"CALIDAD DEL SERVICIO TECNICO: ADQUISICION DE DATOS"

Henry Zambrano Rugel[1], Franklin Gómez Bernabe[2], John Gómez Gómez[3], Cristóbal Mera Gencón[4].

[1]Ingeniero Eléctrico en Potencia 2004.
[2]Ingeniero Eléctrico en Potencia 2004.
[3]Ingeniero Eléctrico en Potencia 2004.
[4]Director de Tesis; Ph.D. in Electrical Engineering, Texas A&M University, Texas, USA.; Master of Engineering in Electrical Engineering, Texas A&M University, Texas, USA; Ingeniero Eléctrico, ESPOL

RESUMEN

En el ámbito de modernización y apertura que vive el sector eléctrico en nuestro país, y por las regulaciones referente a la calidad de servicio, las compañías distribuidoras y comercializadoras de energía eléctrica necesitan continuamente evaluar y cuantificar los niveles de calidad de servicio que prestan a sus clientes.

Este trabajo describe lo siguiente: una metodología de adquisición de datos necesarios para evaluar los índices de la calidad del servicio técnico, un análisis estadístico para determinar el comportamiento de las interrupciones y una metodología para la incorporación de inversiones óptimas con la finalidad de mejorar el nivel de la calidad del servicio eléctrico.

INTRODUCCION

El suministro eléctrico tiene una importancia estratégica dentro de la sociedad. El desarrollo y crecimiento de la economía de un país están muy ligados a la calidad del servicio eléctrico ofrecido y a su costo. De ahí que es necesario cuantificar dicha calidad y una manera de hacerlo es midiendo su frecuencia de aparición y su duración, es decir se evalúa la calidad de servicio eléctrico a través de su disponibilidad.

La estrategia mas seguida hoy en día por las distribuidoras para mejorar la calidad es la de una mayor automatización de sus redes, que no es otra cosa que hacer las inversiones necesarias para mejorar la calidad de servicio eléctrico.Así, el problema de la calidad de servicio y, en particular de la continuidad de suministro de electricidad, tiene un trasfondo económico. Teóricamente, es posible lograr una calidad de servicio casi perfecta, nivel de tensión plano, frecuencia constante, pero a un costo muy elevado.

En este estudio se propone la automatización de la red, pero considerando un nivel óptimo de calidad que permite que las distribuidoras determinen hasta que punto le es rentable invertir.

1.- METODOLOGIA DE ADQUISICIÒN DE DATOS.

La obtención de los datos requeridos para obtener los índices que determinan el nivel de calidad ofrecido se resumen en las etapas siguientes:

- Modelado de la red a considerar

- Recolección de la Información
- Procesamiento de la Información

1.1 Modelado de la red

Se modela la red de distribución a través de una descripción topológica de tramos de alimentadores, separados por elementos de protección, y/o maniobra.

Con el objetivo de determinar los estados de cada uno de los tramos que componen el modelo de red, cuando cada uno de ellos presenta una falla, se evalúa el comportamiento de la red mediante un análisis de contingencias, aprovechando su condición de radialidad. Se propone entonces construir una matriz de estado A con dimensiones de nxn, donde n es el número de tramos de la red a estudiar, la matriz tendrá elementos A_i^j donde las columnas presentan la condición del tramo (i), ante la falla ocurrida en el tramo indicado por la fila (j).

1.2 Recolección de la Información

La recolección de la información es transmitida por los equipos de campo que se instalan en el alimentador como medio de adquisición de datos.

El proceso de localización de la falla consiste en cuatro pasos:

- Detección de la falla
- Detección del alimentador fallado y Adquisición de Datos
- Localización de la sección fallada y Aislamiento de la Falla
- Localización de la Falla

Detección de la Falla.

La detección de la falla es realizada por los reles de protección, reconectadores, seccionadores e indicadores de falla los cuales poseen capacidad de comunicación al censar una falla aguas abajo de la ubicación de los mismos. La falla es detectada y transmitida al sistema SCADA “Outage Management System”

Detección del Alimentador fallado y adquisición de datos.

Las señales provenientes de los equipos de adquisición de datos, son entradas claramente identificadas del sistema SCADA las cuales representa subestación, alimentador, tramo, etc.

Se toma la Información provenientes de los reles digitales los cuales poseen capacidad de análisis de falla obteniéndose datos de: impedancia vista desde la subestación a la falla, tipo de falla, Potencia, Voltaje de secuencias, Corriente de Falla y Prefallas.

La impedancia de falla medida por los reles nos da una referencia importante en cuanto a la ubicación de la falla ya que se puede estimar la distancia, desde la subestación al punto de falla, pero también nos encontramos con el problema de obtener una solución en un conjunto de varios posibles resultados dada la topología de un alimentador de distribución el cual consta de troncal, laterales y sublaterales

Localización de la Sección Fallada y Aislamiento de la Falla

La principal idea para la técnica de localización de la sección fallada es la integración de toda la Información disponible, es decir una vez detectada la falla y obtener una distancia de referencia para la ubicación de la misma, se procede hacer una búsqueda en escalera, dicho de otra forma se busca información de estado de falla de los equipos, desde la ubicación del equipo que notifico la falla aguas abajo, lo cual podría conducirnos a la localización de la sección fallada o descartar posibles secciones, esto depende del numero de unidades de adquisición de datos, y su ubicación con relación a la falla. Una vez ubicada la sección de la falla y de contar con un elemento de seccionamiento remoto aguas arriba se procede aislar la falla y así poder dar servicio a los clientes fuera de la sección de la falla

Localización de la Falla

Una vez que se identifique el tramos o se restringa el numero de posible secciones fallada, la impedancia de falla medida toma una mayor importancia en la búsqueda de la localización de la falla, donde su aplicación en otros países, ha sido excelente, el error de la estimación ha sido ≤ 5 % lo cual es poco significativo por la gran distancia que se recorre en los alimentadores.

1.3 Procesamiento de la Información.

El Procesamiento de la información se canaliza a través del Centro de Control, mediante el sistema automático de interrupciones y/o Call Center, se registra la recepción de la información de la suspensión de servicio, se despacha la orden de trabajo a la respectiva cuadrilla, la misma que, una vez rehabilitado el suministro de servicio, reporta al Centro de Control la información concerniente a la hora de reconexión, parte de la red afectada, material empleado en la reparación.

Para contar con la información de las interrupciones de servicio, se desarrolla una Base de Datos de tipo académica. Un sistema administrador de base de datos permite guardar, buscar, organizar y presentar información de una manera fácil y segura. La base de datos fue implementada en el Administrador de Base de Datos SQL-SERVER enlazada mediante el programa Microsoft Visual Basic 6.0 y básicamente se siguió los siguientes pasos:

1. Diseño de las tablas, con sus respectivos campos.
2. Implementación de formularios en la herramienta Visual Basic 6.0, para el entendimiento, agrado y un fácil desempeño del usuario en el manejo de la información.

El esquema del diagrama de flujo de datos se muestra en la siguiente figura:

DIAGRAMA DE FLUJO DE DATOS

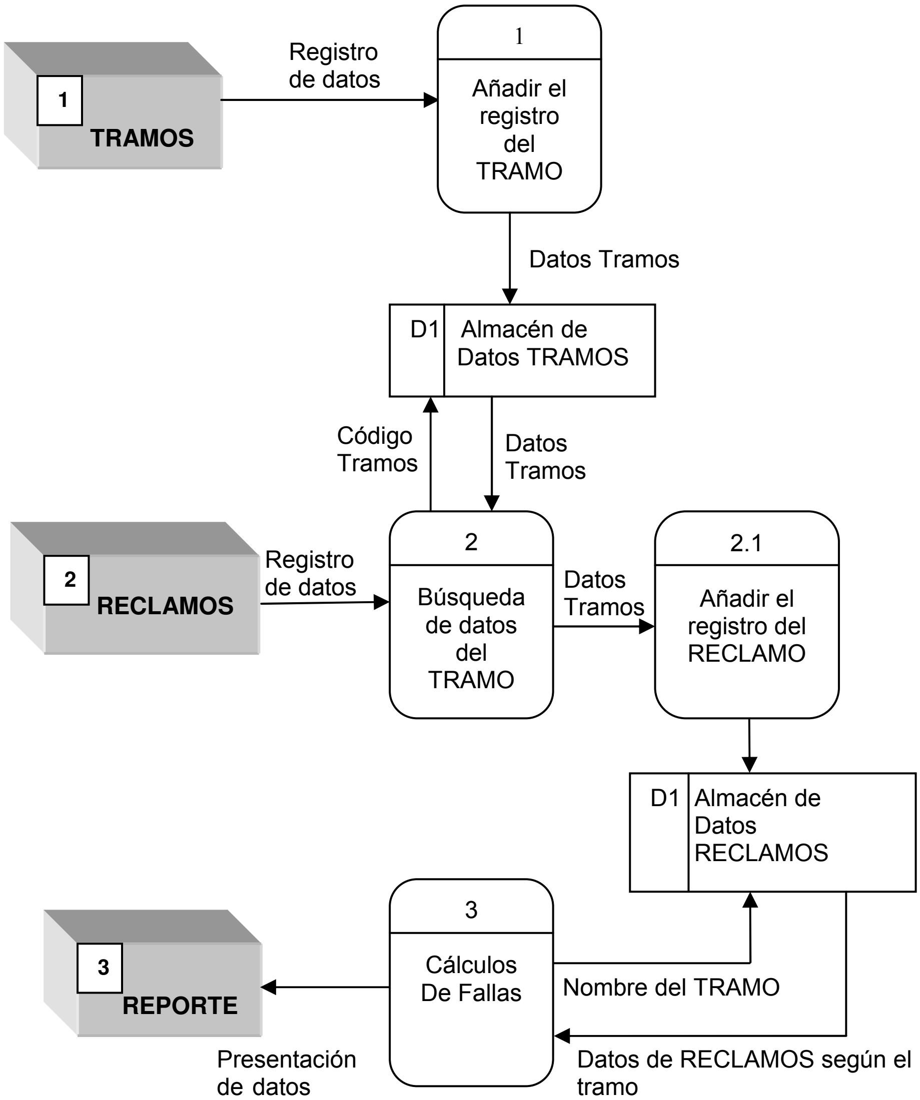


Fig. 1 Esquema de la Base de Datos

Mediante los registros almacenados, se obtiene las tasas de falla y tiempos de reparación de los elementos de la red a modelar, lo que permite determinar los índices de calidad de servicio técnico.

Ahora que se ha descrito la metodología de adquisición de datos, donde están involucrados los equipos con capacidad de comunicación y registros de datos, que no es otra cosa que la automatización de la red, surge un problema de ingeniería respecto a esto por lo que surge las siguientes preguntas:

¿Desde que calidad y hasta que calidad conviene invertir a la distribuidora?
¿Localizar los puntos donde invertir para lograr una adecuada calidad?

¿Cómo y con que alcanzar mejoras en el nivel de calidad, alcanzando beneficios integrales en la distribuidora?

La primera interrogante esta muy relacionada con los costos de la calidad, el problema es en encontrar la calidad óptima a fin de encontrar la justificación de las inversiones para las distribuidoras, y que estas se reflejen en una mejora de la calidad, tratando de minimizar. La segunda pregunta trata sobre encontrar los puntos más óptimos donde ubicar las inversiones los costos de las distribuidoras.

La tercera interrogante esta orientada al diseño, en función de los costos de inversión de las distribuidoras, ya que un posible diseño debe tener como restricción, los costos y beneficios integrales que tenga la distribuidora.

2.- OPTIMIZACION DE LAS INVERSIONES EN FUNCION DE LA CALIDAD

El nivel óptimo de calidad se alcanza cuando las derivadas parciales de las inversiones y los costos de la falta de calidad con respecto al nivel de calidad son iguales y de signo contrario:

$$\left.\frac{\partial I}{\partial Cal}\right|_{NOC} = -\left.\frac{\partial C}{\partial Cal}\right|_{NOC} = K \qquad \textbf{\textit{(2.1)}}$$

Donde:

C (cal) = Costo de la falta de calidad (costos de interrupciones)
I (cal) = Costos de Inversiones para mejoras de la calidad.
NOC = Nivel Optimo de Calidad.
K = valor de la pendiente del NOC

Según [2] Un cambio en la indisponibilidad de servicio, en función de las variaciones de las tasas de falla y tiempos de reparación es como sigue:

$$\Delta U_i = \sum_j \lambda_j . \Delta \mathrm{r_j} + \sum_j r_j . \Delta \lambda_j \qquad (2.2)$$

Donde:

ΔU_i = variación de indisponibilidad en el elemento i
r_j = tiempo equivalente a reparación del elemento j
λ_j = tasa de falla del elemento j
Δr_j = variación del tiempo equivalente a reparación del elemento j
$\Delta\lambda_j$ = variación de la tasa de falla del elemento j

Se plantea, entonces, el problema matemático de optimización, que implica obtener un cierto cambio en la indisponibilidad de servicio de un punto de carga, minimizando su costó de realización:

$$Min \left[\sum c_{\lambda_i} \Delta \lambda_i + \sum c_{r_i} \; \Delta \mathrm{r_i} \right] \qquad (2.3)$$

Sujeto a:

$$\Delta U_i = \sum_j \lambda_j . \Delta \mathrm{r}_j + \sum_j r_j . \Delta \lambda_j \qquad (2.4)$$

r min< ri< r max
λ min< λi< λ max
Donde:

c_{λ_i} = costo de invertir en la tasa de falla del elemento i

c_{r_i} = costo de falla de invertir en el tiempo promedio de reparación en el elemento i

Bajo la suposición de que los elementos que forman parte de la red de distribución son 100 % confiables, se descarta la posibilidad de intervenir en la tasa de falla, lo que plantea el siguiente problema de optimización reducido:

$$Min \sum C_{r_j} \Delta r_j \qquad (2.5)$$

Sujeto a:

$$\Delta U_i = \sum \lambda_j \Delta r_j \qquad (2.6)$$

r min< ri< r max

3.- EJEMPLO DE APLICACIÓN

En la figura 3.1 y tabla 3.1 se presenta el diagrama unifilar y datos de confiabilidad de un alimentador, el cual se plantea automatizar con equipos primarios de protección y medición como medio de adquisición de datos.

El problema a resolver constituye la localización óptima de los equipos: tales como reconectadotes, secccionadores, e indicadores de falla con capacidad de comunicación en el alimentador en función de la calidad.

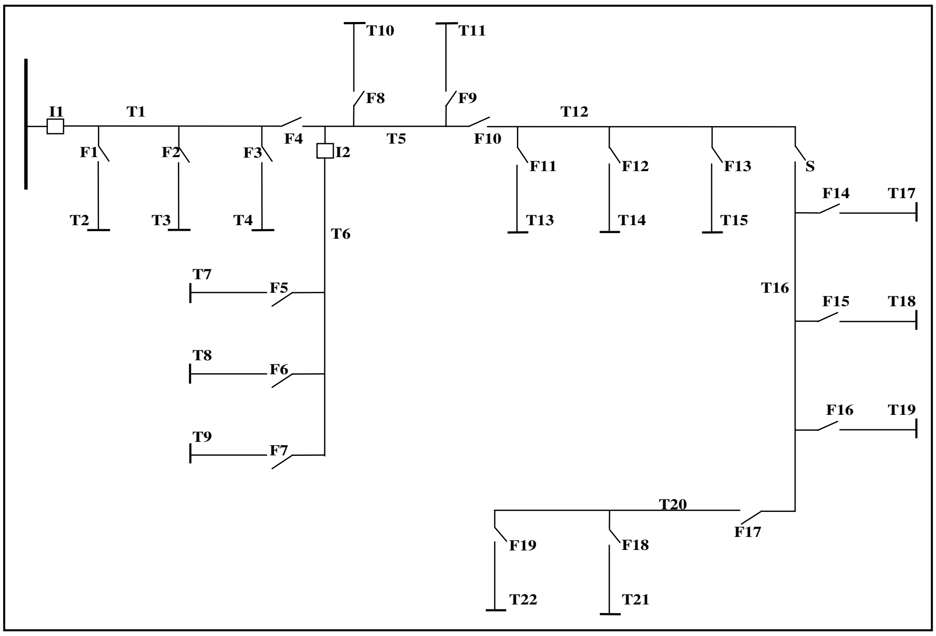


Fig. 3.1 Diagrama Unifilar del Alimentador a Automatizar

Tabla 3.1 Datos de Confiabilidad del Alimentador a Automatizar

Elemento	Tasa de falla por año	Longitud	Tasa de falla por año	Tiempo Promedio de Reparacion	Tasa de Indisponibilidad (Horas)	Número Clientes
Tramo 1	0.05/km	2.00 km	0.10	1.92 horas	0,192	0
Tramo 2	0.08/km	5.00 km	0.40	1.92 horas	0,958	100
Tramo 3	0.08/km	4.00 km	0.32	2.92 horas	1,125	250
Tramo 4	0.02/km	10.00 km	0.20	1.42 horas	0,475	120
Tramo 5	0.02/km	4.00 km	0.08	2.83 horas	0,418	0
Tramo 6	0.02/km	5.00 km	0.10	1.92 horas	0,610	0
Tramo 7	0.10/km	3.00 km	0.30	2.33 horas	1,310	100
Tramo 8	0.04/km	2.00 km	0.08	2.33 horas	0,797	150
Tramo 9	0.05/km	5.00 km	0.25	2.33 horas	1,193	250
Tramo 10	0.05/km	10.00 km	0.50	2.33 horas	1,585	80
Tramo 11	0.05/km	3.00 km	0.15	2.33 horas	0,768	200
Tramo 12	0.05/km	5.00 km	0.25	2.83 horas	1,500	0
Tramo 13	0.04/km	5.00 km	0.20	2.50 horas	2,000	100
Tramo 14	0.04/km	2.00 km	0.08	2.50 horas	1,700	250
Tramo 15	0.05/km	10.00 km	0.50	2.33 horas	2,667	300
Tramo 16	0.04/km	4.00 km	0.16	2.33 horas	1,500	0
Tramo 17	0.05/km	5.00 km	0.25	2.83 horas	2,208	250
Tramo 18	0.04/km	10.00 km	0.40	2.08 horas	2,333	200
Tramo 19	0.05/km	6.00 km	0.30	2.08 horas	2,125	200
Tramo 20	0.05/km	4.00 km	0.20	1.92 horas	1,883	0
Tramo 21	0.05/km	4.00 km	0.20	2.42 horas	2,367	250
Tramo 22	0.10/km	8.00 km	0.80	2.83 horas	4,150	300

Tabla 3.2

Descripcion	Datos
Carga del Alimentador	25000 Kw
Costo de la Energia no suministrada ENS	0.3 $/Kwh
Costo de secccionadores con capacidad de comunicación	$9,000
Costo de indicadores de falla con capacidad de comunicación	$3,000

Si consideramos un periodo de amortización de 10 años el costo anualizado de los equipos será:

Tabla 3.3

Descripcion	Datos
Costo de Seccionadores	$900
Costo de Indicadores de Falla	$300

Considerando la teoría de las inversiones de primera y segunda magnitud, se decide instalar los reconectadores en la cabecera del alimentador, los secccionadores en la troncal de alimentador y los indicadores de falla en los laterales del alimentador, quedando el problema de encontrar los puntos óptimos donde ubicar los seccionadores e indicadores de falla, lo cual se resuelve aplicando las ecuaciones indicadas en el numeral 2 y considerando los datos de la tabla 3.2 y 3.3. Entonces:

La ubicación óptima de los equipos que corresponden a las inversiones de segunda magnitud es:

Seccionador en el tramo 12.
Indicadores de falla en los laterales 15, 18 ,19 22.

4.- ANALISIS ESTADISTICO

En base a los datos de la tabla 3.1, se realizó el análisis de contingencia de los elementos de la red descrita en la figura 3.1, a fin de obtener los índices de confiabilidad, teniendo los resultados que se indican en la tabla 4.1

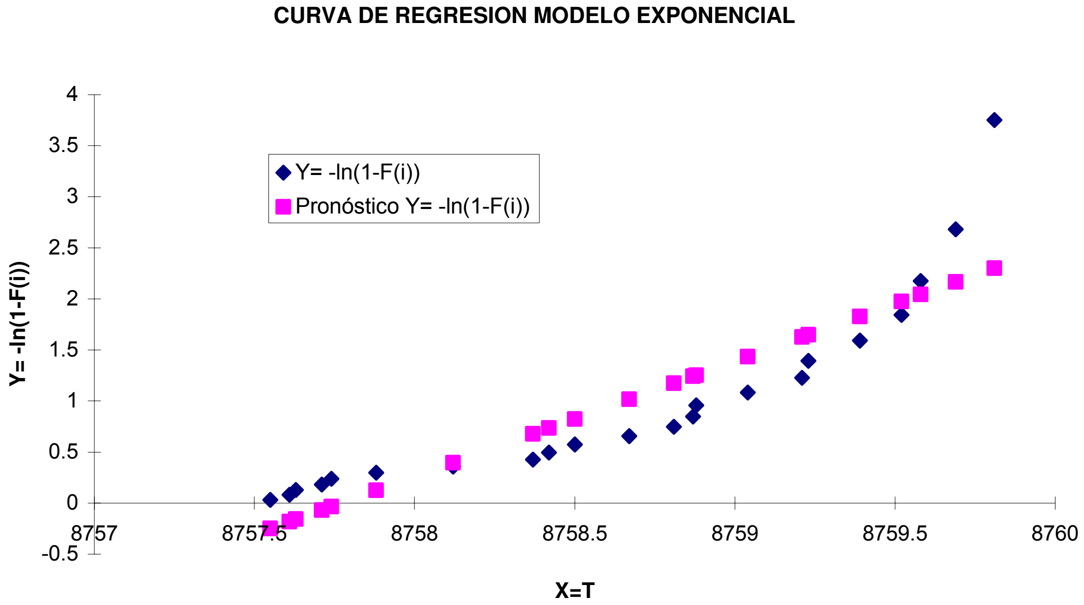
Tabla 4.1 Índices de Confiabilidad

TRAMO	TASA DE FALLA (por año)	HORAS DE INDISPONIBILIDAD (por año)	TASA DE INDISPONIBILIDAD (por año)	DISPONIBILIDAD (por año)
1	0,100	1,92	0,192	8.759,81 días
2	0,500	3,83	0,958	8.759,04 días
3	0,420	4,83	1,125	8.758,88 días
4	0,300	3,33	0,475	8.759,53 días
5	0,180	4,75	0,418	8.759,58 días
6	0,280	6,67	0,610	8.759,39 días
7	0,580	9,00	1,310	8.758,69 días
8	0,360	9,00	0,797	8.759,20 días
9	0,530	9,00	1,193	8.758,81 días
10	0,680	7,08	1,585	8.758,42 días
11	0,330	7,08	0,768	8.759,23 días
12	0,590	9,92	1,500	8.758,50 días
13	0,790	12,42	2,000	8.758,00 días
14	0,670	12,42	1,700	8.758,30 días
15	1,090	12,25	2,667	8.757,33 días
16	0,590	9,92	1,500	8.758,50 días
17	0,840	12,75	2,208	8.757,79 días
18	0,990	12,00	2,333	8.757,67 días
19	0,890	12,00	2,125	8.757,88 días
20	0,790	11,83	1,883	8.758,12 días
21	0,990	14,25	2,367	8.757,63 días
22	1,590	14,67	4,150	8.755,85 días

Es de interés determinar la distribución probabilística que sigue la disponibilidad del sistema eléctrico de distribución; es así que para el ejemplo planteado se emplearon métodos gráficos y se realizó la prueba de Kolmogorov-Smirnov, dando los siguientes resultados:

Métodos gráficos

A continuación se presentan los resultados de los métodos gráficos.



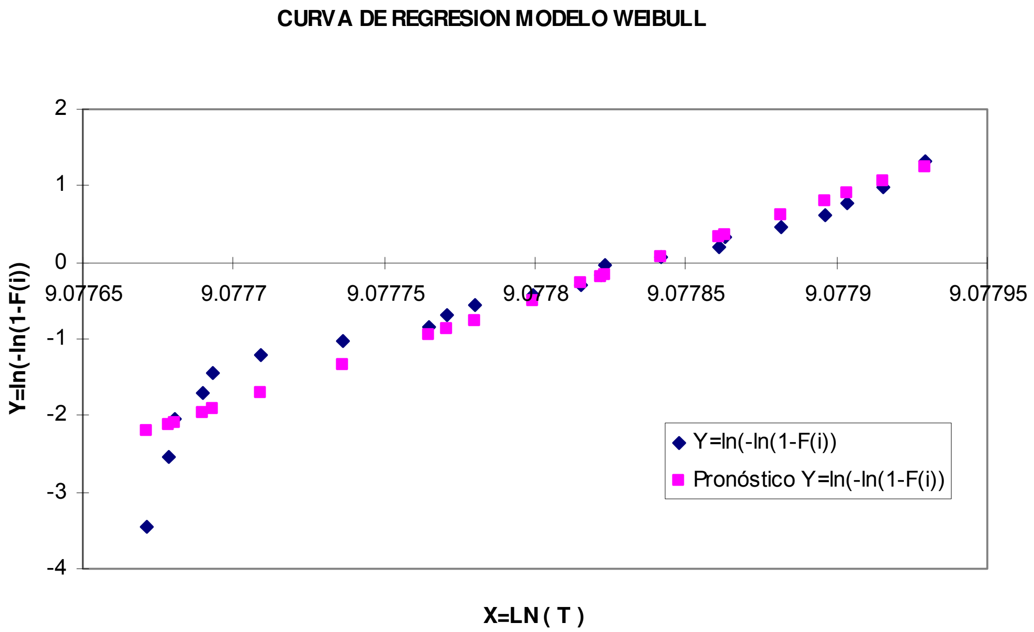


Fig. 4.1 Curvas de regresión exponencial y weibull.

De los gráficos indicados en la figura 4.1, podemos concluir que el modelo weibull se ajusta más a una línea recta, es así que se puede determinar que los índices de disponibilidad de la tabla 4.1 siguen una distribución weibull con β= 13391.635584 y α= 8758.9931.

Prueba Estadística de kolgomorov –Smirnov

A continuación se presenta los resultados de la prueba de kolgomorov-Smirnov

Tabla 4.2 Prueba Estadística de kolgomorov –Smirnov

Clase	*Frec*	*Frecuencia Acumulada*	*Frecuencia Relativa Fo (Xi)*	*Frec. Acom Weibull Sn(Xi)*	*Diferencia |Fo(Xi)-Sn(Xi)|*	*Frec. Acom Exponencial Sn(Xi)*	*Diferencia |Fo(Xi)-Sn(Xi)|*
8758.00	6	6	0.27273	0.19672	0.07601	0.63210	0.35937
8758.20	1	7	0.31818	0.25726	0.06092	0.63211	0.31392
8758.40	1	8	0.36364	0.33223	0.03141	0.63211	0.26848
8758.60	2	10	0.45455	0.42204	0.03251	0.63212	0.17758
8758.80	1	11	0.50000	0.52496	0.02496	0.63213	0.13213
8759.00	3	14	0.63636	0.63600	0.00036	0.63214	0.00423
8759.20	1	15	0.68182	0.74642	0.06460	0.63215	0.04967
8759.40	3	18	0.81818	0.84477	0.02659	0.63216	0.18603
8759.60	2	20	0.90909	0.92027	0.01118	0.63216	0.27693
8759.80	1	21	0.95455	0.96773	0.01318	0.63217	0.32237
8760.00	1	22	1.00000	0.99055	0.00945	0.63218	0.36782

CASO DISTRIBUCION WEIBULL

Ho: Los tiempos de disponibilidad provienen de una Distribución Weibull con β=13391.635 y α=8758.9931
H1: los tiempos de indisponibilidad no provienen de la Distribución Weibull
Zona de Rechazo: Se rechaza la hipótesis si Max $|F(xi)-Sn(xi)| > D\alpha$ Si tomamos un $\alpha=0.05$ N=22 tenemos $D\alpha = 0.294$
Diferencia Máxima $|SN(Xi)-F(Xi)| =0.076$

Conclusión : como $D\alpha>0.076$ La Hipótesis nula no se rechaza es decir podemos afirmar que el tiempo de disponibilidad provienen de una Distribución Weibull, con β=13391.635 y α=8758.9931

CASO DISTRIBUCION EXPONENCIAL

Ho: Los tiempos de disponibilidad provienen de una distribución Exponencial
H1: los tiempos de indisponibilidad no provienen de la distribución Exponencial
Zona de Rechazo: Se rechaza la hipótesis si Max $|F(xi)-Sn(xi)| > D\alpha$ Si tomamos un $\alpha=0.05$ N=22 tenemos $D\alpha = 0.294$
Diferencia Máxima $|SN(Xi)-F(Xi)|$ =0,3678.

Conclusión: como $D\alpha<0.3678$ La Hipótesis nula se rechaza es decir podemos afirmar que el tiempo de disponibilidad no provienen de una distribución exponencial.

4.- Conclusiones

En base a los resultados obtenidos se puede concluir que la automatización de la red ejerce mayor influencia en la mejora de los índices de duración que en los de frecuencia, es decir logra una mayor reducción de los tiempos asociados a las interrupciones, tales como tiempo de aviso, tiempo de localización de la falla, tiempo de aislamiento, etc., comparados con la reducción de las tasas de fallas de los elementos de la red.

Podemos concluir que el modelo estadístico que mejor describe a la disponibilidad de servicio eléctrico es el weibull, y que a su vez el modelo exponencial es un caso particular del modelo weibull con parámetro β= 1.

BIBLIOGRAFIA

1. SIEGEL SYDNEY Y CASTELLAN JOHN, "Estadística No Parámetrica", Editorial Trillas, México1995.

2. MILLER R. IRWIN, FREUD JOHN E. Y JOHNSON RICHARD, "Probabilidad y Estadística para Ingenieros", Editorial McGraw Hill, México, 1992.

3. ARRAIGADA MASS ALDO GARY, "Evaluación de Confiabilidad en Sistemas Eléctricos de Distribución", Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago de Chile, 1994.

4. RIVIER ABBAD JUAN, "Calidad del Servicio. Regulación y Optimización de Inversiones", Universidad Pontificia Comillas de Madrid, Madrid 1999.

5. ALBORNOZ V. ESTEBAN, PARRA M. FABIAN, ARMIJOS HENRY, "Experiencias en la Determinación de los Índices de Calidad de Servicio Técnico en la EERCS C.A.", CIER, III Seminario de Distribución y Comercialización, Cuenca, Ecuador, Noviembre 2002.

6. ALBORNOZ V. ESTEBAN, PARRA M. FABIAN, ARMIJOS HENRY, "Restauración de Alimentadores Primarios considerando la Calidad del Servicio Técnico en la EERCS C.A.", CIER, III Seminario de Distribución y Comercialización, Cuenca, Ecuador, Noviembre 2002.

7. CARRILLO ROBERTO, "Centros de Control y su Apoyo a la Gestión Integral de la Empresa", TRANSELECTRIC, CIER, III Seminario de Distribución y Comercialización, Cuenca, Ecuador, Noviembre 2002.

8. CONELEC, Consejo Nacional de Electrificación, "Regulación 004 Calidad del Servicio de Distribución", Ecuador, 2001.