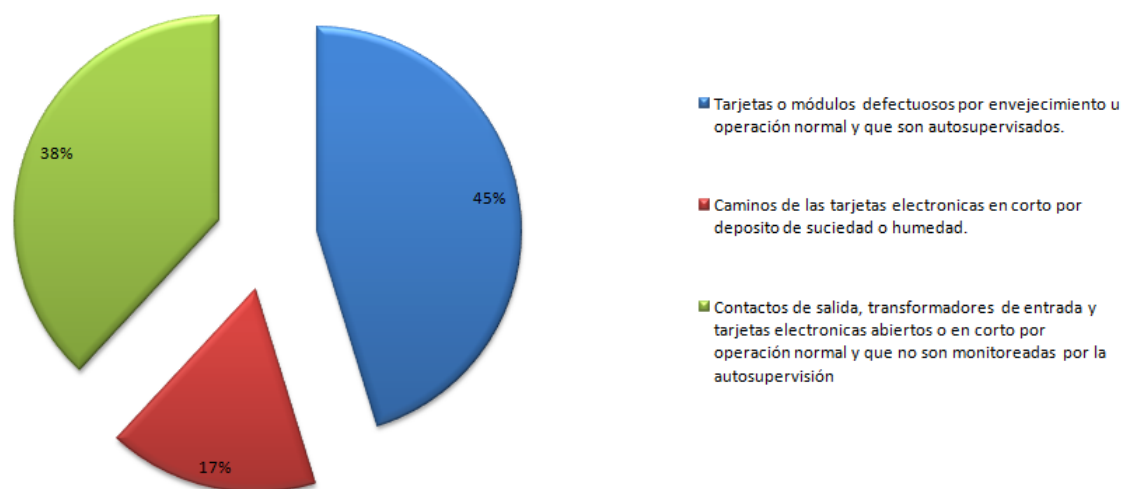


Figura 5.18: Gráfico de modos de fallas fabricante Relés EPAC

Se concluye que el modo de falla más recurrente entre estos equipos es: “Contactos de salida, transformadores de entrada y tarjetas electrónicas abiertas o en corto por operación normal y que no son monitoreadas por la autosupervisión”.

- Una vez extraída la información de falla de la base de datos, se genera el archivo necesario para estimar los parámetros mediante el botón “Reparable” y “No reparable”.

- Se obtiene de S-PLUS el ajuste de los datos mediante Power Law, ver Figura 5.19, y mediante Weibull, ver Figura 5.21.

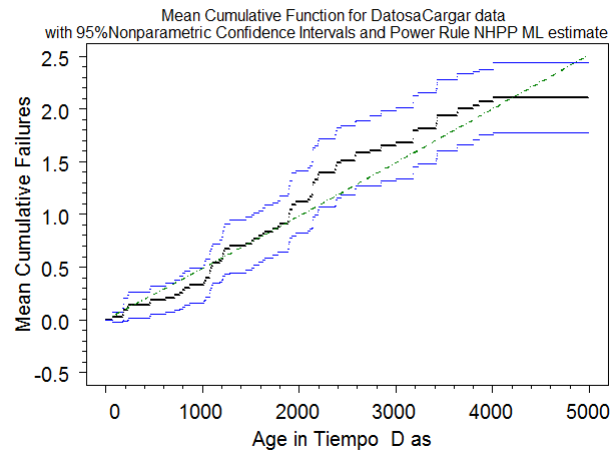


Figura 5.19: Modelado NHPP Power Law Relés EPAC

Y el resultado numérico de los parámetros de η (eta) y β (beta) , ver resultado de Power Law Figura 5.20, ver resultado de Weibull Figura 5.22

	MLE	Std.Err.	95% Lower	95% Upper
eta	2032.888	260.5932	1522.1347	2543.641
beta	1.024	0.1085	0.8112	1.236

Figura 5.20: Parámetros estimados NHPP Power Law Relés EPAC

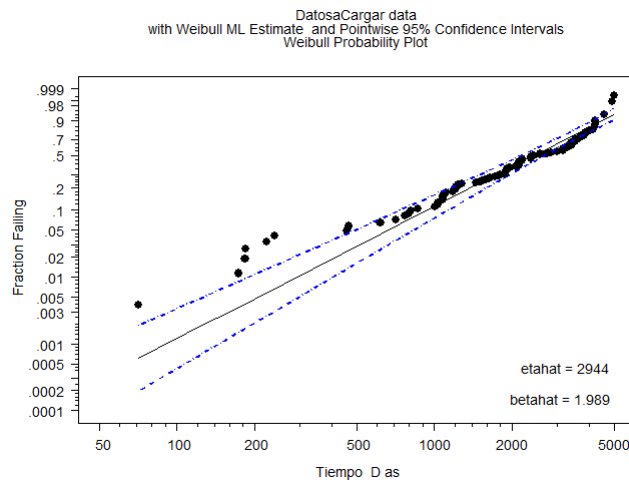


Figura 5.21: Modelado HPP Weibull Relés EPAC

Año	Número de fallas por equipo acumuladas	Probabilidad acumulada de ocurrencia por equipo
2009	0	82,86%
2010	0	68,64%
2011	0	56,84%
2012	0	47,05%
2013	0	38,95%
2014	1	36,49%
2015	1	35,24%
2016	1	33,34%
2017	1	31,03%
2018	1	28,52%

Tabla 5.16: Tasa de falla y probabilidad de ocurrencia asociada para Relés EPAC

Parameter	Approx Conf. Interval			
	MLE	Std.Err.	95% Lower	95% Upper
mu	7.9876	0.04584	7.8978	8.0775
sigma	0.5027	0.03706	0.4351	0.5809
weibull.eta	2944.3496	134.96117	2691.3647	3221.1147
weibull.beta	1.9891	0.14665	1.7215	2.2984

Figura 5.22: Parámetros estimados HPP Weibull Relés EPAC

Reemplazando los parámetros se obtienen los siguientes resultados

- En la Tabla 5.16, se puede observar los resultados del número de fallas esperadas para los próximos diez años y su probabilidad de ocurrencia asociada, y en la Figura 5.23, un gráfico de la misma.

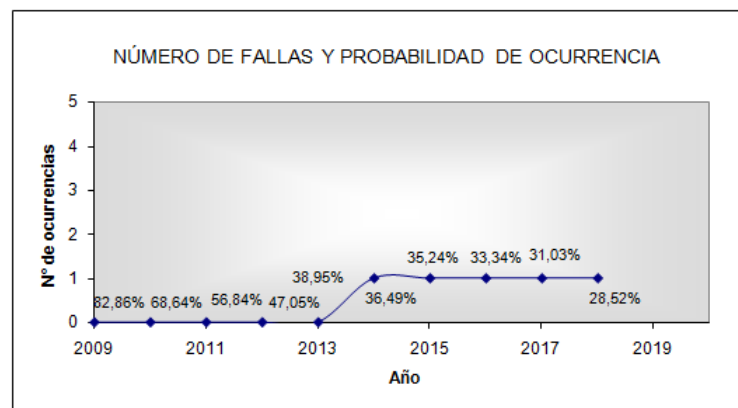


Figura 5.23: Gráfica de tasa de falla y probabilidad de ocurrencia asociada para Relés EPAC

- En la Tabla 5.17, se puede observar el resultado de la probabilidad total de falla y la

probabilidad total de que no exista falla año a año para cada equipo de esta familia bajo estudio.

Año	PROBABILIDAD DE FALLA TOTAL POR EQUIPO	
	Probabilidad de falla	Probabilidad de que NO exista falla
2009	17,14%	82,86%
2010	31,36%	68,64%
2011	43,16%	56,84%
2012	52,95%	47,05%
2013	61,05%	38,95%
2014	67,77%	32,23%
2015	73,34%	26,66%
2016	77,95%	22,05%
2017	81,77%	18,23%
2018	84,93%	15,07%

Tabla 5.17: Probabilidad total de falla Relés EPAC

- En la Tabla 5.18, se puede observar el resultado de la confiabilidad de estos equipos, a través de los años, y en la Figura 5.24, un gráfico que muestra el comportamiento.

Año	Número de días	R(t)	F(t)
0	0	100%	0,000%
1	365	98,440%	1,560%
2	730	93,950%	6,050%
3	1095	86,953%	13,047%
4	1460	78,054%	21,946%
5	1825	67,964%	32,036%
6	2190	57,406%	42,594%
7	2555	47,040%	52,960%
8	2920	37,396%	62,604%
9	3285	28,843%	71,157%
10	3650	21,585%	78,415%
11	4015	15,673%	84,327%
12	4380	11,043%	88,957%
13	4745	7,550%	92,450%
14	5110	5,009%	94,991%
15	5475	3,224%	96,776%
16	5840	2,014%	97,986%
17	6205	1,221%	98,779%
18	6570	0,719%	99,281%
19	6935	0,410%	99,590%
20	7300	0,227%	99,773%
21	7665	0,122%	99,878%
22	8030	0,064%	99,936%
23	8395	0,032%	99,968%
24	8760	0,016%	99,984%
25	9125	0,008%	99,992%
26	9490	0,004%	99,996%
27	9855	0,002%	99,998%
28	10220	0,001%	99,999%
29	10585	0,000%	100,000%

Tabla 5.18: Confiabilidad y distribución acumulada de falla Relés EPAC

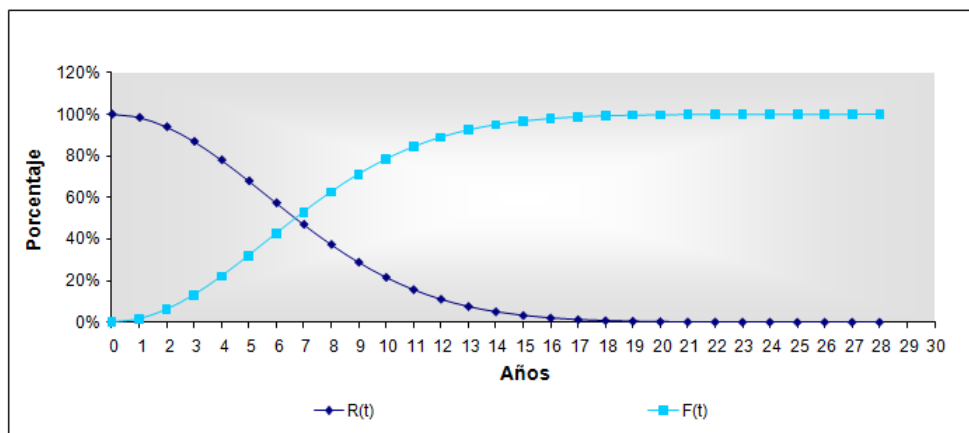


Figura 5.24: Gráfica de confiabilidad y distribución acumulada de falla Relés EPAC

Conclusión: se espera una falla para los próximos tres años. Este equipo ha fallado desde muy

joven, presentando problemas de bloqueo a causa de problemas en las tarjetas electrónicas. Se recomienda para futuras compras analizar este tipo de situaciones con éste y otros fabricantes.

5.3. Líneas

- Se quiere analizar una línea de transmisión de 500 kV formada por todos los elementos de la torre y el vano.

- Se va a realizar el estudio con fecha de corte del estudio el 30 de Junio de 2009.

Dadas las anteriores condiciones, se extrae la información de fallas de la base de datos, empleando el aplicativo *Confabilidad*, tal como se puede observar en las Tablas 5.19, 5.20 y 5.21.

REFERENCIA DEL EQUIPO	FABRICANTE	FECHA DE PUESTA EN SERVICIO	FECHA DE INICIO DE LA FALLA	IDENTIFICADOR DEL EQUIPO	TIEMPO EN DIAS	STATUS	EDAD	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	# de días
500	Varios	29952	36836	1	6884	Fall	10227	No soporta mecánicamente el sistema apantallamiento y de conducción (Falla total)	NVO: Corrosión de componentes.	6884
500	Varios	29952	36982	1	7030	Fall	10227	Soporta el sistema de conducción y apantallamiento sin conservar el diseño estructural.(Falla parcial)	Ruptura de hilos	7030
500	Varios	29952	36982	1	7030	Fall	10227	Soporta el sistema de conducción y apantallamiento sin conservar el diseño estructural.(Falla parcial)	Ruptura de hilos	7030
500	Varios	29952	36982	1	7030	Fall	10227	No permite el transporte total ni parcial de energía eléctrica bajo condiciones nominales.	Ruptura de hilos	7030
500	Varios	29952	36982	1	7030	Fall	10227	Soporta el sistema de conducción y apantallamiento sin conservar el diseño estructural.(Falla parcial)	Ruptura de hilos	7030
500	Varios	29952	37015	1	7063	Fall	10227	No permite el transporte total ni parcial de energía eléctrica bajo condiciones nominales.	Ruptura de hilos	7063
500	Varios	29952	37018	1	7066	Fall	10227	No permite el transporte total ni parcial de energía eléctrica bajo condiciones nominales.	Ruptura de hilos	7066
500	Varios	29952	37167	1	7215	Fall	10227	Soporta el sistema de conducción y apantallamiento sin conservar el diseño estructural.(Falla parcial)	Ruptura de hilos	7215
500	Varios	29952	37251	1	7299	Fall	10227	Soporta el sistema de conducción y apantallamiento sin conservar el diseño estructural.(Falla parcial)	Elementos faltantes o débiles	7299
500	Varios	29952	37483	1	7531	Fall	10227	Soporta el sistema de conducción y apantallamiento sin conservar el diseño estructural.(Falla parcial)	Condiciones de funcionamiento no contempladas en el diseño estructural	7531
500	Varios	29952	37566	1	7614	Fall	10227	No soporta mecánicamente el sistema apantallamiento y de conducción (Falla total)	NVO: Corrosión de componentes.	7614
500	Varios	29952	37566	1	7614	Fall	10227	No soporta mecánicamente el sistema apantallamiento y de conducción (Falla total)	NVO: Corrosión de componentes.	7614
500	Varios	29952	37566	1	7614	Fall	10227	No soporta mecánicamente el sistema apantallamiento y de conducción (Falla total)	NVO: Corrosión de componentes.	7614

Tabla 5.19: Información de fallas Línea 500 kV

REFERENCIA DEL EQUIPO	FABRICANTE	FECHA DE PUESTA EN SERVICIO	FECHA DE INICIO DE LA FALLA	IDENTIFICADOR DEL EQUIPO	TIEMPO EN DIAS	STATUS	EDAD	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	# de días
500	Varios	29952	37566	1	7614	Fail	10227	No soporta mecánicamente el sistema apantallamiento y de conducción (Falla total)	NVO: Corrosión de componentes.	7614
500	Varios	29952	37566	1	7614	Fail	10227	No soporta mecánicamente el sistema apantallamiento y de conducción (Falla total)	NVO: Corrosión de componentes.	7614
500	Varios	29952	37566	1	7614	Fail	10227	No soporta mecánicamente el sistema apantallamiento y de conducción (Falla total)	NVO: Corrosión de componentes.	7614
500	Varios	29952	37566	1	7614	Fail	10227	No soporta mecánicamente el sistema apantallamiento y de conducción (Falla total)	NVO: Corrosión de componentes.	7614
500	Varios	29952	37566	1	7614	Fail	10227	No soporta mecánicamente el sistema apantallamiento y de conducción (Falla total)	NVO: Corrosión de componentes.	7614
500	Varios	29952	37566	1	7614	Fail	10227	No soporta mecánicamente el sistema apantallamiento y de conducción (Falla total)	NVO: Corrosión de componentes.	7614
500	Varios	29952	37566	1	7614	Fail	10227	No soporta mecánicamente el sistema apantallamiento y de conducción (Falla total)	NVO: Corrosión de componentes.	7614
500	Varios	29952	37645	1	7693	Fail	10227	Soporta el sistema de conducción y apantallamiento sin conservar el diseño estructural.(Falla parcial)	Condiciones de funcionamiento no contempladas en el diseño estructural	7693
500	Varios	29952	37693	1	7741	Fail	10227	No soporta mecánicamente el sistema apantallamiento y de conducción (Falla total)	NVO: Corrosión de componentes.	7741
500	Varios	29952	37693	1	7741	Fail	10227	No soporta mecánicamente el sistema apantallamiento y de conducción (Falla total)	NVO: Corrosión de componentes.	7741
500	Varios	29952	37693	1	7741	Fail	10227	No soporta mecánicamente el sistema apantallamiento y de conducción (Falla total)	NVO: Corrosión de componentes.	7741
500	Varios	29952	37693	1	7741	Fail	10227	No soporta mecánicamente el sistema apantallamiento y de conducción (Falla total)	NVO: Corrosión de componentes.	7741
500	Varios	29952	37971	1	8019	Fail	10227	No se mantienen las distancias mínimas de seguridad	NVO: Perdida de la distancia de fuga	8019
500	Varios	29952	38342	1	8390	Fail	10227	No se mantienen las distancias mínimas de seguridad	NVO: Perdida de la distancia de fuga	8390

Tabla 5.20: Información de fallas Línea 500 kV

REFERENCIA DEL EQUIPO	FABRICANTE	FECHA DE PUESTA EN SERVICIO	FECHA DE INICIO DE LA FALLA	IDENTIFICADOR DEL EQUIPO	TIEMPO EN DIAS	STATUS	EDAD	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	# de días
500	Varios	29952	38342	1	8390	Fail	10227	No se mantienen las distancias mínimas de seguridad	NVO: Perdida de la distancia de fuga	8390
500	Varios	29952	38342	1	8390	Fail	10227	No se mantienen las distancias mínimas de seguridad	NVO: Perdida de la distancia de fuga	8390
500	Varios	29952	38568	1	8616	Fail	10227	No permite el transporte total ni parcial de energía eléctrica bajo condiciones nominales.	Ruptura de hilos	8616
500	Varios	29952	38576	1	8624	Fail	10227	No permite el transporte total ni parcial de energía eléctrica bajo condiciones nominales.	Ruptura de hilos	8624
500	Varios	29952	38580	1	8628	Fail	10227	No permite el transporte total ni parcial de energía eléctrica bajo condiciones nominales.	Ruptura de hilos	8628
500	Varios	29952	38715	1	8763	Fail	10227	No soporta mecánicamente el sistema	NVO: Corrosión de componentes.	8763
500	Varios	29952	38715	1	8763	Fail	10227	apantallamiento y de conducción (Falla total)	NVO: Corrosión de componentes.	8763
500	Varios	29952	38715	1	8763	Fail	10227	apantallamiento y de conducción (Falla total)	NVO: Corrosión de componentes.	8763
500	Varios	29952	39028	1	9076	Fail	10227	Soporta el sistema de conducción y apantallamiento sin conservar el diseño estructural.(Falla parcial)	Ruptura de hilos	9076
500	Varios	29952	39049	1	9097	Fail	10227	No soporta mecánicamente el sistema	Ruptura de hilos	9097
500	Varios	29952	39049	1	9097	Fail	10227	apantallamiento y de conducción (Falla total)	NVO: Corrosión de componentes.	9097
500	Varios	29952	39049	1	9097	Fail	10227	No se mantienen las distancias mínimas de seguridad	NVO: Perdida de la distancia de fuga	9097
500	Varios	29952	39049	1	9097	Fail	10227	No se mantienen las distancias mínimas de seguridad	NVO: Perdida de la distancia de fuga	9097
500	Varios	29952	39049	1	9097	Fail	10227	No se mantienen las distancias mínimas de seguridad	NVO: Perdida de la distancia de fuga	9097
500	Varios	29952	39049	1	9097	Fail	10227	No permite el transporte total ni parcial de energía eléctrica bajo condiciones nominales.	Ruptura de hilos	9097
500	Varios	29952	39049	1	9097	Fail	10227	No permite el transporte total ni parcial de energía eléctrica bajo condiciones nominales.	Ruptura de hilos	9097
500	Varios	29952	39049	1	9097	Fail	10227	Soporta el sistema de conducción y apantallamiento sin conservar el diseño estructural.(Falla parcial)	Ruptura de hilos	9097
500	Varios	29952	39049	1	9097	Fail	10227	No permite el transporte total ni parcial de energía eléctrica bajo condiciones nominales.	Ruptura de hilos	9097
500	Varios	29952	39049	1	9097	Fail	10227	Soporta el sistema de conducción y apantallamiento sin conservar el diseño estructural.(Falla parcial)	Ruptura de hilos	9097
500	Varios	29952	39794	1	9842	Fail	10227	Soporta el sistema de conducción y apantallamiento sin conservar el diseño estructural.(Falla parcial)	Condiciones de funcionamiento no contempladas en el diseño estructural	9842
500	Varios	29952	39794	1	9842	Fail	10227	Soporta el sistema de conducción y apantallamiento sin conservar el diseño estructural.(Falla parcial)	Condiciones de funcionamiento no contempladas en el diseño estructural	9842
500	Varios	29952	39794	1	9842	Fail	10227	Soporta el sistema de conducción y apantallamiento sin conservar el diseño estructural.(Falla parcial)	Condiciones de funcionamiento no contempladas en el diseño estructural	9842

Tabla 5.21: Información de fallas Línea 500 kV

Se encuentran reportadas 49 fallas para esta familia en estudio

- De las fallas reportadas, se obtiene la Figura 5.25, de fallas funcionales.

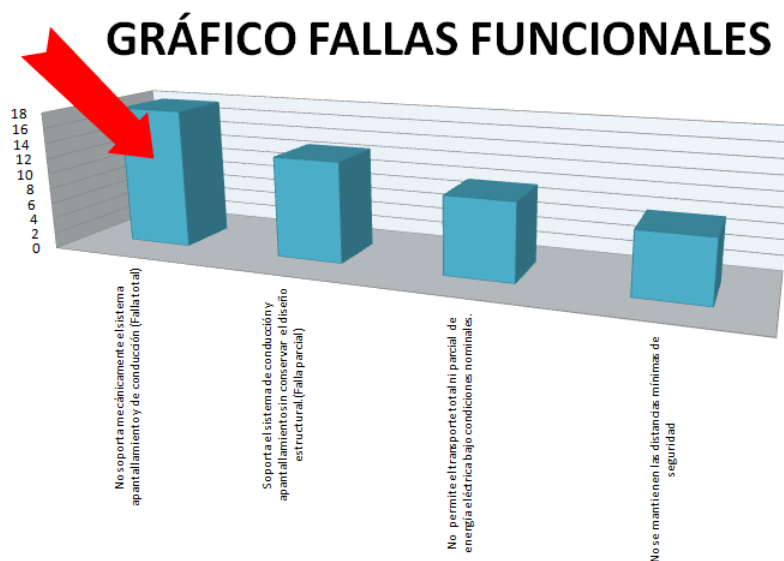


Figura 5.25: Gráfico de fallas Línea 500 kV

Se concluye que la falla funcional más recurrente entre estos equipos es: “No soporta mecánicamente el sistema pantallamiento y de conducción (Falla total) que presenta 18 fallas de este tipo, en esta línea, desde su fecha de puesta en servicio, hasta la fecha de corte del estudio.

- De las fallas reportadas, se obtiene la Figura 5.26, de modos de fallas.

GRÁFICO DE MODOS DE FALLA

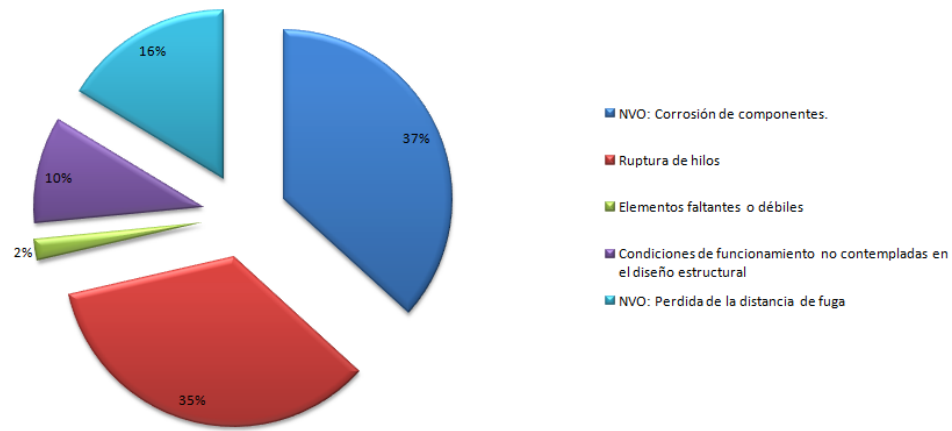


Figura 5.26: Gráfico de modos de fallas fabricante Línea 500 kV

Se concluye que el modo de falla más recurrente entre estos equipos es: “Corrosión de componentes”.

- Una vez extraída la información de falla de la base de datos, se genera el archivo necesario para estimar los parámetros mediante el botón “Reparable” y “No reparable”.
- Se obtiene de S-PLUS el ajuste de los datos mediante Power Law, ver Figura 5.27 y mediante Weibull, ver Figura 5.29.

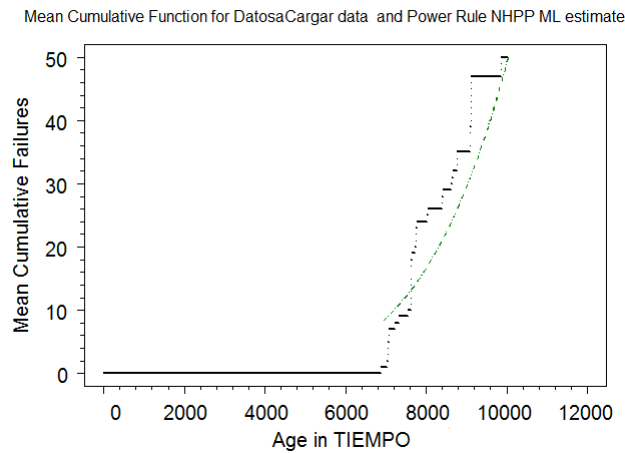


Figura 5.27: Modelado NHPP Power Law Línea 500 kV

Y el resultado numérico de los parámetros de η (eta) y β (beta) , ver resultado de Power Law Figura 5.28, ver resultado de Weibull Figura 5.30

	MLE	Std.Err.	95% Lower	95% Upper
eta	4499.580	527.2697	3466.151	5533.010
beta	4.873	0.6891	3.522	6.224

Figura 5.28: Parámetros estimados NHPP Power Law Línea 500 kV

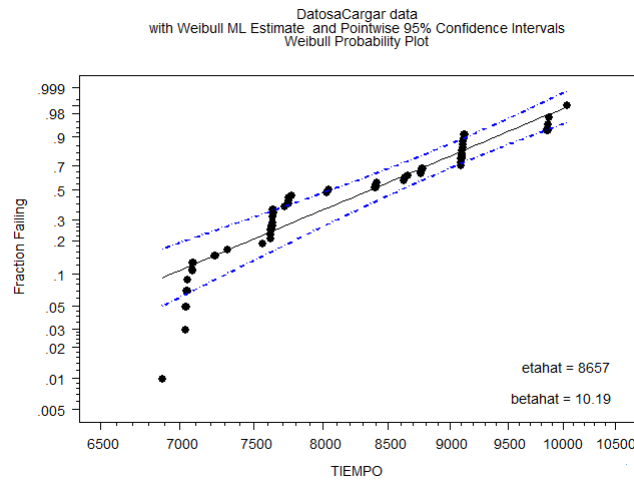


Figura 5.29: Modelado HPP Weibull Línea 500 kV

Parameter	Approx Conf. Interval			
	MLE	Std.Err.	95% Lower	95% Upper
mu	9.06617	0.01457	9.03762	9.0947
sigma	0.09815	0.01045	0.07966	0.1209
weibull.eta	8657.40039	126.10581	8413.73238	8908.1252
weibull.beta	10.18857	1.08483	8.26955	12.5529

Figura 5.30: Parámetros estimados HPP Weibull Línea 500 kV

Reemplazando los parámetros se obtienen los siguientes resultados

- En la Figura 5.31, se puede observar los resultados del número de fallas esperadas para los próximos diez años y su probabilidad de ocurrencia asociada, y en la Figura 5.32, un gráfico de la misma.

Año	Número de fallas por equipo acumuladas	Probabilidad acumulada de ocurrencia por equipo
2010	9	13,00%
2011	20	8,85%
2012	32	6,97%
2013	46	5,82%
2014	62	5,03%
2015	80	4,44%
2016	100	3,97%
2017	123	0,37%
2018	148	0,00%
2019	176	0,00%

Figura 5.31: Tasa de falla y probabilidad de ocurrencia asociada para la Línea 500 kV

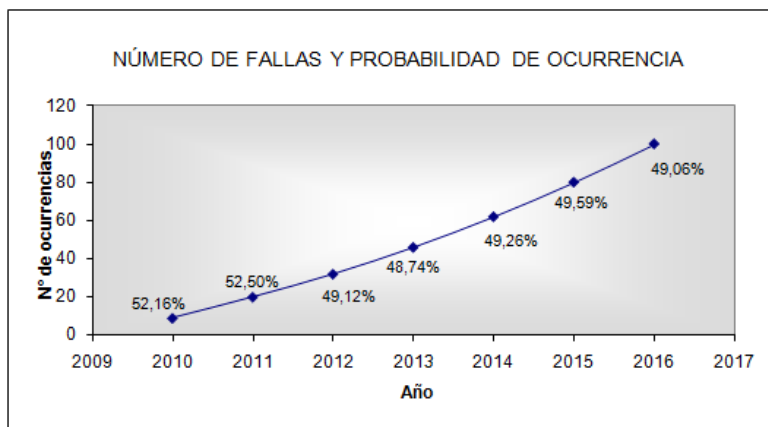


Figura 5.32: Gráfica de tasa de falla y probabilidad de ocurrencia asociada para la Línea 500 kV

- En la Tabla 5.22, se puede observar el resultado de la probabilidad total de falla y la probabilidad total de que no exista falla año a año, para equipo de esta familia bajo estudio.

Año	PROBABILIDAD DE FALLA TOTAL POR EQUIPO	
	Probabilidad de falla	Probabilidad de que NO exista falla
2010	99,99%	0,01%
2011	100,00%	0,00%
2012	100,00%	0,00%
2013	100,00%	0,00%
2014	100,00%	0,00%
2015	98,35%	1,65%
2016	49,06%	50,94%
2017	1,71%	98,29%
2018	0,00%	100,00%
2019	0,00%	100,00%

Tabla 5.22: Probabilidad total de falla Línea 500 kV

- En la Tabla 5.23, se puede observar el resultado de la confiabilidad de estos equipos, a través de los años, y en la Figura 5.33, un gráfico que muestra el comportamiento.

Año	Número de días	R(t)	F(t)
0	0	100%	0,000%
1	365	100,000%	0,000%
2	730	100,000%	0,000%
3	1095	100,000%	0,000%
4	1460	100,000%	0,000%
5	1825	100,000%	0,000%
6	2190	100,000%	0,000%
7	2555	100,000%	0,000%
8	2920	99,998%	0,002%
9	3285	99,995%	0,005%
10	3650	99,985%	0,015%
11	4015	99,960%	0,040%
12	4380	99,903%	0,097%
13	4745	99,782%	0,218%
14	5110	99,536%	0,464%
15	5475	99,066%	0,934%
16	5840	98,205%	1,795%
17	6205	96,696%	3,304%
18	6570	94,163%	5,837%
19	6935	90,093%	9,907%
20	7300	83,866%	16,134%
21	7665	74,882%	25,118%
22	8030	62,836%	37,164%
23	8395	48,151%	51,849%
24	8760	32,383%	67,617%
25	9125	18,103%	81,897%
26	9490	7,819%	92,181%
27	9855	2,367%	97,633%
28	10220	0,441%	99,559%
29	10585	0,043%	99,957%
30	10950	0,002%	99,998%
31	11315	0,000%	100,000%

Tabla 5.23: Confiabilidad y distribución acumulada de falla Línea 500 kV

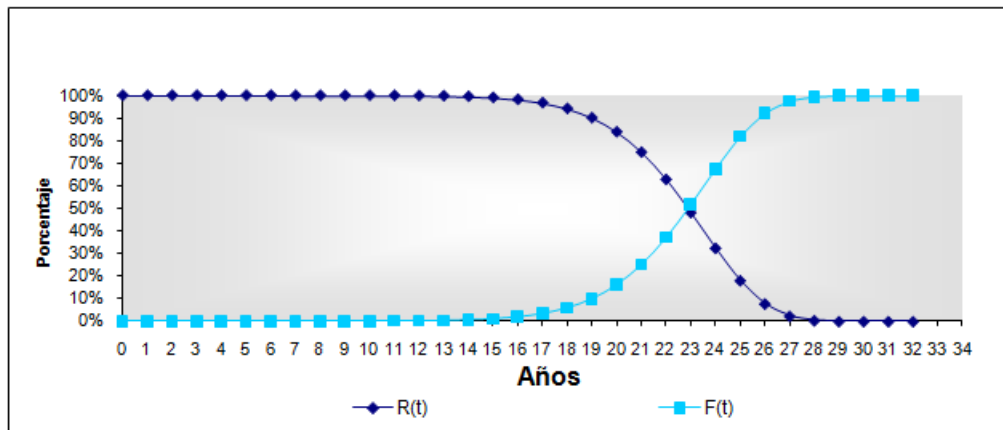


Figura 5.33: Gráfica de confiabilidad y distribución acumulada de falla Línea 500 kV

Conclusión: se espera una tasa alta de falla para los próximos años, causada por corrosión y por hilos rotos.

5.4. Comprobación de la metodología

Durante el desarrollo de este proyecto de grado se ha venido especificando la metodología del cálculo de confiabilidad de equipos de transmisión de energía eléctrica. En esta sección se pretende comprobar los resultados obtenidos mediante esta metodología y compararlos con datos reales.

Se quiere analizar la familia de equipos conformada por los interruptores del fabricante EEE y referencia del equipo FL245. En la Tabla 5.24 la cantidad de equipos que conforman esta familia en estudio y la cantidad de fallas ocurridas hasta el año 2007.

Categoría de equipo:	Subestaciones
Tipo de equipo:	Interruptor
Fabricante:	EEE
Referencia del equipo:	FL245
Cantidad de equipos de esta familia:	28
Número de equipos fallados hasta Dic/2007:	28

Tabla 5.24: Cantidad de equipos y fallas de los equipos EEE

Utilizando la herramienta *Confiabilidad* se extrajo de la base de datos el histórico de fallas y se preparó el archivo necesario para llevar a S-PLUS, de donde se obtuvo los valores de η y β , los

cuales se muestran en la Figura 5.34.

	MLE	Std.Err.	95% Lower	95% Upper
eta	3159.799	201.1646	2765.52	3554.075
beta	2.321	0.1329	2.06	2.581

Figura 5.34: Valores de η y β para familia de equipos EEE

Estos valores se reemplazaron en las ecuaciones (5.1) y (5.2), tomando como tiempo inicial Enero de 2008, y tiempo final Diciembre de cada uno de los siguientes diez años.

Fallas esperadas

$$E(t) = \frac{t_2^\beta - t_1^\beta}{\eta} \tag{5.1}$$

Probabilidad de que ocurran k o menos fallas

$$P[N(t) \leq k] = \sum \frac{1}{i!} \left[\frac{t^\beta}{\eta} \right]^i * e^{-\frac{t^\beta}{\eta}} \text{ para } i = 0, 1, 2, 3... \tag{5.2}$$

En la Tabla 5.25, se puede observar los resultados del número de fallas esperadas para los próximos diez años y su probabilidad de ocurrencia asociada, y en la Figura 5.35, un gráfico de la misma.

Año	Número de fallas por equipo acumuladas	Probabilidad acumulada de ocurrencia de N o menos eventos por equipo
2008	1	35,92%
2009	2	45,65%
2010	3	43,57%
2011	5	55,83%
2012	6	48,21%
2013	8	54,79%
2014	9	46,78%
2015	11	50,95%
2016	13	53,81%
2017	15	55,65%

Tabla 5.25: Tasa de falla y probabilidad de ocurrencia asociada para la familia de equipos EEE

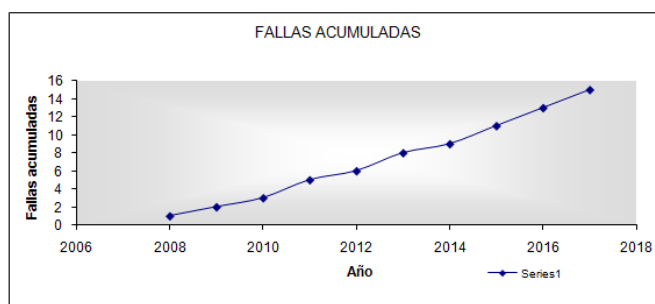


Figura 5.35: Gráfica de tasa de falla y probabilidad de ocurrencia asociada para la Línea

De lo anterior se deduce que cada equipo de esta familia presentará una falla en el 2008, con una probabilidad del 35,92 %.

En la Tabla 5.26 se muestra un resumen de las fallas ocurridas durante los años 2008 y 2009.

Identificador Equipo	Fecha de la falla	Cantidad de fallas
100343	03/07/2009	1
100363	24/02/2008	1
	07/12/2008	1
100383	24/02/2008	1
100403	25/02/2009	1
103363	26/09/2008	1
	03/10/2008	1
103600	21/02/2009	1
103668	29/12/2009	1
103703	28/07/2008	1
	12/11/2008	1
109030	10/05/2009	1
109197	10/05/2009	1
109215	25/02/2009	1
	29/07/2009	2
200251	26/07/2008	1
200273	03/07/2009	1
200738	21/01/2008	1

Tabla 5.26: Fallas ocurridas durante los años 2008 y 2009

En la Tabla 5.27 se muestra la cantidad de equipos fallados durante los años 2008 y 2009.

Categoría de equipo:	Subestaciones
Tipo de equipo:	Interruptor
Fabricante:	EEE
Referencia del equipo:	FL245
Cantidad de equipos de esta familia:	28
Número de equipos fallados durante el año 2008 y 2009:	14

Tabla 5.27: Cantidad de equipos fallados durante los años 2008 y 2009

De este modo se comprueba la veracidad de esta metodología, al aproximar de una forma muy cercana lo que ocurriría durante los años 2008 y 2009.

Capítulo 6

CONCLUSIONES

- Se estudió el Proceso Estocástico y parte de las características que este posee, las cuales se aplicaron para realizar estudios de confiabilidad.
- Se elaboró la metodología para realizar el cálculo de confiabilidad, y se implementó en un proceso sistematizado.
- El proceso sistematizado en mención utilizó las herramientas: Access, Excel y S-PLUS.
- Se elaboró un módulo de confiabilidad que funciona como base de datos, dentro de la herramienta informática realizada en el proyecto “Metodología RCM aplicada a transformadores de potencia” elaborada por Lyda Marisel Torres Álvarez y dirigida por Hermann Raúl Vargas.
- Se especificó la base de datos con la información de falla de varias familias de: Relés de protección función distancia, interruptores, transformadores de potencial y líneas de transmisión de energía eléctrica.
- Se realizó el cálculo de confiabilidad para los próximos diez años para una familia de relés función distancia, una familia de interruptores, una familia de transformadores de potencial y una línea de transmisión de energía eléctrica.
- Se comprobó que los resultados obtenidos con esta metodología son muy cercanos a la realidad.
- Esta propuesta de “Cálculo de Confiabilidad” tiene una baja dependencia de los errores en la información de entrada, ya que la información que toma de la base de datos es la fecha

de inicio de la falla y la fecha de puesta en servicio y esta información se controla en la mayoría de empresas.

- Esta metodología supone que la reparación se realiza el mismo día de la falla, no existe tiempo de reparación apreciable para ser considerado.
- Para terminar, cabe agregar que la calidad de los resultados depende directamente de la calidad de información ingresada en los registros de las fallas.
- Se recomienda mirar metodologías más complejas que a su vez podrían dar mayor información como lo es la metodología de cadenas de Markov; sin embargo antes de implementarla se debe contar con información más específica sobre cada uno de los eventos.
- Se recomienda elaborar una herramienta autocontenida que no requiera de software adicional.

Bibliografía

- ARRIAGA MASS, Aldo Gary. Evaluación de confiabilidad en sistemas eléctricos de distribución. Pontificia Universidad Católica de Chile, Chile, 1994.
- DUARTE HOLGUÍN, Juan Carlos. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad usando métodos de simulación del ciclo de vida. CMRP Asset Management Solutions Ltda. – AMS Group, 2006.
- LUNA, Ana Eugenia. Teoría de la confiabilidad, Universidad de Buenos Aires, 2005.
- Ascher H, Feingold H, Repairable systems reliability: Modeling, inference, misconceptions and their causes, Marcel Dekker, 1984.
- ASIMOV, Cisaac. El libro de los sucesos, Ediciones Maeva-Lasser, Madrid, 2002.
- ZAPATA, Carlos J. Análisis Probabilístico y Simulación. Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, 2008.
- COHEN, Haggai. Space Reliability Technology: A Historical Perspective, IEEE Transactions on Reliability, 33, 36—40, 1984.
- MARTINEZ, Wendy L. MARTINEZ, Angel R. Computational Statistics Handbook with Matlab. Chapman & Hall/CRC, E.U.A, 2002.
- COPPOLA, Anthony. Reliability Engineering of Electronic Equipment: A Historical Perspective, IEEE Transactions on Reliability, 1984.
- CROW, L. H, “Evaluating the reliability of repairable systems”, IEEE Annual Reliability and Maintainability Symposium, 1990.
- GRIFUL POSATI, Eulália. Fiabilidad Industrial, 2nd ed. Edicions UPC, Barcelona, 2003.

- IEC “Power law model – Goodness-of-fit test and estimation methods”, Standard 61710, 2000.
- KLEFSJO, B. KUMAR, U. “Goodness-of-fit tests for the power law process based on the TTT plot”, IEEE Transactions on Reliability, Vol. 41, No. 4, December 1992.
- Teoría de la fiabilidad, E. Luna, Universidad de Buenos Aires, 2005. Disponible en: <http://www.edicionsupc.es/ftppublic/pdfmostra/ME03301M.pdf>, 2005.
- LUNA, Ana. Teoría de la Confiabilidad, disponible en <http://focuslab.lfp.uba.ar/public/CursoTErrores2k4/ExamenFinal/Weibull.PDF>, 2007.
- MANOTAS, Eva Cristina. LOPERA, Carlos Mario. “Metodología para el análisis de datos de recurrencia aplicada a los interruptores FL245”, Documento ISA – DGM-2004-Y-S-ET-023-V1, Marzo 2004.
- Metodología para la aplicación de MCC en ISA, Planeación del man-tenimiento, 2010.
- MEEKER, William Q. ESCOBAR, Luis A. Statistical Methods for Reliability Data. Wiley, New York, 1998.
- LAWLESS J., KLEFSJO, B. Some Issues in the Collection and Analysis of Field Reliability Data, in Survival Analysis: State of Art, Academic Publishers, 1992.
- ESCOBAR, Luis A. VILLA D., Enrique R., YAÑEZ, Sergio. Probabilidad y estadística, department of experimental statistics, louisiana state university, México, 2000.
- LLINÁS, R. R. El cerebro y el mito del yo, Editorial Grupo Norma. Colombia, Página 25, 2003.
- PARK W., J. KIM Y., G. “Goodness-of-fit tests for the power law process”, IEEE Transactions on Reliability, Vol. 41, No. 1, March 1992.
- PARK W., J. KIM Y., G. “More goodness-of-fit tests for the power law process”, IEEE Transactions on Reliability, Vol. 43, No. 2, June 1994.
- RAUSAND, M. HOYLAND, A. System Reliability Theory, 2nd ed., Wiley, New York, 2004.
- PASCUAL,R. El Arte de Mantener. Universidad de Chile, 2007.
- BILLINTON, Roy. ALLAN, Ronald N. Reliability Evaluation of Engineering Systems, 2nd ed, Springer , E.U.A., 1992.

Teoría de la fiabilidad, Ediciones UPC, España, 2003

TORRES ÁLVAREZ, Lyda Marisel, Metodología RCM aplicada a transformadores de potencia, Universidad Industrial de Santander, 2010.

VISWANATHAN ARUNACHALAM, Procesos puntuales, densidades producto y biología celular, Revista Colombiana de Estadística, Volumen 28 N°1 pp. 1 a 16 de Junio 2005.

EEB, URL. <http://www.eeb.com.co/?idcategoria=1157> [consultado en Octubre de 2010].

GESTIOPOLIS, URL. <http://www.gestiopolis.com/recursos/documentos/fulldocs/ger1/serie-tiempo.htm> [consultado en Septiembre de 2010].

FERMAT, URL. <http://www.portalplanetasedna.com.ar/fermat.htm>, 2010.

WHARTON, URL. <http://www.wharton.universia.net/index.cfm?fa=viewArticle&ID=667>, 2010.

LORIEN, URL. <http://lorien.ncl.ac.uk/ming/spc.htm>, 2010.

WIKIPEDIA, URL. http://en.wikipedia.org/wiki/Stochastic_process, 2010.

WIKIPEDIA, URL. http://es.wikipedia.org/wiki/Sector_el_%C3%A9ctrico_en_Colombia, 2010.

SECTOR, URL. <http://www.sectormatematica.cl/historia.htm> [consultado en Octubre de 2010].

WIKIPEDIA, URL. http://es.wikipedia.org/wiki/Teor_%C3%ADa_de_la_probabilidad.

WIKIPEDIA, URL. <http://es.wikipedia.org/wiki/Probabilidad>, 2010.

Apéndice A

GUÍA DEL USUARIO

A.1. INTRODUCCIÓN

RCM II es una herramienta informática desarrollada en Microsoft Access 2007, cuyo fin es el soporte en la aplicación de la metodología RCM ó Mantenimiento Centrado en Confiabilidad a determinados Transformadores de Potencia, la cuál fué ajustada para que funcione como base de datos para el aplicativo *Confiabilidad*.

Confiabilidad es un aplicativo desarrollado en Microsoft Excel 2007, cuyo fin es elaborar los archivos necesarios para que necesita S-PUS como base de datos y llevar a cabo los cálculos necesarios de confiabilidad. En la Figura A.1 se observa la interacción entre el aplicativo y la base de datos.

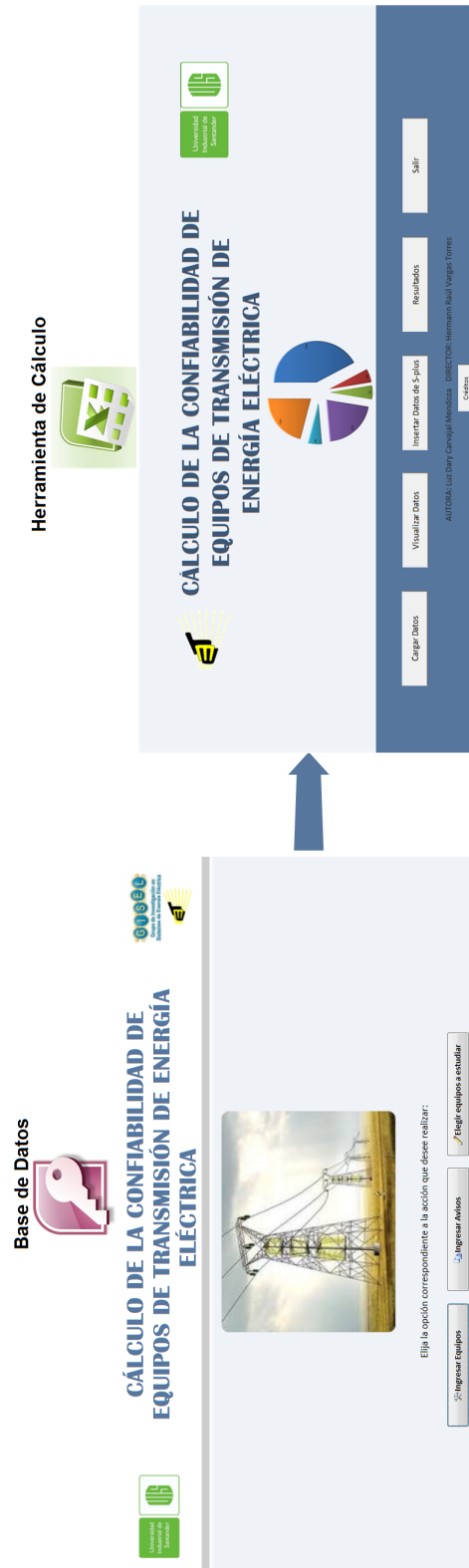


Figura A.1: Conexión RCM II con Confiabilidad

A.2. REQUERIMIENTOS

Las herramientas han sido elaboradas en Microsoft Access 2007 (*RCM II*) y en Microsoft Excel 2007 (*Confiabilidad*), por tanto el único requerimiento importante es que el equipo tenga instalado el paquete de Microsoft Office 2007. En caso de tener instalado el paquete Office 2003 instale en su equipo la Actualización de Compatibilidad para Sistemas de Microsoft Office 2007, que puede descargar gratuitamente de la página oficial del Microsoft.

Se accede a la herramienta como a cualquier otro archivo de Microsoft Office: copiando los dos archivos en una misma ubicación en el equipo y dando doble click en cada uno de ellos. A.2

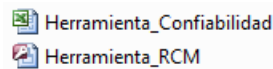


Figura A.2: Ubicación de las herramientas

Una vez abierta *RCM II* y *Confiabilidad* se debe habilitar su contenido de la siguiente manera:

1. Hacer click en el botón Opciones de la "Advertencia de Seguridad"
2. Hacer click en "Habilitar este contenido" y luego Aceptar tal como se observa en la Figura A.3

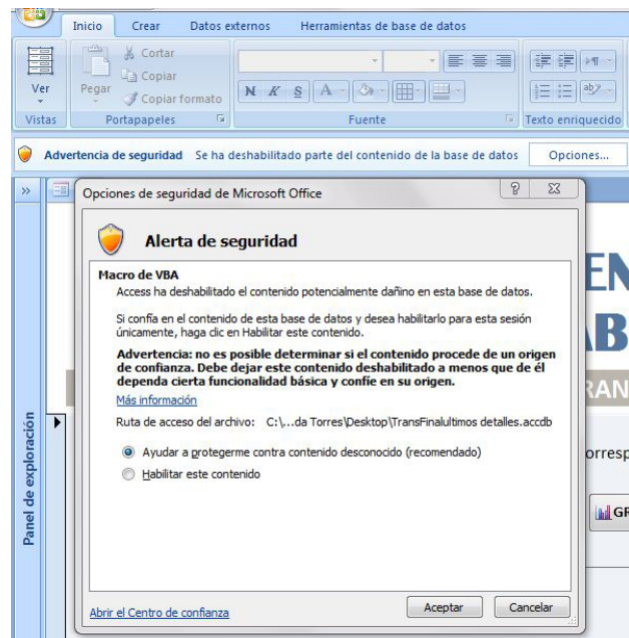


Figura A.3: Habilitando la seguridad

En la herramienta *Confiabilidad* (Microsoft Excel) se deben activar unas referencias de la siguiente forma:

1. Oprima Alt+F11
2. Hacer click en "Herramientas" y luego en "Referencias"
3. Active las siguientes referencias: "Visual Basic for Applications", "Microsoft Excel 12.0 Object Library", "OLE Automation", "Microsoft Office 12.0 Object Library", "Microsoft Access 12.0 Object Library", "Microsoft Power Point 12.0 Object Library", "Microsoft Forms 2.0 Object Library", "Microsoft Active X Data Objects 2.7 Object Library"
4. Luego hacer click en "Aceptar" y cierre el modulo de Visual Basic.

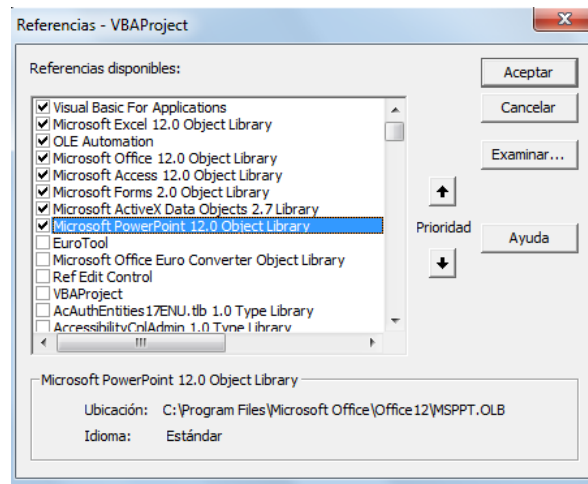


Figura A.4: Habilitando las referencias

Ahora ya está listo para que haga uso de las herramientas.

A.3. Estructura de la herramienta RCM II

Una vez habilitado el contenido de la herramienta *RCM II* aparece la pantalla inicial, tal como se observa en la Figura A.5.



Figura A.5: Página principal de RCM II

Esta herramienta consta de dos partes: Una aplicada a transformadores y otra al cálculo de confiabilidad. En este apéndice se tratará sobre el cálculo de confiabilidad.

Para usar esta herramienta como base de datos, se accede al módulo de cálculo de confiabilidad mediante el botón “Calculo de confiabilidad”. Ver Figura A.5 y A.6.

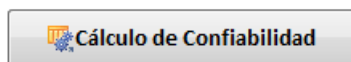


Figura A.6: Botón Cálculo de Confiabilidad

Al oprimir el botón de la Figura A.6 va a quedar ubicado en el: **MÓDULO PRINCIPAL DE CONFIABILIDAD** tal como se muestra en la Figura A.7:



Figura A.7: Página del módulo Cálculo de Confiabilidad

Este Módulo Principal de confiabilidad está compuesto por los siguientes módulos:

- Incluir equipos en la base de datos
- Incluir información del equipo fallado
- Elegir equipos a estudiar

A.3.1. Incluir equipos en la base de datos

Este módulo se usa para incluir los nuevos equipos y consultar los equipos existentes en la base de datos, como se muestra en la Figura A.8.

Universidad Industrial de Santander

INCLUIR EQUIPOS EN LA BASE DE DATOS

Cantidad de equipos registrados: 230

Identificador del equipo: 12345

Fecha de puesta en Servicio: 01/06/2010

Tipo de equipo: Interruptor 230

Nombre del equipo: Interruptor 230 kV-L170

Referencia del equipo: FL245

Fabricante: Magrini

Status en el sistema: MONT

Categoría del equipo: Subestaciones

Fecha de baja de servicio:

Tensión: 230

Módulo Principal | Reporte de Equipos | Gráfico de Equipos

stro: 229 de 229 | Sin filtro | Buscar

Siguiete Registro

Nuevo Registro

Figura A.8: Pantalla de incluir Equipos

Para incluir un nuevo equipo se debe hacer click en el botón “Nuevo registro” ubicado en la parte inferior izquierda de la pantalla, ver Figura A.8 y se deben llenar los siguientes espacios:

- Cantidad de equipos registrados: Corresponde al número de equipos que se encuentran registrados en al base de datos, este número se genera de forma automática por el programa.
- Identificador del equipo: Es el número que identifica el equipo.
- Fecha de puesta en servicio: Es la fecha en que el equipo entró en servicio.
- Tipo de equipo: Es la denominación genérica del equipo, se indica a que tipo equipo se esta refiriendo, por ejemplo:
 - Interruptor
 - Transformador
 - PT
 - CT

- Reactor
- Compensador
- Seccionador
- Pararrayos
- Teleprotección
- Relé
- RTU(Remote terminal Unit)
- Banco de baterías
- Línea

Este criterio hará que los estudios se puedan realizar de forma general o específica.

- Nombre del equipo: Es una denominación un poco más específica que se le da a cada uno de los equipos, por ejemplo:

- Interruptor 110
- Interruptor 230
- Interruptor 500
- Transformador monofásico
- Transformador trifásico
- PT inductivo
- PT capacitivo
- Relé 21 distancia
- Relé 87T

- Referencia del equipo: Es la referencia que da los fabricantes a sus equipos, por ejemplo:


En el caso de los interruptores

- FL 245
- HPL
- 3AQ

En el caso de los Relé 21 distancia

- PXLN
 - MICOM
 - EPAC
 - LFZR
 - LFZP
- Fabricante: Es el nombre del fabricante al cuál pertenece el equipo, por ejemplo:
- ABB
 - Siemens
 - Hyundai
 - Mitsubishi
 - Magrini
 - Alstom
 - Areva
 - Switchgear
 - Merlin-gerin
 - Schneider
- Status en el sistema: Este status indica si el equipo actualmente se encuentra en funcionamiento o por el contrario fue dado de baja. Se debe colocar uno de los siguientes status:
- MONT: El equipo se encuentra montado y en funcionamiento
 - BAJA: El equipo estuvo en servicio durante cierto tiempo y fué dado de baja.
- Categoría del equipo: Es el nombre general que se le da a cierto tipo de equipos de acuerdo con su funcionamiento y se debe colocar una de las tres siguientes categorías que pueden contener los equipos enunciados o los que el usuario defina en esta categoría:
1. SUBESTACIONES: Para el caso de los siguientes equipos:

- Interruptor
 - Transformador
2. LÍNEAS: Para el caso de los siguientes equipos:
- Línea 1
 - Línea 2
3. SPAT (Sistemas de protección, automatización y telecomunicaciones): Para el caso de los siguientes equipos:
- Relé
 - Teleprotecciones
 - Banco de baterías
- Fecha de baja de servicio: Esta fecha se registra cuando el equipo en dado de baja.
 - Tensión: Corresponde a la tensión de alimentación del equipo.

Una vez incluidos todos los equipo se podrá consultar cada equipo ingresado haciendo click en la opción “Siguiente registro”  ubicado en la parte inferior izquierda del módulo “Incluir equipos” ver Figura A.8, donde se podrán observar los diferentes equipos registrados.

En la parte inferior se encuentran las opciones que se muestran en la Figura A.9.

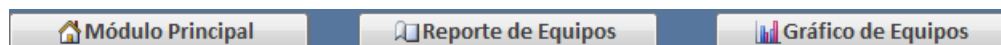


Figura A.9: Botones inferiores “Incluir equipo en la base de datos”

- Cálculo de Confiabilidad: Esta opción se usa para regresar a la página inicial del cálculo de confiabilidad.
- Reporte de Equipos: Esta opción genera un reporte escrito de los equipos que se encuentran en la base de datos. Como se puede observar en la Figura A.10.
- Gráfico de Equipos: Esta opción genera un reporte gráfico de los equipos que se encuentran en la base de datos y se puede observar en la Figura A.11.

REPORTE DE EQUIPOS DE LA BASE DE DATOS

miércoles, 15 de septiembre de 2010
02:31:03 p.m.

[Módulo Principal](#)

Cantidad de equipos registrados	Equipo	Fecha de puesta en Servicio	Tipo de equipo	Denominación	Denominación tipo
35	100403	01/01/1981	Interruptor	Interruptor 230 kV-L190	FL245
36	103363	21/12/1991	Interruptor	Interruptor 230 kV-L170	FL245
37	103405	21/12/1991	Interruptor	Interruptor 230 kV-L190	FL245
38	103532	26/06/1987	Interruptor	Interruptor 230 kV-L230	FL245
39	103566	26/06/1987	Interruptor	Interruptor 230 kV-L250	FL245
40	103600	26/06/1987	Interruptor	Interruptor 230 kV-L140	FL245
41	103634	26/06/1987	Interruptor	Interruptor 230 kV-L160	FL245
42	103668	26/06/1987	Interruptor	Interruptor 230 kV-L190	FL245
43	103703	26/06/1987	Interruptor	Interruptor 230 kV-L170	FL245
44	108699	01/01/1989	Interruptor	Interruptor 230 kV-L110	FL245
45	108985	01/01/1983	Interruptor	Interruptor 230 kV-L250	FL245
46	109008	01/01/1983	Interruptor	Interruptor 230 kV-L270	FL245
47	109030	01/01/1982	Interruptor	Interruptor 230 kV-U280	FL245
48	109117	01/01/1982	Interruptor	Interruptor 230 kV-U260	FL245
49	109136	01/01/1982	Interruptor	Interruptor 230 kV-L230	FL245
50	109197	01/01/1982	Interruptor	Interruptor 230 kV-U220	FL245

Figura A.10: Reporte escrito de los equipos

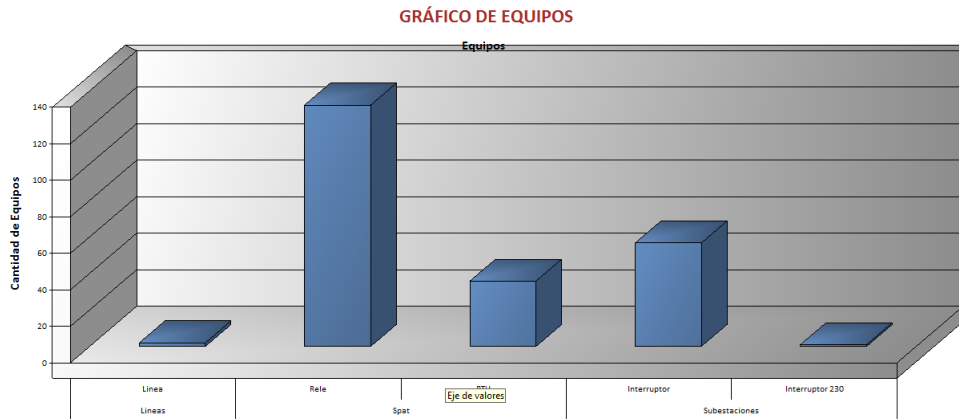


Figura A.11: Reporte gráfico de los equipos

A.3.2. Incluir información del equipo fallado

Teniendo incluidos en la base de datos los diferentes equipos, es necesario incluir la información de las fallas. Para incluirlas se debe hacer click en el botón “Incluir información del equipo fallado” ubicado en el Módulo Principal de Confiabilidad. Este módulo se utiliza para incluir los reportes de los equipos fallados y consultar los reportes existentes en la base de datos. Ver Figura A.12.

INCLUIR INFORMACIÓN DEL EQUIPO FALLADO

Identificador de la falla:	<input type="text"/>	Falla total:	<input checked="" type="checkbox"/>
Identificador del equipo:	200948	Duración de la falla total (Hrs):	<input type="text" value="8"/>
Nombre del equipo:	Interrupor 230 kV-U120	Fecha de puesta en marcha:	<input type="text" value="31/01/1999"/>
Fecha de inicio de la falla:	<input type="text" value="19/01/1999"/>	Hora de puesta en marcha:	<input type="text" value="03:47:11 p.m."/>
Hora de inicio de la falla:	<input type="text" value="08:47:00 a.m."/>	Falla funcional:	El interruptor no abre correctamente (El tiempo de apertura esta por fuera de la
Fecha de Inicio de la reparación:	<input type="text" value="19/01/1999"/>	Modo de falla:	Bobina para la apertura no opera por: Bobina de apertura abierta o cortocircuitada
Hora de Inicio de la reparación:	<input type="text" value="08:47:11 a.m."/>		

Módulo Principal | Reporte de equipos fallados

Registro: 1 de 1340 | Sin filtro | Buscar

Nuevo Registro | **Siguiete Registro**

Figura A.12: Página del módulo incluir información del equipo fallado

Para incluir un nuevo registro de un equipo fallado se debe hacer click en el botón “Nuevo registro” ubicado en la parte inferior de la pantalla y se deben llenar los siguientes espacios:

- **Identificador de la falla:** Es el código correspondiente al reporte de cada falla, este código es generado automáticamente por el programa.
- **Identificador del equipo:** Corresponde al código que se le ingresó al equipo cuando fue registrado en la base de datos.
- **Nombre del equipo:** Es el nombre que describe al equipo, y es el mismo que se ingresó cuando el equipo fue registrado en la base de datos.
- **Fecha de inicio de la falla (dd/mm/aaaa):** Es la fecha en que el equipo falló o se detectó la falla funcional.
- **Hora de inicio de la falla (hh:mi:ss a.m.):** Es la hora en que el equipo falló o se detectó la falla. Formato.
- **Fecha de inicio de la reparación (dd/mm/aaaa):** Es la fecha en la cuál se inician los trabajos de reparación de la falla funcional.

- Hora de inicio de la reparación (hh:mi:ss a.m.): Es la hora en la cuál se inician los trabajos de reparación de la falla funcional.
- Falla total: Indica si el equipo falló totalmente, es decir que no puede cumplir ninguna de sus funciones.
- Duración de la falla total (h): Corresponde al total del tiempo en que el equipo estuvo fallado totalmente.
- Fecha de puesta en marcha (dd/mm/aaaa): Es la fecha en que el equipo fue puesto en marcha nuevamente o cuando quedó reparada la falla funcional.
- Hora de puesta en marcha (hh:mi:ss a.m.): Es la hora en que el equipo fue puesto en marcha nuevamente o cuando quedó reparada la falla funcional.
- Falla funcional: Es la descripción de la falla funcional presente en el equipo.
- Modo de falla: Es la descripción del como se evidencia la falla funcional.


Nota: Todas las fechas pueden elegirsen dando click en el espacio definido para tan fin.

En la parte inferior se encuentran las opciones que se muestran en la FiguraA.13:



Figura A.13: Botones inferiores “Incluir información del equipo fallado”

- Cálculo de Confiabilidad: Esta opción se usa para regresar a al Módulo Principal de confiabilidad.
- Reporte de equipos fallados: Esta opción genera un reporte escrito de la información de las fallas de la base de datos tal y como se muestra en la Figura A.10.



REPORTE DE EQUIPOS FALLADOS DE LA BASE DE DATOS miércoles, 15 de septiembre de 2010
03:31:40 p.m. Módulo Principa

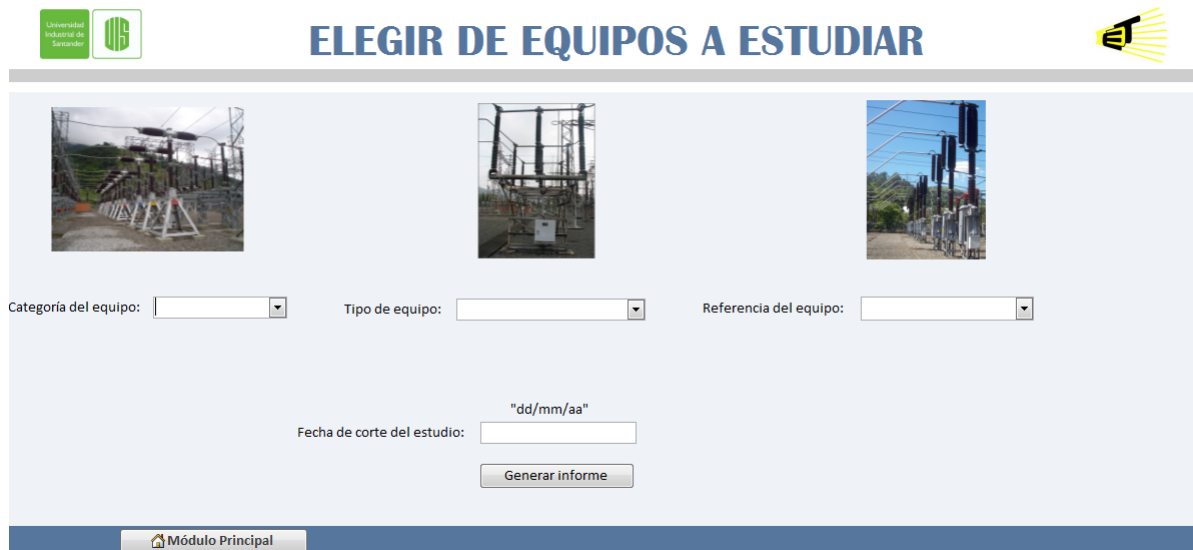
Aviso	Equipo	Denominación	Inicio de avería	Hora de inicio de avería	Inicio deseado	Hora de inicio deseado	Parada
1	200948	Interruptor 230 kV-U120	19/01/1999	08:47:00 a.m.	19/01/1999	08:47:11 a.m.	<input checked="" type="checkbox"/>
2	117475	Interruptor 230 kV-A180	08/03/2001	08:00:00 a.m.	08/03/2001	08:00:00 a.m.	<input type="checkbox"/>
3	117449	Interruptor 230 kV-U240	26/05/2001	07:00:00 a.m.			<input checked="" type="checkbox"/>
4	117347	Interruptor 230 kV-U260	15/08/2003	03:15:00 a.m.			<input checked="" type="checkbox"/>

Figura A.14: Reporte escrito de equipos fallados de la base de datos

A.3.3. Elegir equipos a estudiar

Teniendo actualizada la base de datos con la información tanto de los equipos, como de las diferentes fallas, se pueden realizar los diferentes estudios.

Para elegir los equipos a estudiar se debe hacer click en el botón “Elegir equipos a estudiar” ubicado en el Módulo Principal de Confiabilidad. En este módulo se selecciona la clasificación de los equipos a estudiar, como se muestra en la Figura A.15. Esta opción también se puede ejecutar mediante el aplicativo de *Confiabilidad* en Microsoft Excel.



Universidad
Industrial de
Santander

ELEGIR DE EQUIPOS A ESTUDIAR

Categoría del equipo: Tipo de equipo: Referencia del equipo:

Fecha de corte del estudio: "dd/mm/aa"

Generar informe

Módulo Principal

Figura A.15: Página “Elegir equipos a estudiar”

En este menú se debe elegir para el equipo de interés la categoría del equipo, el tipo de equipo y la referencia del equipo, con el fin de generar informes sobre cada una de las fallas de los equipos elegidos.

- Fecha de corte del estudio: Es la fecha a partir del cuál se comienza a hacer la predicción de las fallas.
- Generar informe: Al hacer doble click en este botón se genera una tabla con las fallas de los equipos elegidos.

Nota: Se recuerda que la herramienta *RCM II* elaborada en Microsoft Acces funciona principalmente como base de datos. Ahora se presenta el aplicativo de *Confiabilidad* que se desarrolló en Microsoft Excel 2007, cuyo fin es generar los archivos que empleará S-PLUS para llevar a cabo los cálculos de confiabilidad.

A.4. Estructura del aplicativo Confiabilidad

Confiabilidad es un aplicativo desarrollado en Microsoft Excel 2007, cuyo fin es elaborar los archivos necesarios para que necesita S-PUS como base de datos y llevar a cabo los cálculos necesarios de confiabilidad.

En la Figura A.16 se puede observar la página de inicio del aplicativo de confiabilidad.



Figura A.16: Página de Inicio “Aplicativo Confiabilidad”

Esta herramienta consta de cinco módulos; desplegados en la parte inferior:

- Cargar datos
- Visualizar datos
- Insertar datos de S-PLUS
- Resultados
- Salir

A.4.1. Cargar datos

Primero se deben cargar los datos de la base de datos, es decir elegir los equipos a los cuales se les quiere realizar el estudio. Esta elección se puede realizar en cualquiera de las dos herramientas. Se sugiere mantener actualizada la base de datos para que cada vez que se necesite realizar un estudio sólo se interactúe con el aplicativo “Confiabilidad”, ya que esta herramienta toma los datos de *RCM II*. En la Figura A.17 se puede observar el formulario que se debe diligenciar para extraer el historial de fallas de los equipos a estudiar de la base de datos, que aparece al oprimir el botón “Cargar Datos” en la página de inicio.

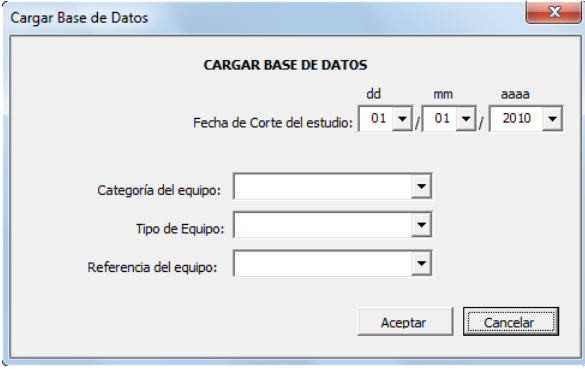


Figura A.17: Formulario de “Cargar datos”

En este formulario se visualizan cada uno de los criterios que se tienen a disposición del usuario para que elija los equipos a estudiar:

- Fecha de corte del estudio: Es la fecha a partir de la cuál se hace la predicción de las fallas.
- Categoría del equipo: Es el nombre general que se le da a cierto tipo de equipos de acuerdo con su funcionamiento. Esta puede ser: Subestaciones, Líneas, Spat.
- Tipo de equipo: Es la denominación genérica del equipo. Indica a que tipo de equipo se está refiriendo el estudio.
- Referencia del equipo: Es la referencia que dan los fabricantes a sus equipos.

Una vez elegidos los equipos se da click en el botón “Aceptar” y este programa hace conexión con la base de datos y trae las fallas de los equipos elegidos, como se puede observar en la FiguraA.18.



 		BASE DE DATOS				Borrar Hoja	Gráfico Fallas Funcionales	Reparable			
						Volver a Menú	Gráfico Modos de Falla	No Reparable			
DENOMINACIÓN TIP	FABRICANTE	FECHA DE PUESTA EN SERVICIO	INICIO DE AVERÍA	EQUIPO	TIEMPO EN DIAS	STATUS	EDAD	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	Tiempo	
3AQ	SIEMENS	34304		106559		Start	5875			0	
3AQ	SIEMENS	34304	38904	106559	4600	Fail	5875	No preserva la seguridad	Baja presión de aceite	4600	
3AQ	SIEMENS	34304	40120	106559		5816	Fail	5875	No envía señales o la	Indicación errónea	5816
3AQ	SIEMENS	34304		106559		End	5875			5875	
3AQ	SIEMENS	33970		106585		Start	6209			0	
3AQ	SIEMENS	33970	38904	106585	4934	Fail	6209	No preserva la seguridad	Baja presión de aceite	4934	
3AQ	SIEMENS	33970		106585		End	6209			6209	
3AQ	SIEMENS	34669		117347		Start	5510			0	
3AQ	SIEMENS	34669	37848	117347	3179	Fail	5510	El interruptor no abre	No se encontró la bobina	3179	
3AQ	SIEMENS	34669		117347		End	5510			5510	
3AQ	SIEMENS	34669		117449		Start	5510			0	
3AQ	SIEMENS	34669	37037	117449	2368	Fail	5510	El interruptor no abre	Bobina para la apertura	2368	
3AQ	SIEMENS	34669		117449		End	5510			5510	
3AQ	SIEMENS	36664		117475		Start	3515			0	
3AQ	SIEMENS	36664	36958	117475	294	Fail	3515	El interruptor no abre	Se resetea en el sensor	294	
3AQ	SIEMENS	36664		117475		End	3515			3515	
3AQ	SIEMENS	36417		123174		Start	3762			0	
3AQ	SIEMENS	36417	38439	123174	2022	Fail	3762	No preserva la seguridad	Baja presión de gas	2022	
3AQ	SIEMENS	36417		38675	123174	2258	Fail	3762	No preserva la seguridad	Baja presión de gas	2258

Figura A.18: Datos extraídos de RCM II

En la parte superior de la ventana aparecen un serie de botones que se describen a continuación:

- **Borrar Hoja:** Aparece una cuadro de diálogo como se muestra en la Figura A.19, donde se pide confirmación para borrar los datos.

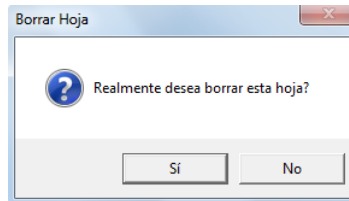


Figura A.19: Opción de borrar hoja

- **Volver a Menú:** Con esta opción se regresa nuevamente al menú inicial.
- **Gráfico de Fallas Funcionales:** Ingresando a esta opción se obtiene un gráfico de las fallas funcionales presentes en los equipos en estudio como se muestra en la Figura A.20

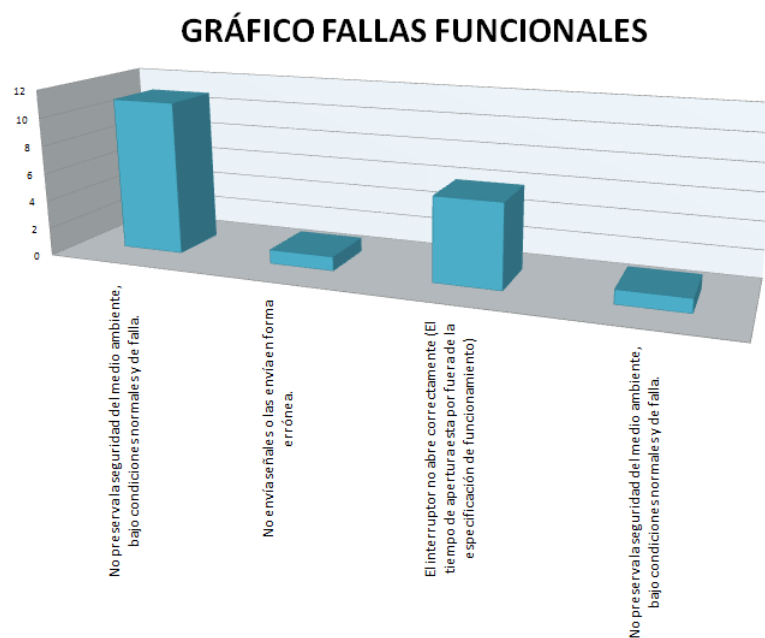


Figura A.20: Gráfico de fallas funcionales

- Gráfico Modos de Falla: Ingresando a esta opción se obtiene un gráfico como se muestran en la Figura A.21, sobre los modos de falla presentes en los equipos en estudio.

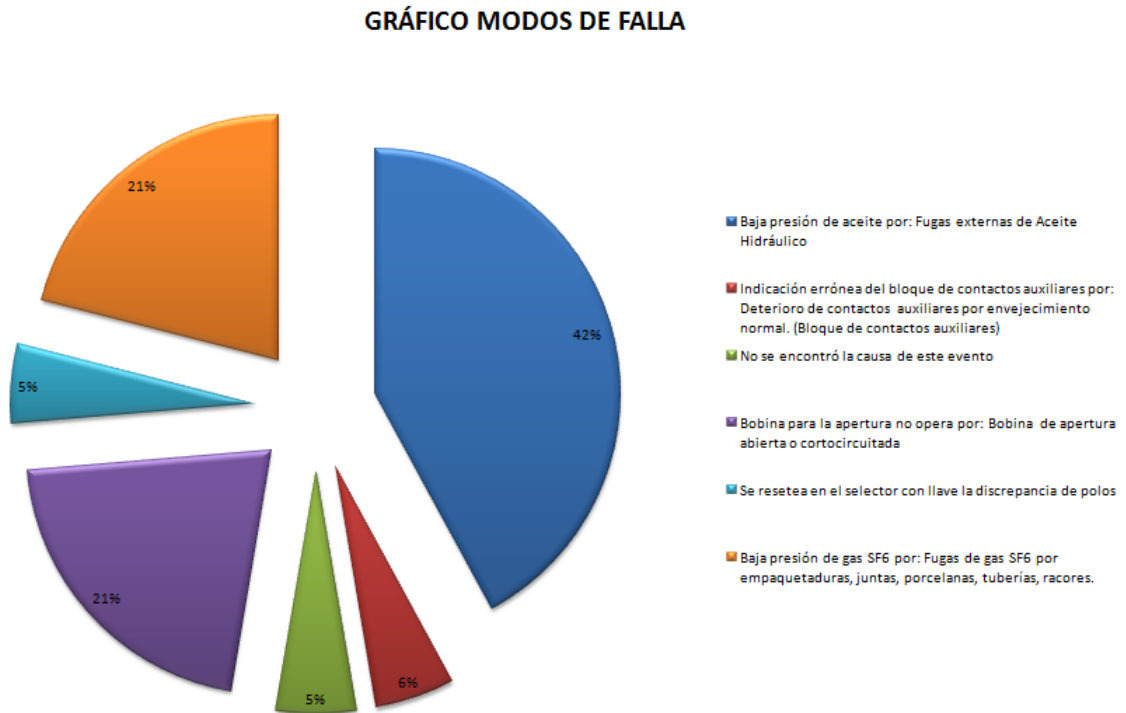


Figura A.21: Gráfico de modos de falla

- Reparable: Esta opción genera un reporte en un nuevo archivo llamado “Temporal” el cuál tiene los datos necesarios para ingresar a S-PLUS y realizar análisis de equipos reparables.
- No reparable: Esta opción genera un reporte en un nuevo archivo llamado “Temporal” el cuál tiene los datos necesarios para ingresar a S-PLUS y realizar análisis de equipos No reparables.

A.4.2. Visualizar datos

En esta opción se pueden consultar los datos extraídos de la base de datos. A esta opción se llega oprimiendo el botón “Volver a menú”.

A.4.3. Insertar Datos de S-PLUS

Una vez obtenidos los valores de α y β de S-PLUS obtenidos mediante el empleo de los botones “Reparable” y “No Reparable”, se procede a ingresarlos en el formulario que aparece en la

opción “Insertar datos de S-PLUS” tal como aparece en la Figura A.22, para realizar los cálculos de confiabilidad. El uso de estos botones con S-PLUS se explicará en la sección A.5.

Figura A.22: Formulario de “Insertar datos”

- Tiempo de Inicio de estudio: Es el tiempo del equipo más antiguo entre los equipos de esta familia, y se puede ver en el reporte obtenido mediante el estudio de equipos reparables en S-PLUS. Ver Figura A.23.

```
Summary of Distribución de Fallas en el Tiempo data
Number of rows in data matrix= 107
Number of unique units or group IDs in the recurrence data object = 13
Number of observation windows = 13
Number of recurrences = 81
Sum of costs/counts: 81
Number of unique recurrence times = 74
Time units: Tiempo en Días
Recurrence time minimum: 1869 Tiempo en Días
Recurrence time maximum: 6186 Tiempo en Días
Endpoint time maximum: 6312 Tiempo en Días
```

Figura A.23: Tiempo de inicio de estudio

- Año de inicio de estudio: Corresponde al año en el cuál se empiezan a realizar las predicciones.
- Power Law: Aquí se ingresan los valores de β y η obtenidos mediante S-PLUS para equipos reparables. Ver Figura A.24

```
Log likelihood at maximum point: -624
MLE Std.Err. 95% Lower 95% Upper
eta 2548.688 288.631 1983.0 3114.39
beta 2.045 0.227 1.6 2.49
```

Figura A.24: Datos de Power Law

- Weibull: Aquí se ingresan los valores de β y η obtenidos mediante S-PLUS para equipos No reparables. Ver Figura A.25:

Parameter			Approx Conf. Interval	
	MLE	Std.Err.	95% Lower	95% Upper
mu	8.493	0.03087	8.4320	8.5530
sigma	0.285	0.02454	0.2407	0.3374
weibull.eta	4878.062	150.59264	4591.6575	5182.3300
weibull.beta	3.509	0.30217	2.9638	4.1539

Figura A.25: Datos de Weibull

Una vez ingresados estos valores, quedarán ingresados automáticamente en las hojas de cálculo.

A.4.4. Resultados

En esta opción se pueden ver los diferentes cálculos del número de fallas esperadas y de confiabilidad una vez ingresados los valores de α y β . En la Figura A.26 se observa el módulo del aplicativo en donde se muestran los resultados.

The screenshot shows the 'S-PLUS DATOS ESTIMADOS' interface. It includes a header with the university logo and navigation buttons. Below are three input tables: 'POWER RULE' (Beta: 1,438; Eta: 2575,978; Tiempo Inicio Estudio: 6312), 'WEIBULL' (Beta: 2,5486; Eta: 3381,9421), and 'AÑO DESDE EL CUAL SE REQUIERE EL ANÁLISIS' (2010). Below these is a section for 'CALCULO DE NUMERO DE FALLAS' with a mathematical formula and a table of results.

Año	ACUMULADAS				POR AÑO				
	t1	t2	Nº de fallas	Número de fallas exactas	t1	t2	Nº de fallas	Número de fallas exactas	
1	2010	6312	6677	0,31	0	6312	6677	0,31	0
2	2011	6312	7042	0,62	0	6677	7042	0,31	0
3	2012	6312	7407	0,94	0	7042	7407	0,32	0
4	2013	6312	7772	1,27	1	7407	7772	0,33	0
5	2014	6312	8137	1,60	1	7772	8137	0,33	0
6	2015	6312	8502	1,94	1	8137	8502	0,34	0

Figura A.26: Módulo de resultados de datos estimados

- Superior: Se pueden visualizar los resultados obtenidos con los parámetros de eta y beta Superior.

- Inferior: Se pueden visualizar los resultados obtenidos con los parámetros de eta y beta Inferior.
- Volver a Menú: Con esta opción se regresa al menú inicial
- Generar presentación: Se generará una presentación en Power Point con los gráficos obtenidos en esta hoja.
- Guardar estudio: Guarda los resultados como un archivo independiente con el nombre que el usuario ingrese, el cuál albergará todos los datos calculados.

A.4.5. Salir

Esta opción permite salir de esta herramienta, pero primero este preguntará “Desea guardar los cambios”. Se debe oprimir el botón “Si” para poder conservar el último estudio.

A.5. Estructura de S-PLUS

S-PLUS es la herramienta que se empleará para estimar los valores de α y η por lo que se requiere tenerlo instalado. Se puede obtener una licencia académica de forma gratuita, en la siguiente página: S-PLUS <http://web.utk.edu/~leon/rel/fall09/AcquiringSplus.htm>, también se debe instalar la librería SPLIDA que se consigue en la página: SPLIDA <http://web.utk.edu/~leon/rel/SPLIDAInstallationInstructions.htm>.

Este programa toma como base de datos el archivo “Temporal” el cuál contiene la información necesaria cuando se va a realizar un análisis Reparable (Power Law) ó No reparable (Weibull).

A.5.1. Reparable

Una vez abierto el programa se debe cargar el archivo “Temporal”, se hace click en “File”, luego el “Import Data” y en “From File”, tal como se observa el la Figura A.27.

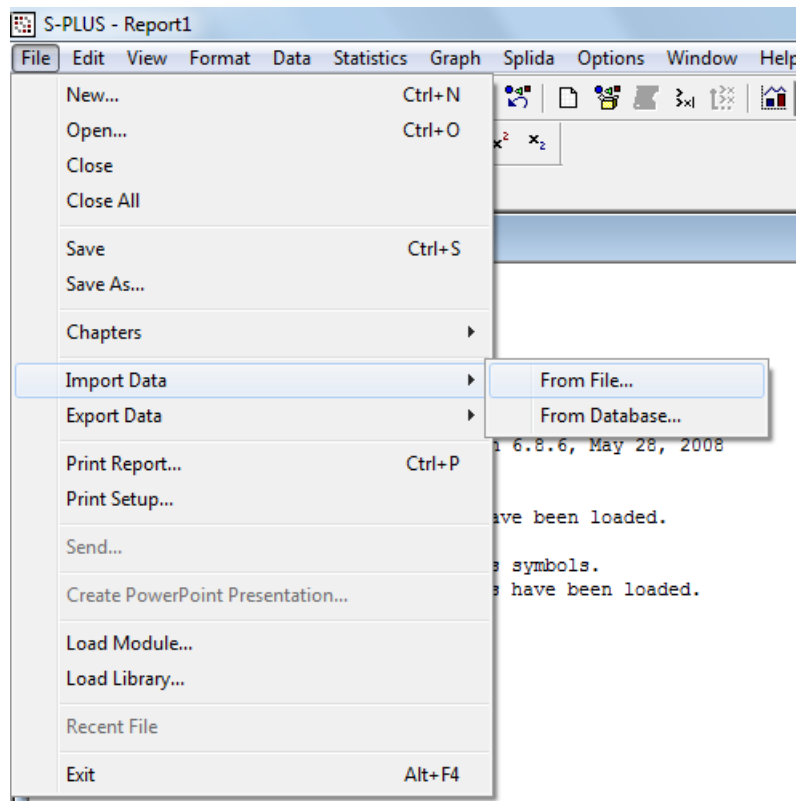


Figura A.27: Cargar datos desde archivo

Luego se despliega un cuadro como el de la Figura A.28, allí se debe oprimir el botón “Browse” y se escoge el archivo “Temporal” el cuál estará ubicado en el escritorio. Una vez elegido el archivo se debe dar click en “aceptar” y en “ok”.

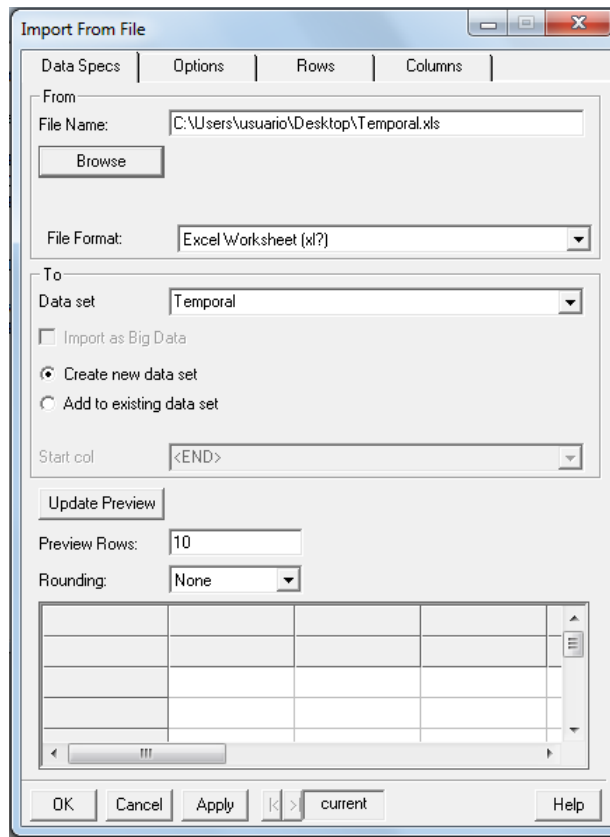


Figura A.28: Elegir archivo “Temporal”

Ahora se debe cargar el archivo para el análisis mediante Power Law de la siguiente forma: hacer click en “Splida”, luego en “ Make/edit/summary/view data objet” y luego en “Make a recurrence (point process) data objet” tal como se observa en la Figura A.29.

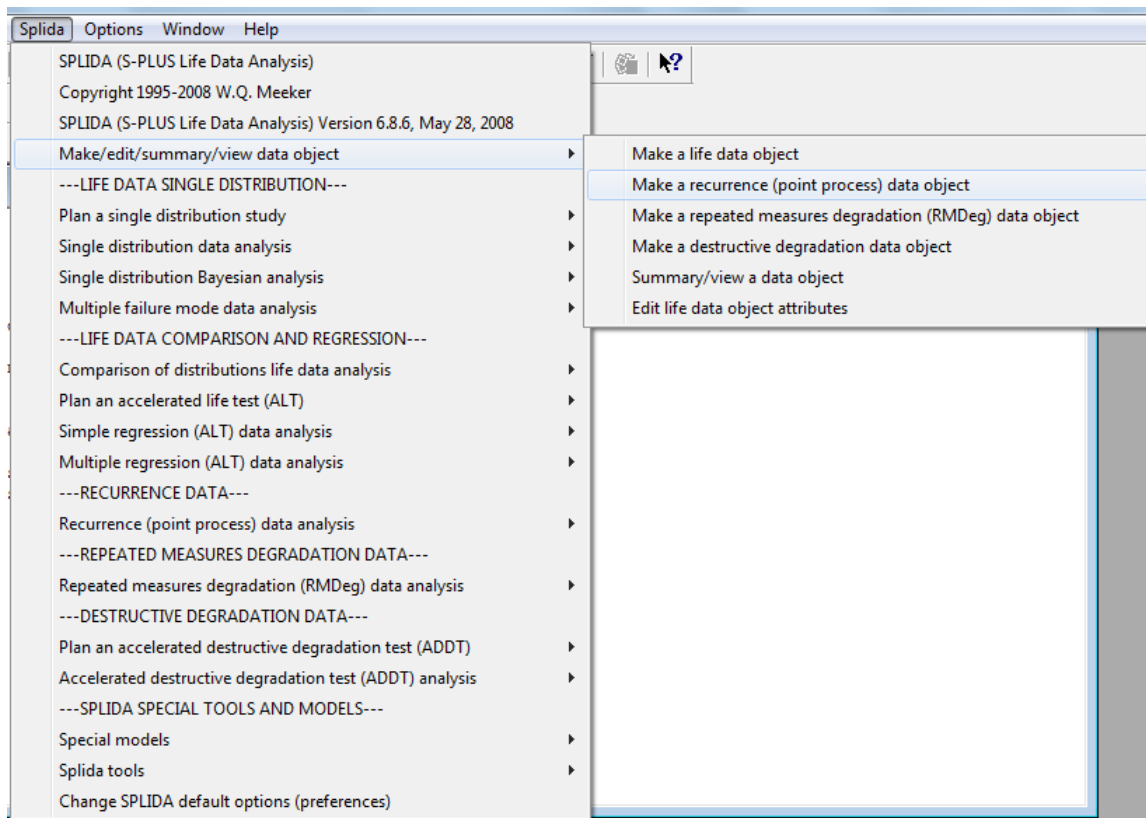


Figura A.29: Cargar el archivo para el análisis mediante Power Law

Luego se desplegará un cuadro como el de la Figura A.30, en el cuál se debe diligenciar cada uno de los siguientes espacios con la siguiente información:

- Choose an S-plus data set: En esta opción se elige el nombre del archivo. Para este caso “Temporal” .
- Choose time column: En esta opción se elige “Tiempo Días”
- Choose unit identification column: En esta opción se elige “Equipo”
- Specify status/event column: En esta opción se elige “Status” .
- Time units: En este espacio se escribe las unidades de tiempo que se usó en el estudio, para este caso (Tiempo en Días).

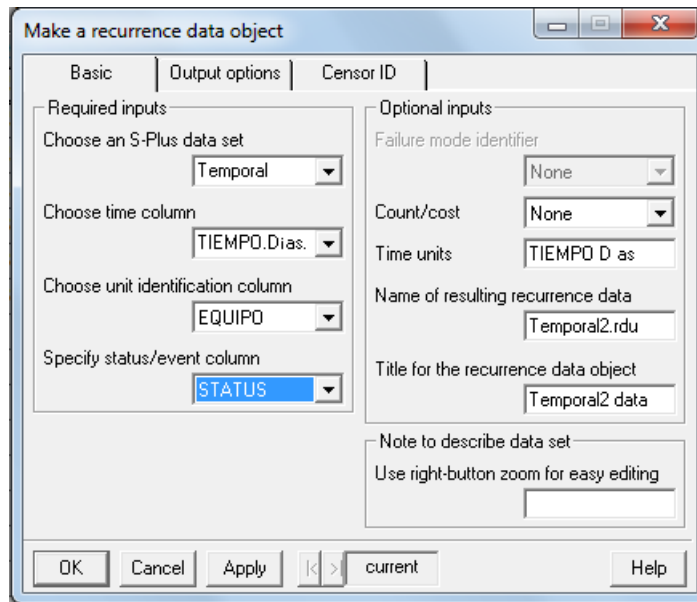


Figura A.30: Identificando entradas

Al hacer click en “ok” quedará cargada la base de datos para realizar el análisis mediante Power Law.

Una vez hecho esto se ajustan los datos para obtener los parámetros. Se hace click en “Splida”, luego en “Recurrence(point process) data analysis” y luego en “NHPP and nonpara-metric MCF plot” tal como se observa en la Figura A.31.

Se desplegará un cuadro como el de la Figura A.32, y el campo “NHPP model” se debe seleccionar “Power Rule”, y luego en “ok”, el cuál generará un reporte con los valores de η y β .

A.5.2. No reparable

Una vez abierto el programa se debe cargar la base de datos que es el archivo “Temporal”, se hace click en “File”, luego el “Import Data” y en “From File”, tal como se observa el la Figura A.33.

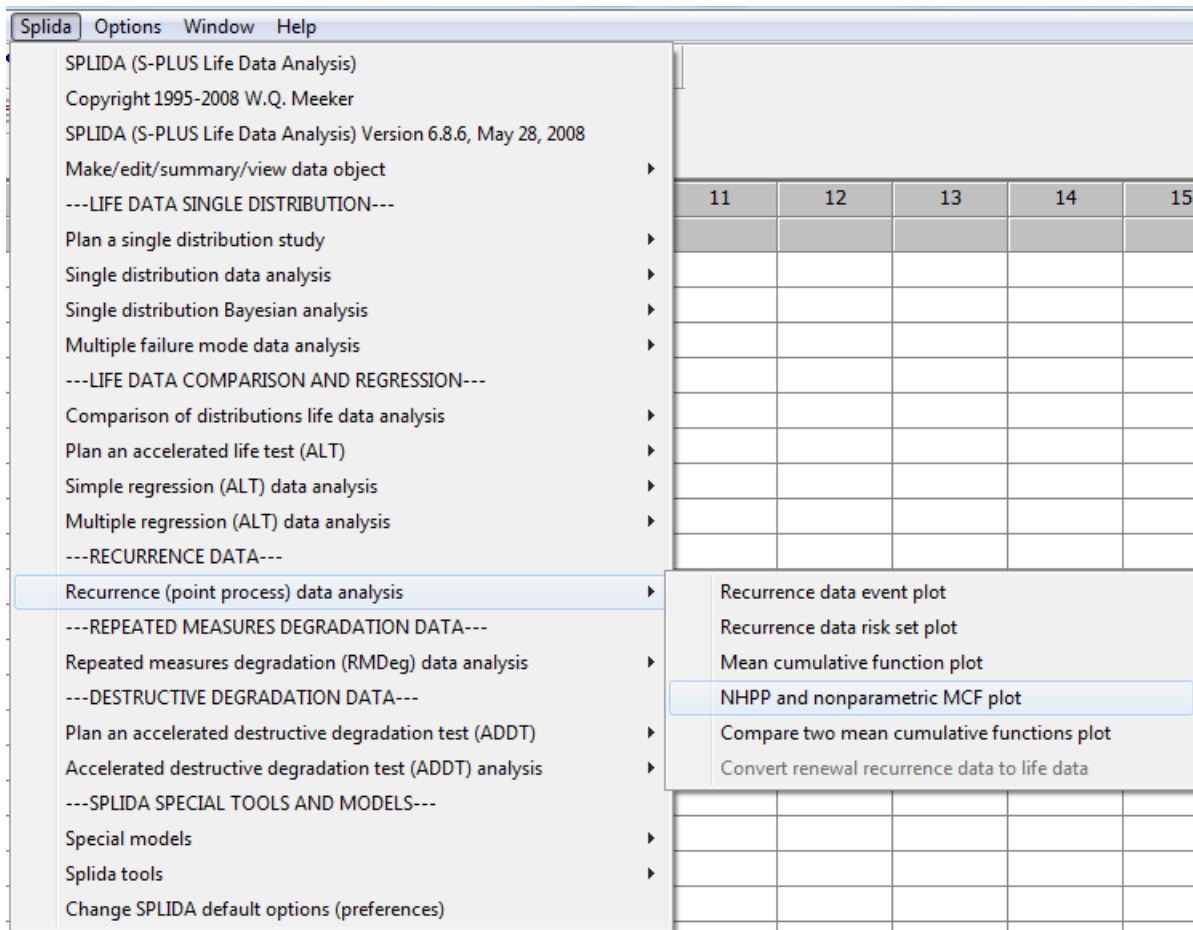


Figura A.31: Ajustando los datos Power Law

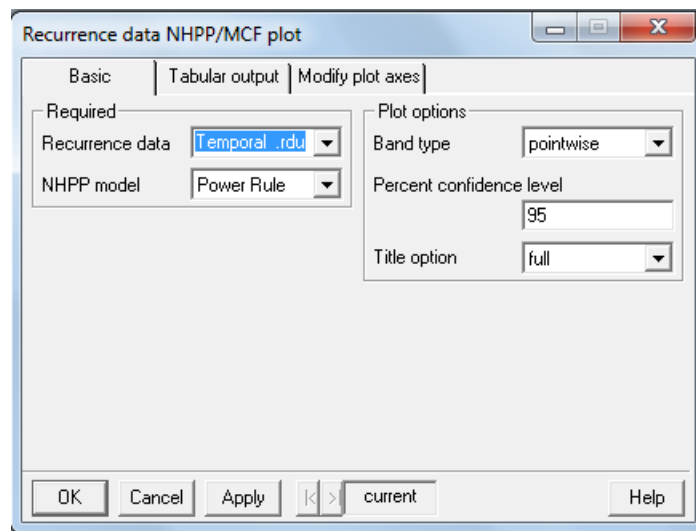


Figura A.32: Cuadro donde se elige la función “Power Rule”

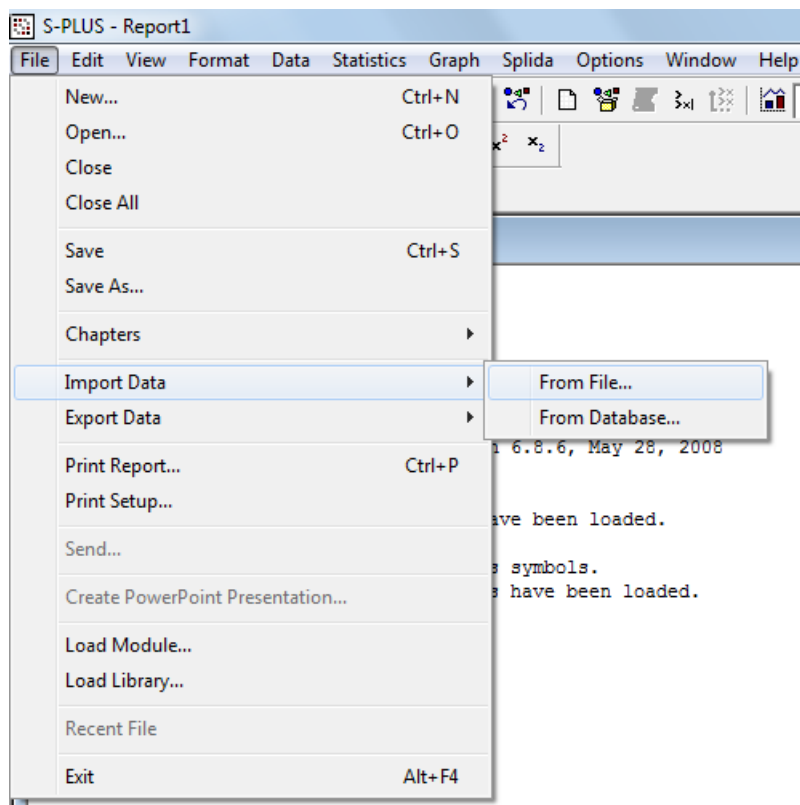


Figura A.33: Cargar datos desde archivo

Luego se despliega un cuadro como el de la Figura A.34, allí se debe ingresar a “Browse” y escoger el archivo “Temporal” el cuál estará ubicado en el escritorio. Una vez elegido el archivo se debe dar click en “aceptar” y en “ok”.

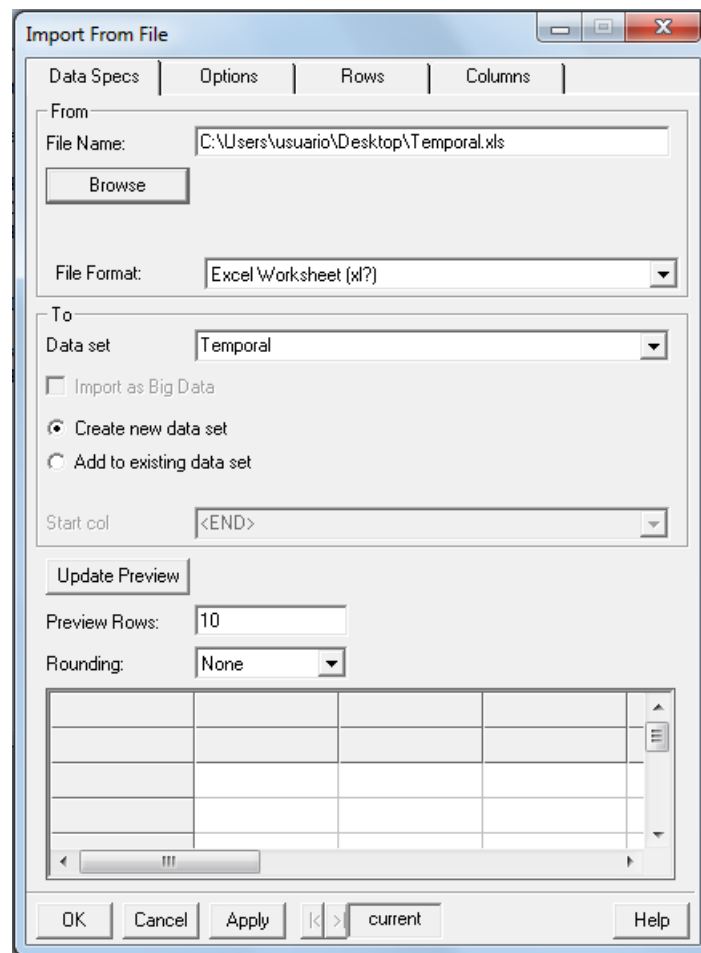


Figura A.34: Elegir archivo “Temporal”

Ahora se debe cargar el archivo para el análisis mediante Weibull de la siguiente forma: hacer click en “Splida”, luego en “ Make/edit/summary/view data objet” y luego en “Make a life date object” tal como se observa en la Figura A.35.

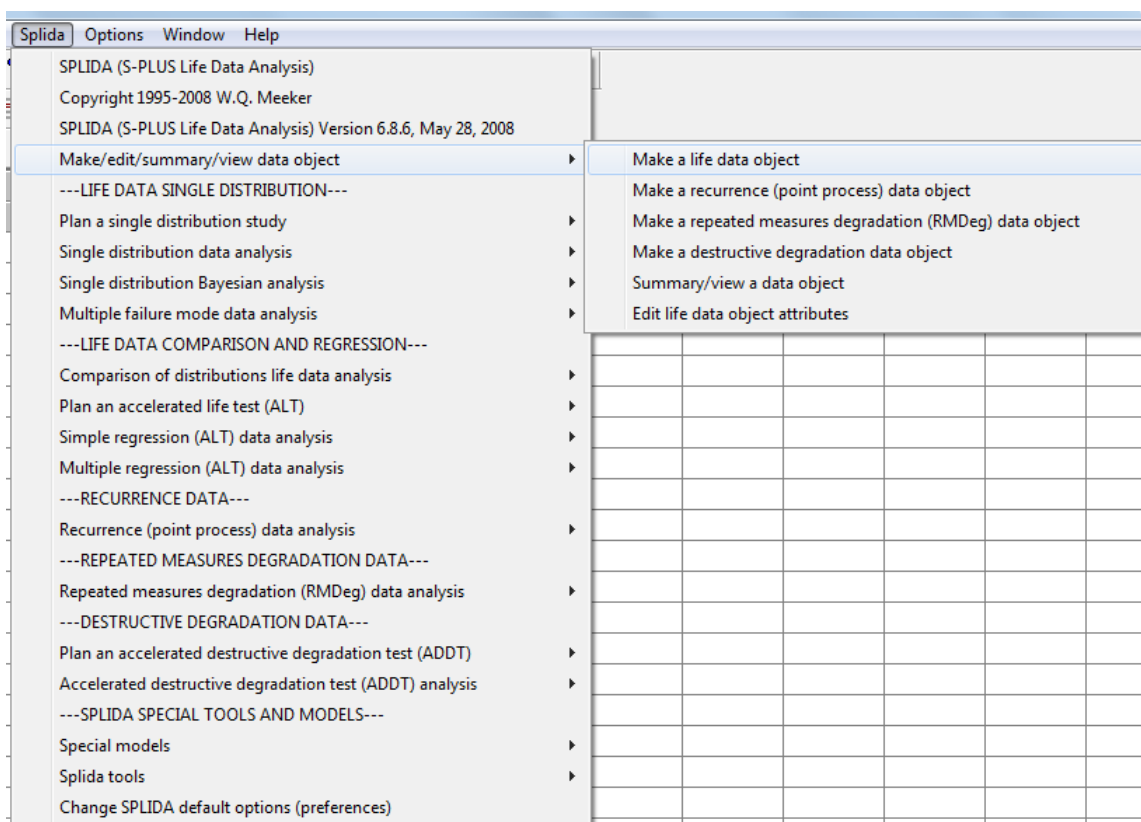


Figura A.35: Cargar el archivo para el análisis mediante Weibull

Luego se desplegará un cuadro como el de la Figura A.36, del cuál se debe seleccionar la opción “Response(s)” “Tiempo Días” y luego dar en “ok”.

Al hacer click en “ok” quedara cargada la base de datos para realizar el análisis mediante Weibull.

Una vez hecho esto se ajustan los datos para obtener los parámetros. Se hace click en “Splida”, luego en “Single distribution data analysis” y luego en “probability plot with parametric ML fit” tal como se observa en la Figura A.37.

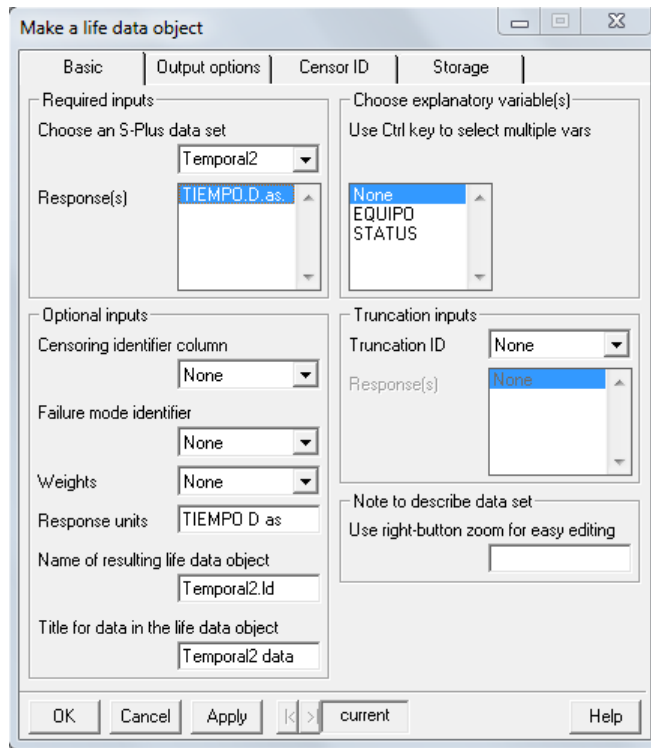


Figura A.36: Cargar el archivo para el análisis mediante Weibull

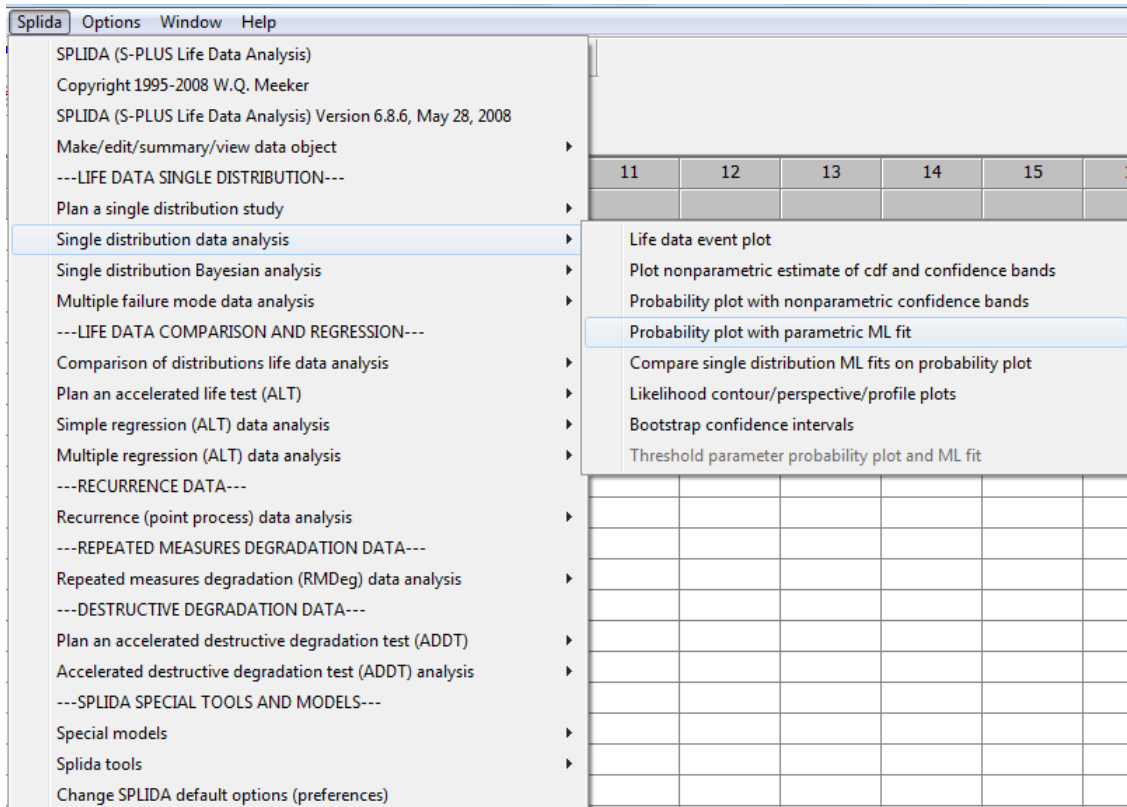


Figura A.37: Ajustando los datos Weibull

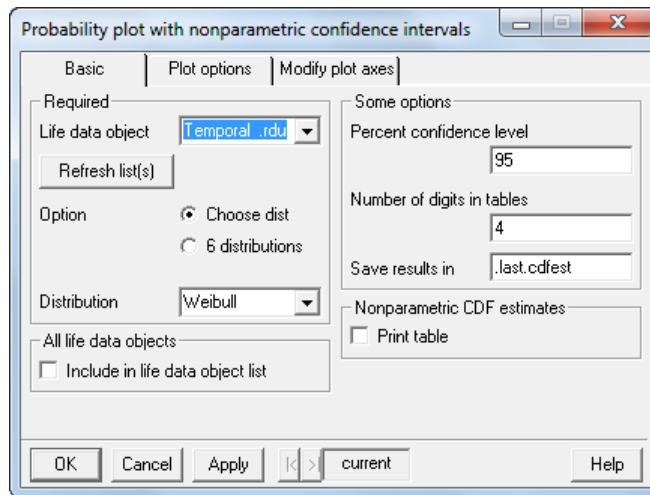


Figura A.38: Cuadro donde se elige la función “Weibull”

Luego se desplegará un cuadro como el de la Figura A.38, y en la opción “Life data object” se debe elegir “Temporal” y en “option” se debe elegir “Choose dist”, luego en “Distribution” se debe elegir “Weibull”, y a continuación “ok”, generandose un reporte con los valores de α y β .

Apéndice B

MANUAL DE INSTALACIÓN S-PLUS Y SPLIDA

B.1. PASOS PARA INSTALAR S-PLUS

1. Ingresar a la página <http://eStore.OnTheHub.com>
2. Se debe hacer click en el botón “Sign In” tal como se observa en la Figura B.1.

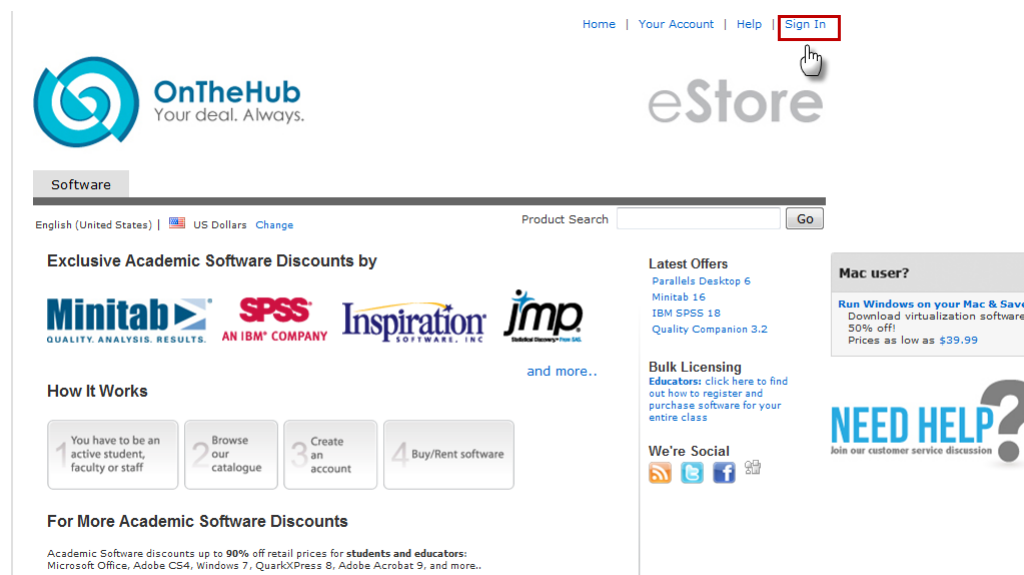


Figure B.1: Sign In

3. Y luego hacer click en el botón “Register” tal como se observa en la Figura B.2.

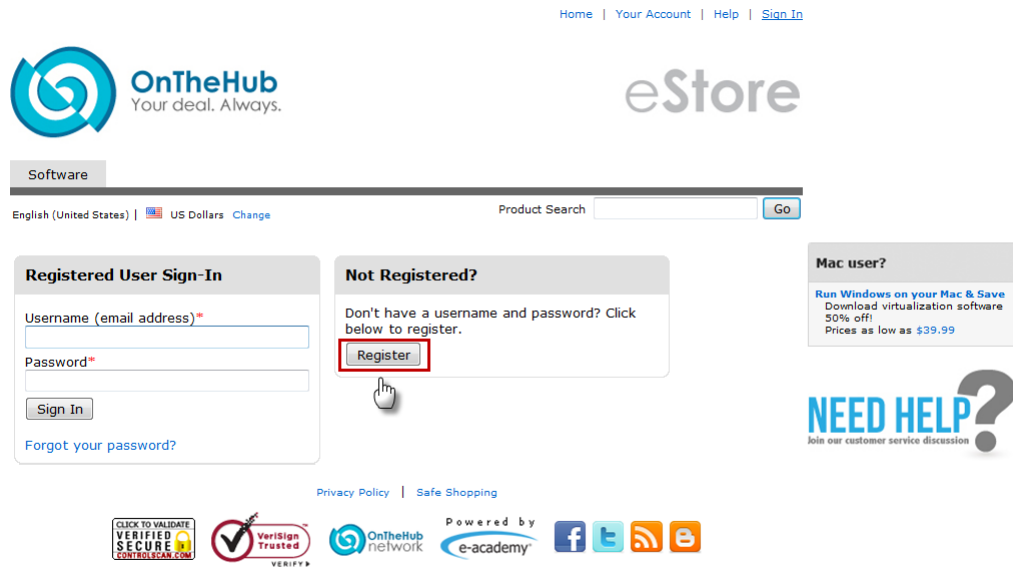


Figure B.2: Register

4. En esta página se debe hacer click en la opción “I have an institution issued email address (i.e. “edu” email adress)” y luego en “Continue” tal como se observa en la Figura

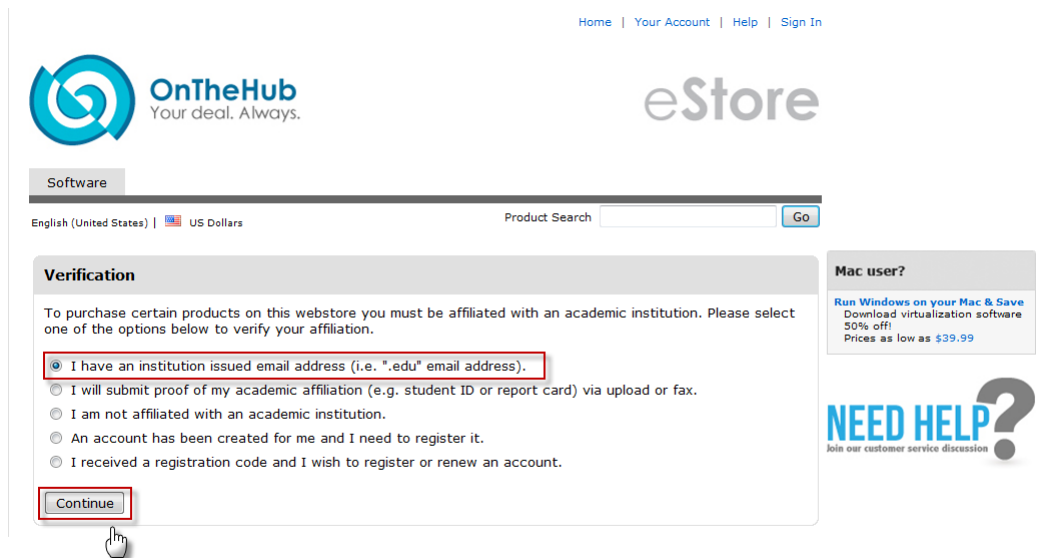


Figure B.3: Verification

5. Luego ingresar el correo es el espacio “Please enter a valid institucion email address” y después en “Continue” tal como se observa en la Figura B.4.



Figure B.4: Verify Email Address

- 6. Una vez ingresado el correo educativo, aparece un formulario como el que se observa en la Figura B.5, el cual debe ser diligenciado y luego hacer click en el botón “Register”.

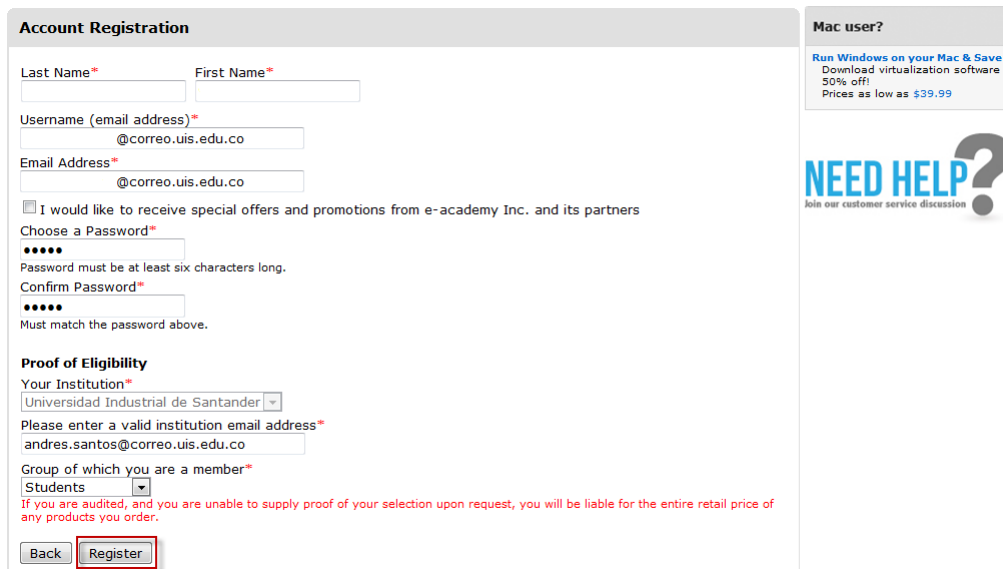


Figure B.5: Account Registration

- 7. Una vez se reciba notificación de la existencia de la cuenta en el correo, se ingresa nuevamente a la página <http://eStore.OnTheHub.com>, y se hace click en el botón “Sing In”.

8. Estando en “Sign In” se deben ingresar los datos de Username y Password tal como se observa en la Figura B.6.

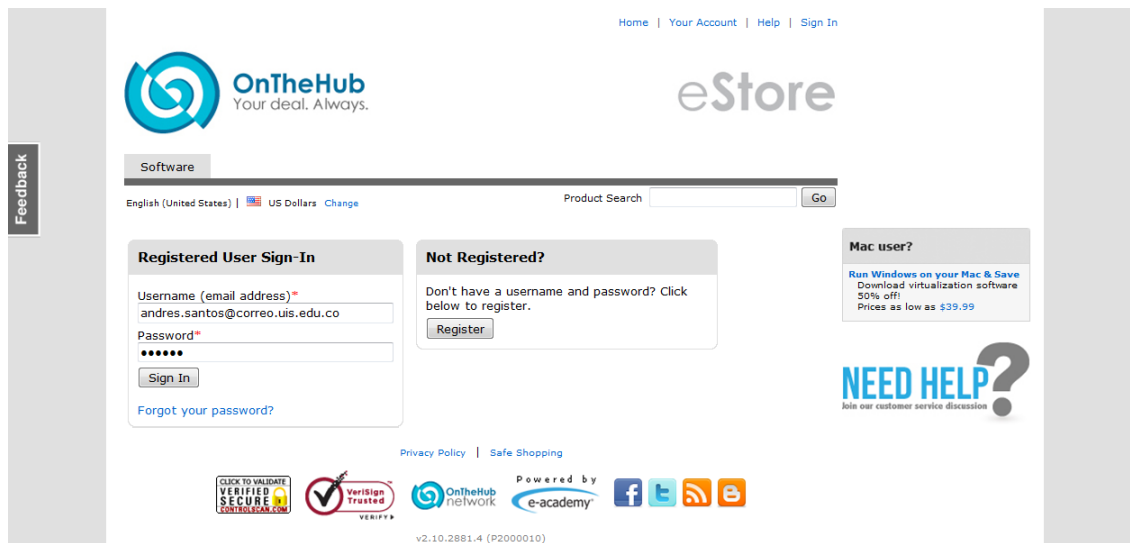


Figure B.6: Registered User Sing in

9. Y aparecerá una página como la de la Figura B.7 . Se debe hacer click en el botón “Start Shopping”.
10. Hacer click en el botón “TIBCO SPOTFIRE” tal como se observa en la Figura B.8.

Home | Your Account | Shopping Cart | Help | andres.santos@correo.uis.edu.co Sign Out

OnTheHub
Your deal. Always.

eStore

Software

English (United States) | US Dollars [Change](#) Product Search

Exclusive Academic Software Discounts by

and more..

How It Works

- 1 You have to be an active student, faculty or staff
- 2 Browse our catalogue
- 3 Create an account
- 4 Buy/Rent software

For More Academic Software Discounts

Academic Software discounts up to **90%** off retail prices for **students and educators**: Microsoft Office, Adobe CS4, Windows 7, QuarkXPress 8, Adobe Acrobat 9, and more..

Note: You will have to find out if your school has a WebStore with us using our [search portal](#) and in all cases will be required to create a new account.

Tweet 9 Like 31 people like this. Be the first of your friends.

[Privacy Policy](#) | [Safe Shopping](#)

Powered by

v2.10.2881.4 (P2000010)

Latest Offers
Parallels Desktop 6
Minitab 16
IBM SPSS 18
Quality Companion 3.2

Mac user?
Run Windows on your Mac & Save
Download virtualization software
50% off!
Prices as low as \$39.99

Bulk Licensing
Educators: [click here to find out how to register and purchase software for your entire class](#)

We're Social

NEED HELP?
Join our customer service discussion

Figure B.7: Start Shopping

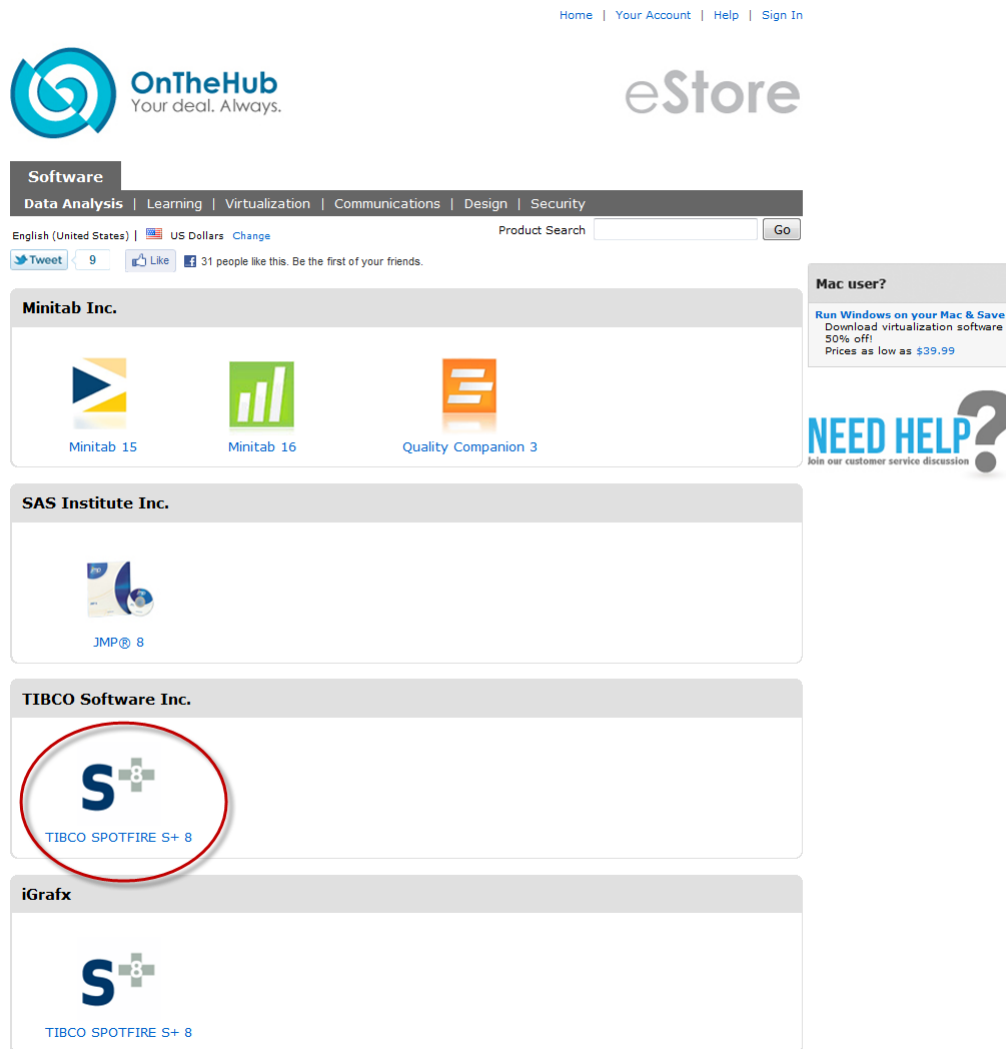


Figure B.8: TIBCO SPOTFIRE

11. Y luego hacer click en el botón “Add to cart”, ver Figura B.9.

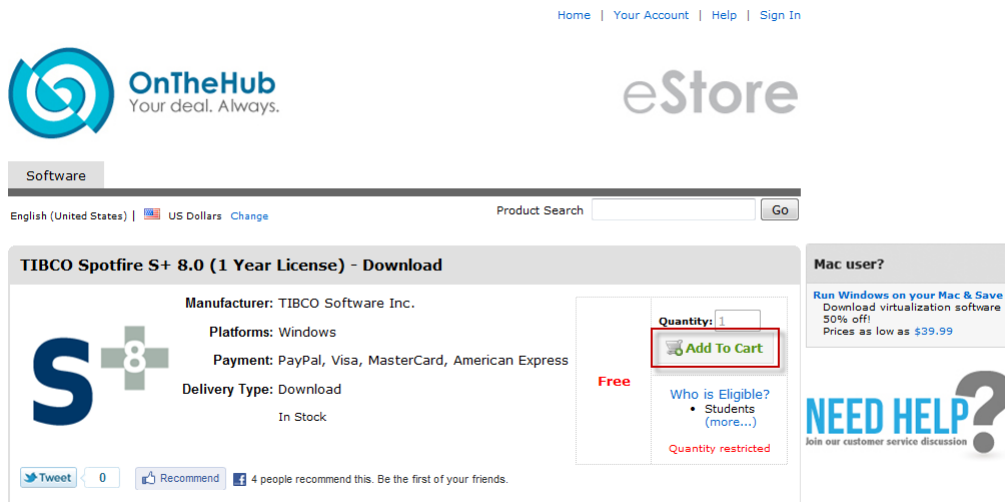


Figure B.9: Add to cart

12. Y luego en “check out”, tal como se observa en la Figura B.10.

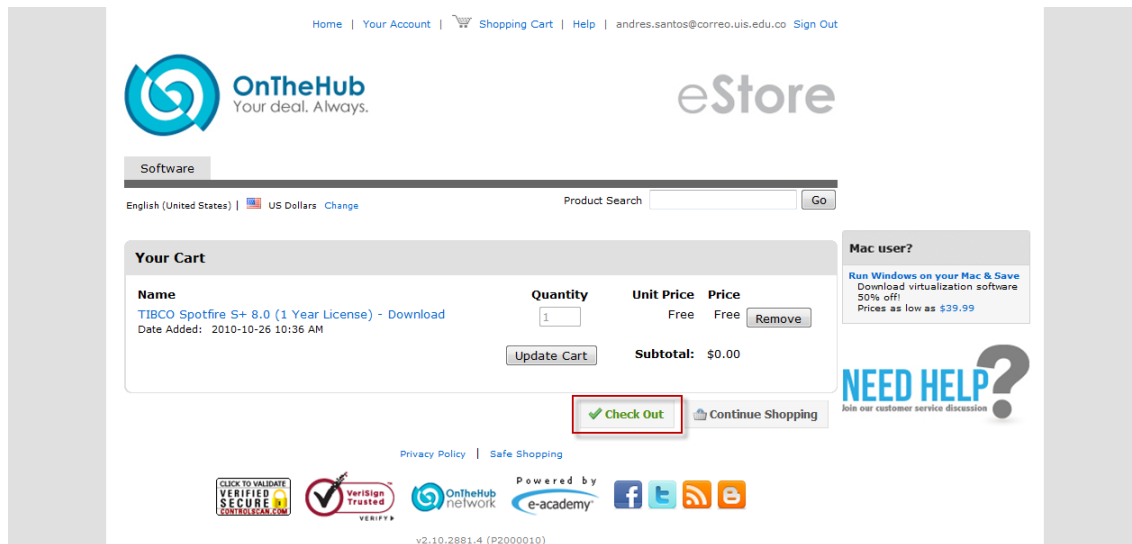


Figure B.10: Check Out

13. Se desplegará una pagina como la de la Figura B.11 , se debe hacer click en “I Accept”.

MISCELLANEOUS

- No e-academy employee or agent has the authority to vary any of the Consumer Terms and Conditions, e-academy corporate policies, or other applicable terms and conditions governing any sale.
- If one or more of the User Terms and Conditions are deemed to be invalid, illegal or unenforceable, the validity, legality and enforceability of the remaining terms and conditions shall not in any way be affected or impaired thereby.
- A waiver or default of any of the Consumer Terms and Conditions shall not be deemed to be a valid waiver, or of any other default or terms or conditions.
- e-academy shall not be liable for any failure to perform according to these Consumer Terms and Conditions if such a failure is caused by circumstances beyond its reasonable control including, but not limited to, acts of God, acts of war, natural disaster, government action or accident.

REFUNDS, CANCELLATIONS and BACKORDERS on received or processed orders

- There are **NO REFUNDS/EXCHANGE** on ANY items purchased through this site. **ALL SALES ARE FINAL**.
- We are unable to cancel shipment for any orders as they are processed immediately for faster shipping.
 - You, as the consumer, are responsible to ensure that you read all system requirements and additional product details on the publisher website, prior to making your purchase.
 - You, as the consumer, will be responsible for errors made when providing your shipping or billing information during purchase, resulting in delays of shipment, and additional shipping costs for replacement, when applicable.
- Items purchased when on backorder are processed on a first-in, first-out basis when inventory is received. Orders will be shipped only when they are complete; that is, when all items within the shopping cart are in fact available.

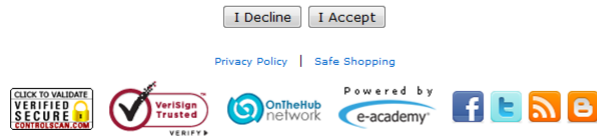


Figure B.11: I Accept

14. Después aparecerá una página como la que se muestra en la Figura B.12, se debe hacer click en el botón “Proceed with order”.

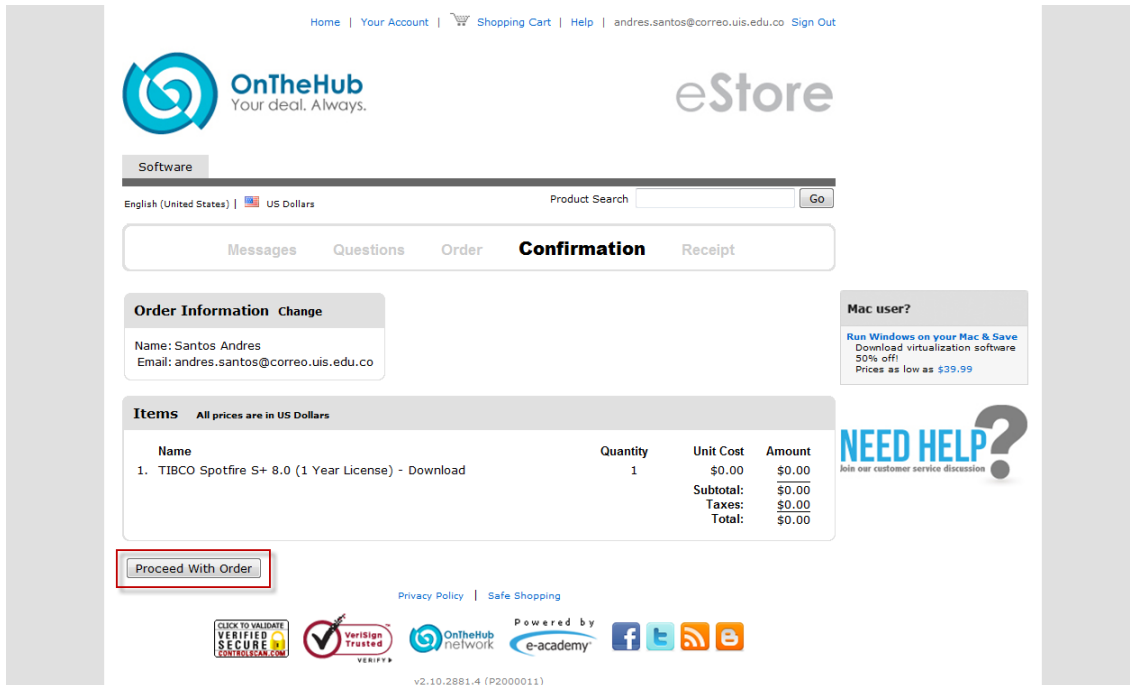


Figure B.12: Proceed with order

15. Una vez hecho lo anterior, se debe hacer click en el botón “Download Options” tal como

aparece en la Figura B.13.

The screenshot shows the OnTheHub eStore interface. At the top, the OnTheHub logo and 'eStore' are visible. The page is titled 'Software' and shows a 'Receipt' confirmation. A message states: 'Your order has been placed and a confirmation email will be sent to you shortly. You may wish to print this page for your records. Detailed information about all of your orders can always be found under Your Account.'

Order Summary:
 Order Date: 2010-10-26 11:17 AM Eastern Daylight Time
 Order Number: 100007716701

Order Information:
 Name: Santos Andres
 Email: andres.santos@correo.uis.edu.co

Mac user?
 Run Windows on your Mac & Save
 Download virtualization software
 50% off!
 Prices as low as \$39.99

NEED HELP?
 Join our customer service discussion

Items All prices are in US Dollars

Name	Quantity	Unit Cost	Amount
1. TIBCO Spotfire S+ 8.0 (1 Year License) - Download Download Options <small>General Terms and Conditions</small> Activation Code - EA-12220-870251 Instructions: http://e5.onthehub.com/d.ashx?s=q8pbum2euv	1	\$0.00	\$0.00
Subtotal:			\$0.00
Taxes:			\$0.00
Total:			\$0.00

Continue Shopping

Privacy Policy | Safe Shopping

CLICK TO VALIDATE VERIFIED SECURE CONTROLSCAN.COM | VeriSign Trusted | OnTheHub network | Powered by e-academy | f t r e

v2.10.2881.4 (P2000011)

Figure B.13: Dowload Options

B.2. PASOS PARA INSTALAR S-PLIDA

Para agregar SPLIDA a Splus:

1. Descargue el archivo de SplidaSV4.exe en <http://www.public.iastate.edu/~splida>
2. Ejecutar el archivo "splida.exe". Esto creará una carpeta c: \ splida
3. Copiar (no mover) la carpeta c: \ Splida \ SplidaUser en c: \ SplidaUser
4. Copiar (no mover) el acceso directo SplidaUsr80 (archivo c: \ Splida \ SplidaUsr80.lnk) en el escritorio.

5. Para completar la instalación, haga click en el acceso directo SplidaUsr80 en el escritorio. Usted recibirá un mensaje de "Improper Path". Esto es normal. Haga click en "ok". SPLIDA entonces automáticamente hacen su carpeta de preferencias y de estructura del menú SPLIDA. Este proceso puede tardar unos minutos.
6. En anterior paso creo el icono de entrada a S-Plus.
7. Ahora, volver a S-PLUS y empezar a usar.