



Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería

ISSN: 0718-3291

facing@uta.cl

Universidad de Tarapacá

Chile

Gondres Torné, Israel; Báez Prieto, Raúl; Lajes Choy, Santiago; del Castillo Serpa, Alfredo

Determinación de la confiabilidad en interruptores de potencia: caso de estudio

Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería, vol. 21, núm. 2, agosto, 2013, pp. 271-278

Universidad de Tarapacá

Arica, Chile

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=77228591010>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

## Determinación de la confiabilidad en interruptores de potencia: caso de estudio

### *Determination of reliability in high voltage breakers: case study*

Israel Gondres Torné<sup>1</sup>   Raúl Báez Prieto<sup>1</sup>   Santiago Lajes Choy<sup>1</sup>   Alfredo del Castillo Serpa<sup>2</sup>

Recibido 11 de abril de 2011, aceptado 8 de marzo de 2013

*Received: April 11, 2011   Accepted: March 8, 2013*

### RESUMEN

En este trabajo se describen algunos métodos para el análisis de la confiabilidad, tales como la tasa de falla instantánea, la razón promedio de fallas, herramientas estadísticas y otras técnicas usadas para mejorar la vida útil de equipos y componentes. A partir de estas consideraciones se analizan los interruptores de potencia instalados en una subestación para determinar su confiabilidad e identificar los elementos con mayor incidencia y el comportamiento de falla basado en una distribución Weibull, lo cual permite predecir las posibles fallas de dichos elementos.

Palabras clave: Confiabilidad, estadística, fallas, interruptores, subestaciones.

### ABSTRACT

*This work describes some methods for the reliability analysis, such as the instantaneous failure rate, the average failure rate, statistical tools and other techniques that are used to improve the lifetime of equipment and components. The high voltage breakers installed in a substation are analyzed according to these considerations to determine their reliability and to identify the elements with high probability of failure and the fault behavior, based on Weibull distribution, that enable the possibility to predict future faults is also analyzed.*

*Keywords: Faults, high voltage breakers, substations, statistical, reliability.*

### INTRODUCCIÓN

La confiabilidad es el área de la estadística que se encarga del estudio de las fallas que presentan distintos componentes a lo largo del tiempo [1]. Esta área ha tomado mucha importancia desde que se empezó a aplicar en otras áreas de estudio, en sistemas como lo son los biológicos y de la salud, mecánicos, ingenieriles, industriales, en las ciencias sociales, entre otros.

La confiabilidad es de gran importancia en estudios de planeación del mantenimiento [2], el cual es vital para la maquinaria que lo necesita a lo largo de su

período de vida para mantenerla en el mejor estado posible; también, es importante contar con una buena estimación de la variación, la cual siempre vamos a tener presente en el desempeño de todo sistema, la vida esperada de todo tipo de componentes y en muchos otros aspectos más.

Se conoce que algunos sistemas se comportan con una tasa de falla constante en el principio de su vida, para posteriormente entrar en una tasa de fallas creciente que es cuando estos sistemas ya tienen un período de tiempo funcionando. Al integrarse estas dos etapas se obtiene la distribución Hockey Stick. Actualmente, existen métodos que solo pueden

<sup>1</sup> Departamento de Ingeniería Eléctrica. Universidad de Camagüey "Ignacio Agramonte Loynaz". Circunvalación Norte km 5½. Camagüey, Cuba. E-mail: israel.gondres@reduc.edu.cu; raul.bprieto@reduc.edu.cu; santiago.lajes@reduc.edu.cu

<sup>2</sup> Centro de Estudios de Innovación y Mantenimiento. Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría". Calle 14, N° 11901, 119 y 129. Marianao. La Habana, Cuba. E-mail: acastillo@mecanica.cujae.edu.cu

modelar parcialmente los datos de esta distribución exponencial en su primera etapa y en la segunda a una distribución Weibull [3], eligiendo de manera arbitraria el punto de corte o de inflexión.

Para la evaluación de la confiabilidad de las subestaciones se deberán primeramente determinar los conjuntos de corte a evaluar si vamos a realizar el análisis en su conjunto, mientras que si es por elementos adoptaremos otros métodos como es el caso de la criticidad. El conjunto de corte es un arreglo de bloques dispuesto de tal forma que la falla simultánea de todos estos causa una ruptura entre la entrada y la salida de la red de confiabilidad del sistema.

Una vez determinados estos conjuntos de corte se presentan en el esquema monolineal las áreas delimitadas de los bloques con el objetivo de reducir el sistema a otro equivalente donde se puedan obtener con mayor claridad los bloques en serie o paralelo.

No existe mejor base de datos para una empresa que la propia, siempre y cuando esta tenga la confiabilidad adecuada, contenga toda la información requerida y considere un tiempo y una población de equipos suficientes para garantizar la validez de los resultados que se obtengan a partir del tratamiento de los datos.

La información estadística generada a partir de una base de datos propia de una empresa es la única que describe fielmente el comportamiento real de sus activos, puesto que toma en cuenta su entorno operativo y sus condiciones reales de operación y mantenimiento; en este artículo se usa la base de datos de la Organización Básica Eléctrica (OBE) [4].

En caso de no contar con una base de datos se puede utilizar la información técnica especializada; esta tiene su fiel representación en el consenso de los expertos mundiales en el área de la industria del sector eléctrico, tales como las de la IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers) [5-6] y la IEC (Internacional Electrotechnical Commission), reportes de los comités de estudio de la CIGRE (International Council on Large Electric System) y algunas otras publicaciones especializadas de fabricantes o empresas de clase mundial.

Si se requiere, como en este caso, información estadística con la razón de falla de componentes y

equipos de un sistema eléctrico, las instituciones y organismos mencionados conforman grupos de expertos que guían encuestas internacionales en varias empresas de muchos países, para posteriormente procesarlas y brindar resultados garantizadamente válidos. A continuación se describe la principal información estadística considerada en el estudio.

La publicación Working Group 13-06 of Study Committee 13 [7] contiene los resultados del primer estudio internacional de fallas de interruptores en servicio, con un período de observación de cuatro años (1974 a 1977). El estudio está basado en una encuesta a 102 empresas de 22 países, haciendo un total de 77.892 horas de servicio de interruptores. El 95% de los interruptores operaba menos de 78 veces al año, con una media de 26 operaciones/año, lo que significa menos de 2.000 operaciones en 25 años (vida útil media de un interruptor).

El objetivo principal del estudio para los usuarios de estos equipos es obtener el mejor compromiso entre el costo del equipo y su operación y el riesgo de no satisfacer la demanda en un momento dado.

La operación y la planificación de un sistema [8] hace necesario conocer por un lado la razón de falla, los tiempos de reparación y el costo de las reparaciones y, por otro, se requiere conocer los tiempos de indisponibilidad por inspecciones, intervenciones programadas y sus costos asociados.

La clasificación por origen de la falla está hecha en fallas mecánicas y eléctricas. El 70,3% de las fallas mayores y el 85,6% de las fallas menores tienen origen mecánico. El 19,1% de las fallas mayores y el 11,7% de las fallas menores tienen origen eléctrico concerniente a los circuitos auxiliares.

La causa de las fallas es fundamentalmente el diseño (45,3% para fallas mayores y 52,5% para fallas menores), siendo la gran mayoría de fallas de los interruptores producidas por fallas en el mecanismo de operación y en los circuitos auxiliares [8].

## ANÁLISIS TEÓRICO

La confiabilidad engloba varias actividades y una de ellas es el planteamiento de modelos de confiabilidad, siendo esto fundamentalmente la probabilidad de supervivencia del sistema. Se expresa como una

función de las confiabilidades de los componentes o subsistemas, y generalmente estos modelos se encuentran dependiendo del tiempo. Otra actividad de la confiabilidad es la de las pruebas de duración y estimación de la confiabilidad.

La confiabilidad debe ser definida como la habilidad de un producto o sistema para desempeñar por encima de un período de tiempo de acuerdo con las especificidades de diseño o a las especificaciones del consumidor [9].

La confiabilidad según [10] es la probabilidad que un componente, equipo o sistema desempeñe una función requerida bajo condiciones de operación encontradas para un período específico de tiempo.

### Función de Confiabilidad

La Función de Distribución Acumulativa para una población es llamada distribución de vida y se denota como  $F(t)$ . La  $F(t)$  se interpreta como la proporción de componentes, equipos o sistemas que fallan antes o hasta el tiempo  $t$ .

$$F(t) = \int_0^t f(x)dx, \quad t \in [0, \infty] \quad (1)$$

donde:

$t$  es la variable aleatoria que indica el tiempo de fallas.  
 $f(x)$  es la función de densidad de probabilidad.

La Función de Distribución Acumulativa se puede interpretar de dos maneras:

1. La probabilidad o seguridad de que una unidad de la población falle antes de  $t$  unidades de tiempo.
2. Fracción de la población que falla antes de  $t$  unidades de tiempo (incluye el tiempo  $t$ ).

La función de confiabilidad es un complemento de la Función de Distribución Acumulativa y esta tiene una peculiar atención en la confiabilidad, ya que se centra en las unidades que no fallan en un tiempo  $t$ . La función de confiabilidad  $R(t)$  se define de la siguiente manera:

$$R(t) = 1 - F(t) \quad (2)$$

Esta función se puede interpretar de la siguiente forma:

1. La probabilidad de que una unidad de la población no haya fallado antes del tiempo  $t$ .
2. Fracción de la población que sobrevive al tiempo  $t$ .

### Tasa de Falla Instantánea

Esta función también es conocida como Tasa Instantánea de Falla o Tasa de Riesgo. La tasa de fallos puede definirse como el número de equipos que fallan durante un período de tiempo concreto dividido por el número de equipos expuestos al fallo [11]. Puede interpretarse como la tasa de transición del estado “en funcionamiento” al estado “averiado”.

La función de riesgo especifica las fallas instantáneas o la tasa de muerte en el tiempo  $t$ , dado que un objeto ha sobrevivido hasta el tiempo  $t$ . La tasa de falla instantánea está definida como:

$$TF(t, t + \Delta t) = \frac{F(t + \Delta t) - F(t)}{t + \Delta t - t} \times \frac{1}{R(t)} \quad (3)$$

donde:

$F(t + \Delta t)$ : Función de probabilidad acumulativa en el tiempo  $t + \Delta t$ .

$F(t)$ : Función de probabilidad acumulativa en el tiempo  $t$ .

$R(t)$ : Función de Confiabilidad.

### El método de la Razón Promedio de Falla

Este método se utiliza para medir la calidad del servicio eléctrico, acercándose más a medir la frecuencia de ocurrencia de fallas que a medir la duración de las mismas. En él se consideran combinaciones de elementos en serie o paralelo basados en los siguientes principios:

a) Cada componente se encuentra en solo dos estados que son: disponible y no disponible. No se toma en cuenta el estado de mantenimiento. Considerando el número de fallas se determina la probabilidad de falla “ $p$ ”, y a la probabilidad de que esté disponible se le llama “ $q$ ” siendo:

$$p + q = 1 \quad (4)$$

b) Se supone que las fallas son independientes y por tanto la probabilidad de fallas simultáneas viene dada por el producto de sus respectivas probabilidades.

c) En un sistema en serie, todas las componentes deben estar disponibles para que exista el flujo de potencia desde el envío hasta el recibo. La probabilidad de no falla es el producto de las probabilidades de no falla de cada componente; para el caso de dos componentes:

$$q_s = q_1 \cdot q_2 \quad (5)$$

Y la probabilidad de falla es:

$$p_s = 1 - q_1 \cdot q_2 = p_1 + p_2 - p_1 \cdot p_2 \quad (6)$$

Si  $p_1$  y  $p_2$  son menores que la unidad  $p_1 \cdot p_2$  se puede despreciar.

d) En sistemas en paralelo deben fallar todos los componentes para que falle la potencia en el recibo. La probabilidad de falla es:

$$p_s = p_1 \cdot p_2 \quad (7)$$

El valor de la probabilidad de falla para la aplicación de este método se obtiene de dividir el número de días en que ocurren fallos al número de días que el componente debe estar en servicio; generalmente se considera un año.

$$p = \frac{\text{suma de días en que ocurrieron fallas}}{\text{días del año}} \quad (8)$$

La probabilidad de que un defecto se presente en un elemento será calculada según la forma tradicional.

$$P_{\text{defecto}} = \frac{\text{cantidad de veces que aparece el defecto}}{\text{tamaño de la muestra}} \quad (9)$$

### El Statgraphics como herramienta de análisis estadístico

El uso de esta poderosa herramienta nos facilita todo el procesamiento de datos, además de contar con otras facilidades para análisis más exhaustivos y precisos en nuestra área. No pretendemos explicar el funcionamiento del *software*, sino solamente precisar que el Statgraphics 5 es intuitivo y provee un conjunto de aspectos que lo hacen atractivo para profesionales que trabajan en cualquier industria. Entre los principales aspectos del programa merecen destacarse el StatAdvisor, que da una interpretación

de los resultados; StatFolio, que permite guardar y reutilizar los análisis realizados previamente; gráficos interactivos; StatGallery que permite combinar textos y gráficos en múltiples páginas; StatWizard, que guía en la selección de los datos y los análisis, y StatReporter que permite organizar reportes del Statgraphics [12].

## APLICACIÓN DE LOS MÉTODOS Y RESULTADOS

El análisis de confiabilidad de una subestación involucra arreglos complejos de interruptores, debido a esto es necesario desarrollar modelos que consideren el efecto de la operación de estos dentro de una configuración específica de la subestación. En este trabajo se realiza el análisis de la confiabilidad de una subestación predeterminada mediante una propuesta de metodología que consta del uso de varios métodos de obtención de confiabilidad.

### Primer paso: caracterizar la subestación a evaluar

En este paso se realiza un estudio con datos procedentes de una subestación de Camagüey y se logra obtener la cantidad de veces en que los interruptores de dicha subestación operaron debido a fallas externas, además de la cantidad de veces que estos no respondieron positivamente a dichas fallas, o sea, que fallaron ellos. Este estudio se hace con datos obtenidos del registro de los libros de la subestación en un lapso de 22 meses.

La subestación cuenta con siete interruptores que se distribuyen en un totalizador y seis interruptores de línea. La distribución de estos se muestra en la Figura 1 que aporta la suficiente información para comprender los análisis y procedimientos realizados.

### Segundo paso: calcular la probabilidad de fallo de los interruptores de la subestación

En este paso se calcula la probabilidad de fallo de cada elemento independiente mediante el Método de la Razón Promedio de Falla y luego el de la subestación en general. Los principales elementos de una subestación son interruptores y transformadores; en estos últimos la ocurrencia de fallas es muy pequeña, por tanto tendremos en cuenta solamente los valores de falla aportados por los interruptores para calcular dicha probabilidad.

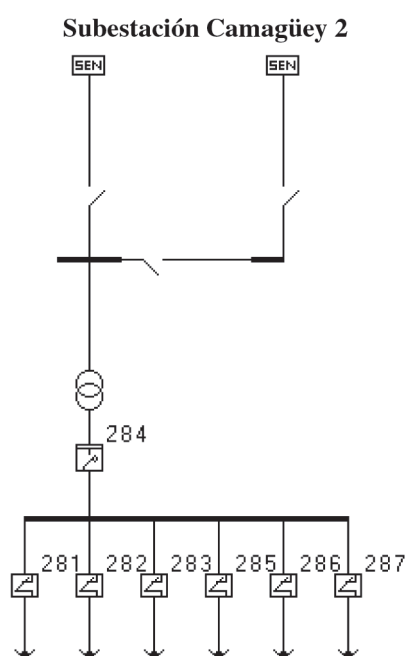


Figura 1. Diagrama de la subestación Camagüey.

Generalmente la probabilidad se calcula como la relación existente entre la suma de días en que ocurrieron fallas y los días del año, pero en caso de los interruptores se considera una falla cuando este no actúa de forma correcta ante una falla externa.

Podemos considerar la cantidad de fallas externas como la cantidad de operaciones que el interruptor realiza bajo condiciones de cortocircuito. Por tanto, podemos decir que la probabilidad de falla de un interruptor está dada por la relación que existe entre la cantidad de veces que no actúa de forma correcta ante una falla y la cantidad de veces que este actúa ante fallas externas en el lapso de un año.

$$p = \frac{\text{Cantidad de veces que no actúa de forma correcta}}{\text{Cantidad de veces que actúa ante fallas externas}} \quad (10)$$

De los resultados obtenidos en la Tabla 1 se infiere que cuando se tienen niveles significativos de operación la probabilidad de falla de los interruptores varía entre 0,02 y 0,04.

Esto significa que los interruptores analizados pueden no actuar de forma correcta ante fallas externas en un rango del 2 al 4%.

Tabla 1. Probabilidad de fallas y tiempo entre fallas de los interruptores.

Interruptores	Cantidad de fallas	Cantidad de operaciones	T en meses	Tiempo entre fallas. (MTBF)	Probabilidad fallas
284	0	2	22	-----	0
281	3	77	22	7,3333	0,0389
282	3	93	22	7,3333	0,0322
283	0	12	22	-----	0
285	11	410	22	2	0,0268
286	8	262	22	2,75	0,0305
287	7	275	22	3,1428	0,0254

$$\text{Media de operaciones} = \frac{\text{Cantidad total de operaciones}}{\text{Número de interruptores}} \quad (11)$$

Teniendo en cuenta que la media de operaciones en un año en la subestación estudiada es de 88,13 se puede inferir que existe la probabilidad de que cada una de los interruptores de la subestación falle entre 1,76 y 3,52 veces al año. Esta probabilidad nos daría un tiempo promedio entre fallas (MTBF) de 6,8 a 3,4 meses. Sin embargo, para los casos más críticos como el 285 se tiene una media de 223 operaciones al año y un promedio de falla de 5,96 fallas por año o lo que es lo mismo, un tiempo promedio entre fallas de aproximadamente dos meses.

El tiempo entre fallas se puede calcular dividiendo el total de mala operación entre el total de veces que debió operar.

$$MTBF = \frac{\text{Total de mala operación}}{\text{Total de veces que debió actuar}} \quad (12)$$

Para calcular la probabilidad de fallo de la subestación en general, o lo que es lo mismo, su confiabilidad, bastaría con multiplicar los valores de probabilidad de fallo de los interruptores por los del totalizador 284 y seleccionar el mayor valor, ya que el plano de la subestación en cuestión es sencillo y no consta de elementos en paralelo. Todos los interruptores (281, 282, 283, 285, 286, 287) se encuentran en serie con el totalizador 284 y, por tanto, la probabilidad de que la subestación falle es el mayor producto de



la probabilidad de falla del totalizador y de uno de los interruptores. Sin embargo, de acuerdo con los datos obtenidos, el totalizador realiza muy pocas operaciones de apertura y recierre ante fallas externas y no se reportaron problemas en su funcionamiento, por lo que no se puede considerar ninguna falla del totalizador; no obstante la probabilidad de falla de este no se puede considerar 0.

La confiabilidad en cuestión también se perjudica si los interruptores fallan pues se deja de servir energía, por tanto, no se puede decir que la confiabilidad sea buena o mala en dicha subestación. Con un estudio más prolongado de los interruptores en la subestación se puede obtener valores de fallo para el totalizador y por tanto se lograría conseguir un valor de confiabilidad de la subestación mucho más acorde con la realidad.

### Tercer paso: evaluación cuantitativa de la confiabilidad, mediante la utilización del programa estadístico Statgraphics

Usando las bondades del *software* se obtiene el diagrama de presentación a través de un gráfico de barras que muestra la frecuencia de fallos por interruptores.

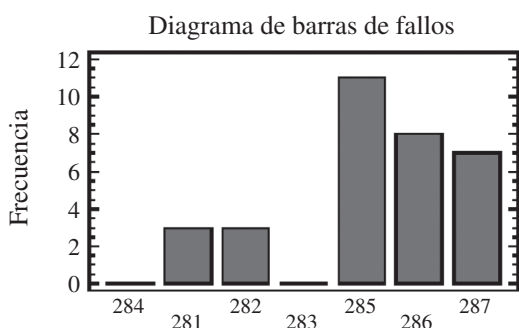


Figura 2. Frecuencia de fallos de los interruptores.

Teniendo en cuenta que la mayor cantidad de operaciones y fallos está concentrada en los interruptores 285, 286 y 287 como se muestra en la Figura 2, se procede a realizar con ellos el análisis pertinente mediante la aplicación del programa estadístico Statgraphics.

En la Tabla 2 se muestra 95,0% intervalos de confianza para las medias y desviaciones típicas para cada una de las variables. Los intervalos asumen que las poblaciones de las que proceden las muestras pueden representarse por distribuciones normales.

Tabla 2. Intervalos de confianza del 95% de confiabilidad para la media y la desviación típica.

Interruptores	Media error	Estándar	Límite inferior	Límite superior
286	29,0	4,0444	19,4365	38,5635
287	34,375	4,29259	24,2246	44,5254
285	39,875	5,26253	27,4311	52,3189
	Sigma	Límite Inferior	Límite Superior	
286	11,4393	7,56335	23,282	
287	12,1413	8,0275	24,7108	
285	14,8847	9,84136	30,2944	
95,0 Intervalos de confianza				

Mientras que los intervalos de confianza para las medias son bastante robustos y no muy sensibles a las violaciones de este supuesto, los intervalos de confianza para las desviaciones típicas son bastante sensibles.

A partir de aquí se verifican los supuestos de normalidad en el procedimiento para todos los interruptores mediante un Análisis Unidimensional, solo se muestra el 285.

### Resumen del Análisis

Datos: **Interruptor 285**, Método de Estimación: máxima probabilidad, Tamaño de la muestra=12, Número de fracasos=12, Forma Estimada=2,63325; Escala Estimada=38,4402; Punto Inicial=0,0

Tabla 3. Test de bondad de ajuste para interruptor 285. Contraste chi-cuadrado.

Límite Inferior	Límite Superior	Frec. Observ	Frec. Esperada	Chi²
menor o igual	21,7472	3	2,40	0,15
21,7472	29,7851	2	2,40	0,07
29,7851	37,1849	2	2,40	0,07
37,1849	46,0545	2	2,40	0,07
mayor	46,0545	3	2,40	0,15

En la Tabla 3 se muestran los resultados obtenidos en el StatAdvisor indicando los tests ejecutados para determinar si el interruptor 285 puede ser modelado

adecuadamente por distribución de Weibull. El test chi-cuadrado divide el rango de interruptor 285 en intervalos no solapados y compara el número de observaciones en cada clase con el número esperado basado en la distribución ajustada. El test de Kolmogorov-Smirnov calcula la distancia máxima entre la distribución acumulada del Interruptor 285 y el CDF de la distribución de Weibull ajustada.

En este caso, la distancia máxima es 0,152223. Los otros datos estadísticos EDF comparan de diferentes maneras la función de distribución empírica con el CDF ajustado. Dado que p-valor más pequeño de los test realizados es superior o igual a 0,10, no podemos rechazar que el Interruptor 285 proceda de una distribución de Weibull con un nivel de confianza de al menos un 90% como se muestra en la Figura 3.

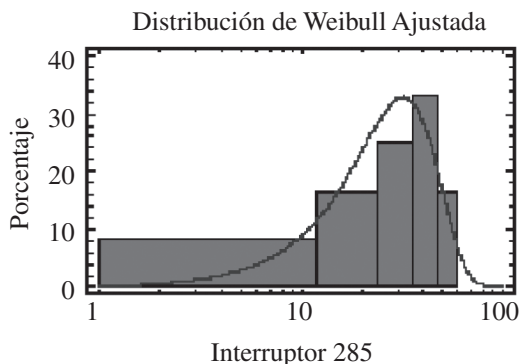


Figura 3. Distribución de Weibull Ajustada al Interruptor 285.

Los interruptores analizados presentan una distribución Weibull, lo cual nos permite calcular la probabilidad de que funcione al menos un tiempo específico bajo condiciones experimentales dadas en el tiempo (t), y nos permite pronosticar la probabilidad de que un componente dado funcione después de un determinado tiempo.

### CONCLUSIONES

Los cálculos y análisis de confiabilidad eléctrica se enfocaron de forma tal que puedan predecir las fallas futuras para la selección correcta del mantenimiento en los interruptores de las subestaciones.

El análisis realizado en el Statgraphics permite conocer que el comportamiento de falla de los interruptores está basado en una distribución

Weibull y esto resulta importante pues utilizando esta distribución se pueden predecir futuras fallas.

La metodología propuesta puede aplicarse en otras subestaciones eléctricas.

### REFERENCIAS

- [1] J. Rojas. "Introducción a la Confiabilidad". Universidad de los Andes. Bogotá. Colombia. 1975.
- [2] W.R. Blischke and D.N. Prabhakar. "Case Studies in Reliability and Maintenance". John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, pp. 1-26. New Jersey, USA. 2003. ISBN: 0-471-41373-9.
- [3] ReliaSoft Corporation. "Life Data Analysis Reference Book", p. 52. Date of visit: November 17, 2012. URL: [http://reliawiki.org/index.php/The\\_Weibull\\_Distribution](http://reliawiki.org/index.php/The_Weibull_Distribution)
- [4] Registro histórico por circuitos de las fallas en interruptores. OBE Provincial. Camagüey, Cuba. 2009.
- [5] ANSI/IEEE C57.117-1986. "IEEE Guide for Reporting Failure Data Power Transformers and Shunt Reactor on Electric utility Power System". 1986.
- [6] IEEE Std 493-1997. "IEEE Recommended Practice for the design of Reliable Industrial and Commercial Power Systems". December, 1997.
- [7] Working Group 13-06 of Study Committee 13 (Switching Equipment) of CIGRE "The first international enquiry on circuit-breaker failures and defects in service". Electra N° 79. 1981.
- [8] T.M Lindquist, L. Bertling and R. Eriksson. "Circuit breaker failure data and reliability modelling". IET Generation, Transmission & Distribution. Vol. 2, Issue 6, pp. 813-820. 2008.
- [9] A. Arriagada. "Evaluación de confiabilidad en sistemas eléctricos de distribución". Tesis para optar al grado de Magíster en Ciencias de la Ingeniería. Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile. 1994.
- [10] M.E. Beehler. "Reliability Centered Maintenance for Transmission Systems". IEEE Transactions on Power Delivery. Vol. 12, Issue 2. April, 1997.



- [11] E. Madrigal. “Estimación e inferencia de los parámetros de la distribución Hockey Stick”. Tesis para optar al título en Maestría en Ciencias con Especialidad en Ingeniería Industrial. Departamento de Ingeniería Industrial y Textil. Escuela de Ingeniería. Universidad de las Américas Puebla. Cholula, Puebla, México. 2004.
- [12] B.A. Calderón. “Conceptos básicos del Statgraphics”, p. 25. 2009. Fecha de consulta: 17 de Noviembre de 2012. URL: <http://www.unizar.es/3w/Materiales/doctorado/Manualstatg2.1.pdf>