

DISPONIBILIDAD ESTADÍSTICA DE INDICADORES DE CONFIABILIDAD EN EL SISTEMA DE TRANSMISIÓN DEL ECUADOR

Adriana Pacheco
Dirección de Planeamiento

RESUMEN

Actualmente no se conoce el comportamiento histórico de los indicadores de confiabilidad del Sistema Nacional de Transmisión, existe por tanto la necesidad de generar la estadística operativa de los mismos. La evolución histórica de estos indicadores permitirá al CENACE conocer el grado de confiabilidad de la red; al Transmisor mejorar los procesos de mantenimiento de los elementos de la red de transmisión; y, al Regulador la aplicación de reglas de cumplimiento de índices de disponibilidad de los elementos de transmisión y la determinación, de manera técnica, de las compensaciones económicas respectivas.

En el presente trabajo se desarrolla el tratamiento estadístico de la tasa de salida forzada, el factor de servicio, la duración media de desconexión forzada y la energía no suministrada. A través del control estadístico de procesos se inferirá sobre el comportamiento de los elementos de transmisión y se intentará encontrar posibles tendencias de ajuste. El empleo de herramientas estadísticas proporcionará la visión de comportamientos anormales de los elementos, permitiendo actuar correctivamente sobre éstos.

PALABRAS CLAVE: Indicadores de Confiabilidad, Disponibilidad de Datos Estadísticos, Control de Calidad y Cartas de Control.

1. INTRODUCCION

El establecer el registro de los datos de las fallas de los elementos de transmisión comprende las siguientes etapas: 1) Identificación de los elementos a ser monitoreados, 2) Sistematización en la recolección de los datos, 3) Definición de los indicadores de confiabilidad, 4) Contar con un banco de datos históricos de los resultados y 5) Disponer del comportamiento a lo largo del tiempo de los indicadores de confiabilidad.

La quinta etapa es fundamental para caracterizar el comportamiento de los indicadores de confiabilidad, y sobre ésta se profundizará el estudio.

Un análisis inicial de los indicadores de confiabilidad podría consistir en una comparación con patrones preestablecidos; es decir, a través de un diagnóstico simple de valores mayores o menores con relación al patrón, lo que da una idea puntual pero no constituye toda la información que se puede extraer del conjunto

de datos. El empleo de criterios estadísticos, enlazados con el análisis del comportamiento histórico, permite además encontrar tendencias de comportamiento de los elementos del sistema investigado.

Entre los objetivos principales de este trabajo está el analizar el comportamiento histórico de los índices de confiabilidad del Sistema Nacional de Transmisión, a través del tratamiento estadístico de datos para proporcionar una visión gerencial e inmediata de las posibles anomalías en el comportamiento de los indicadores. Esta información permitirá dirigir adecuadamente las investigaciones o guiar en los correctivos a aplicarse sobre los elementos de transmisión.

2. PROCEDIMIENTO

En este trabajo, los indicadores de confiabilidad para el Sistema de Transmisión fueron establecidos conforme las recomendaciones de la CIER y caracterizan el estado del Sistema de Potencia. La estandarización de las estadísticas de falla con el transmisor se realiza a partir del 2001, la definición de los indicadores se ejecutó en el Proyecto CENACE "Sistema de Índices de Confiabilidad" en el 2002; y, a partir de este año se recopila y procesa la información con el instructivo y procedimiento de la referencia [1].

El trabajar con información anual de indicadores no es adecuado ya que la metodología probabilística que se aplicaría se orientaría más a un modelo que a un indicador. A partir de la metodología probabilística es factible conocer el comportamiento y la tendencia de la variable de análisis, así como establecer metas y detectar necesidades de actuación sobre el sistema, de tal forma de influir en el sistema de control. En general, cuando se trabaja con procesos estocásticos, es esencial trabajar con una adecuada herramienta.

2.1. Control de Calidad

Una de las áreas de la actividad humana en la que la aplicación de las técnicas estadísticas han tenido gran difusión y al mismo tiempo un gran éxito, es en la relacionada con el control de calidad de producción de bienes y suministro de servicios.

2.2. Control Estadístico de Procesos

El control estadístico de procesos (CEP) es un método de control que permite, a partir de la información sobre

la calidad final de un producto (especificaciones), inferir sobre las condiciones operativas del proceso, indicando inclusive, posibles tendencias de ajuste. En este sentido, las características finales del producto son sensores que permiten realizar el monitoreo del proceso; esta propiedad del CEP posibilitará calificar el desempeño del indicador monitoreado o detectar una posible tendencia o degradación.

La principal razón para utilizar el CEP es contar con una herramienta simple y eficiente en la detección de cambios no previstos en el comportamiento del proceso. La ventaja notable del CEP es el no tener restricciones en la curva de distribución de probabilidad de la variable analizada y su desventaja es que la distribución de la población debe contar con media y varianzas finitas, lo que significa que el proceso sea estable.

Los parámetros de sintonía del CEP son determinados a partir del análisis de una serie de datos recopilados, determinando así un efectivo comportamiento del sistema.

En general, el CEP constituye una metodología que utiliza fundamentalmente gráficos para monitorear la calidad de un proceso de producción o de suministro de un servicio, de forma que se detecte cuanto antes, cualquier situación inadecuada; lo que permitirá eliminar las causas especiales de variabilidad en la obtención del resultado final.

2.3. Gráficos de Control de Shewhart

Los gráficos de control fueron propuestos originalmente por W. Shewart en 1920, al descubrir que existen dos tipos de variación: cambios de variación de causa y variación de causa asignable. Los cambios de variación de causa son variaciones inherentes en el proceso, son aleatorios en forma natural y no pueden ser controlados, y la variación de causa asignable es la variación que es controlada por alguna causa externa o causa especial tal como cambio en material, cambio de operador, cambio en el "seteo" de las herramientas u otros fenómenos. Por tanto, cualquier proceso que opere con cambios de variación de causa se dice que está en estado de control estadístico y el proceso que opera con variación de causa asignable se dice que está fuera de control.

La finalidad de los gráficos de control es monitorear el comportamiento de la variable analizada para controlar su buen funcionamiento, y detectar rápidamente cualquier anomalía respecto al patrón correcto, puesto que ningún proceso se encuentra espontáneamente en estado de control, y conseguir llegar a él supone un éxito; así como mantenerlo; ese es el objetivo del control de calidad de proceso y su consecución y mantenimiento exige un esfuerzo sistemático, en primer lugar para eliminar las causas asignables y en segundo para mantenerlo dentro de los estándares de calidad fijados.

La característica de calidad que se desea controlar puede representar la evolución del valor medio de la variable a analizar, como puede ser la media o la mediana, o representar un indicador de dispersión tal como el rango o la desviación típica. Las cartas de control más utilizadas corresponden al control de las medias \bar{X} y al control de la amplitud \bar{R} .

Un proceso que se encuentra en estado de control estadístico muestra patrones aleatorios de variación que obedecen a leyes de cambio. Un proceso estable obedece a distribuciones simétricas con relación a la media de 3σ que engloban el 99,73% de la población, por tanto, para poblaciones normalmente distribuidas, los límites de este intervalo establecen los límites de control. Las cartas de control donde los límites son determinados a base de las probabilidades de la curva normal son denominadas como Cartas de Control Shewhart. Este tipo de proceso estadístico se caracteriza pues sus probabilidades de ocurrencia son menores a 0,01.

El cálculo de las probabilidades está caracterizado por la ley Binomial y corresponde a:

$$P(X \leq c) = \sum_{x=0}^c C_n^x p^x (1-p)^{n-x}$$

Donde:

$X \leq c$ = Es la condición analizada, que corresponde a 3 desviaciones estándar y con una probabilidad de ocurrencia menor a 0,0027 o valor p en cada caso. El cálculo se realiza a partir de la función de densidad de probabilidades normal.

x = Total de elementos que componen la muestra.

k = Tamaño de cada muestra

2.4. Construcción de los Gráficos de Control

Para el gráfico de la evolución de las medias \bar{X} se calcula la media y la desviación estándar de las muestras, y para el gráfico de los rangos \bar{R} se realiza el cálculo (valor máximo – valor mínimo) de la muestra.

Los límites superior e inferior (LCS y LCI) se basan en un factor que al multiplicarlo por un parámetro de variabilidad (rango o desviación estándar) permite calcular los límites del gráfico. El factor, si no se dispone de un programa estadístico, puede encontrarse en un libro de control de calidad.

$$LCS = \bar{X} + A_3S$$

$$LCI = \bar{X} - A_3S$$

Gráfico de las Medias



$$LCS = D_3R$$

$$LCI = D_4R$$

Gráfico del Rango

Por tanto, los valores de A3, D3 y D4 se encuentran tabulados en libros de control de calidad, y S,R corresponden a la desviación estándar y el rango de la muestra.

2.5. Interpretación de los Gráficos de Control

El objetivo de los gráficos de control es determinar en forma visual cuando un proceso se encuentra fuera de control con una probabilidad de error pequeña.

Para facilitar la detección de patrones anómalos o poco probables en un proceso en estado de control, conviene dividir en tres zonas de igual tamaño al área situada a ambos lados de la línea central, entre ésta y los límites de control, de acuerdo a la Figura 1.



FIGURA 1: Gráfico de Control con Zonas Intermedias

Un proceso se encuentra fuera de control si:

- 1) Uno o más puntos se encuentran fuera de los límites de control, tal como se indican la Figura 1.
- 2) Al dividir en tres zonas de igual tamaño el área situada a ambos lados de la línea central, entre ésta y los límites de control, de acuerdo a la Figura 1, se observa que:
 - a. Dos de tres puntos consecutivos “caen” a un mismo lado de la línea central en la zona A o más allá.
 - b. Cuatro de cinco puntos consecutivos “caen” a un mismo lado de la línea central en la zona B o más allá.
 - c. Nueve puntos consecutivos “caen” a un lado de la línea central.
 - d. Seis puntos consecutivos ascendiendo o descendiendo.
 - e. Catorce puntos consecutivos ascendiendo o descendiendo alternativamente.
 - f. Quince puntos consecutivos dentro de la zona C (sobre y bajo la línea central).

Estos criterios son válidos para cartas de control de la media \bar{X} y la amplitud \bar{R} .

En definitiva, si se conoce la media y la desviación estándar de los datos de una población pueden ser

elaboradas las cartas de control de Shewhart, lo que se puede realizar a través de un paquete estadístico.

3. EJEMPLO DE APLICACIÓN

Se realiza un ejemplo de aplicación de este procedimiento orientándolo al caso de los Indicadores de Confiabilidad en el Sistema de Transmisión del Ecuador en el periodo del 2002 al 2004. Basados en los datos del primer semestre del 2005 se “anualizan” los mismos duplicando los valores del semestre.

Los indicadores analizados corresponden a la tasa de salida forzada, factor de servicio, duración media de desconexión forzada y energía no suministrada, a través de las líneas de transmisión de 230 kV.

3.1. Desarrollo

Debido a que los datos con los que se calculan los indicadores representan variables aleatorias y de aparición mensual totalizada en el año, se admite que posean un comportamiento igual a la distribución normal. Debido a que los datos son anuales su comportamiento es atípico, por este motivo, se homogenizarán los mismos calculando la media y la desviación estándar de toda la población.

En la Tabla 1, se calcula la media y la desviación estándar de la población correspondiente a los cuatro años.

TABLA 1: Media y Desviación Estándar de la Población en el Periodo 2002 – 2004

TIPO	MEDIA	DESV.ESTAN	RANGO
FOR	0,007	0,021	0,102
FS	99,943	0,076	0,286
rf	0,836	1,591	6,025
ENS (MWh)	11,098	20,801	69,548

Con estos datos se construye la Carta de Control de Shewhart para obtener el comportamiento de los indicadores de confiabilidad en los cuatro años de observación.

Debido a que existen cuatro puntos de control, el análisis se realizará con la verificación de la existencia del punto que extrapole los límites de tres desviaciones estándar y la verificación de la existencia de 2 o 3 muestras en la región comprendida entre 2 y 3 desviaciones estándar o alrededor de ellos. La utilización de la carta de control no exige la verificación de todas las condiciones citadas en el punto 2.3 para identificar si un punto se encuentra fuera de control estadístico.

A continuación se realizan los gráficos de control y las pruebas para los cuatro valores anuales 2002 – 2004, correspondientes a las líneas de transmisión de 230 kV.

La Figura 2, presenta la carta de control de la tasa de salida forzada (FOR) para líneas de transmisión de 230

kV, en la que se observa la violación del indicador tanto en la carta de la media como en la del rango, evidenciando un comportamiento anormal en el primer año (2002), debido a las fallas que ocurrieron en las líneas de transmisión Pascuales - Quevedo Circuito 2 , los dos circuitos de la Pascuales - Molino y los dos circuitos de la Milagro - Molino que representaron el 48,6% del total de fallas de ese año y cuyo tiempo de reposición del equipo representó el 78,96%.

Adicionalmente, se observa que 71,4% de las fallas fueron de tipo externo al sistema y el 28,6% fallas en el equipo. En los subsiguientes años se observa que el indicador FOR se mantiene constante para las líneas de 230 kV.

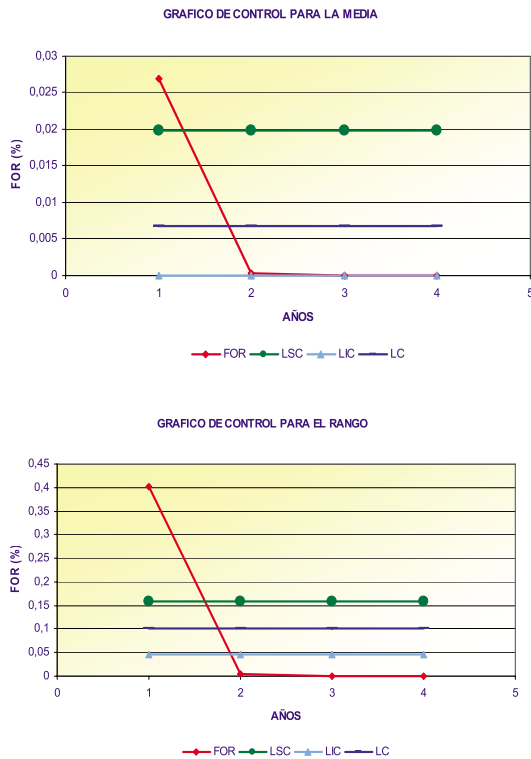


FIGURA 2: Carta de Control \bar{X} y \bar{R} para la Tasa de Salida Forzada Líneas de 230 kV

En la Figura 3, se presenta la carta de control del factor de servicio para líneas de transmisión de 230 kV, en la que igualmente existe la violación del indicador en la carta de la media en el 2002, en el cual su factor de servicio es bajo por las fallas ocurridas en el circuito 2 de la línea Pascuales – Quevedo, en los dos circuitos de la Pascuales - Molino y en los dos circuitos de la Milagro - Molino. En el 2003, este factor no viola los límites de control pero se observa la disminución del mismo, disminución atribuible a las fallas que se presentan en los nuevos circuitos Pomasqui – Santa Rosa por el inicio de la operación de la Interconexión Ecuador - Colombia y las fallas de los dos circuitos Quevedo - Pascuales que representan el 60,7% del total de las fallas y de este total el 41,2% son debido a fenómenos naturales y fallas en equipo. Los

subsiguientes años: 2004 y 2005 se mantienen constantes e incluso superando al límite de control superior que es lo deseado para este indicador.

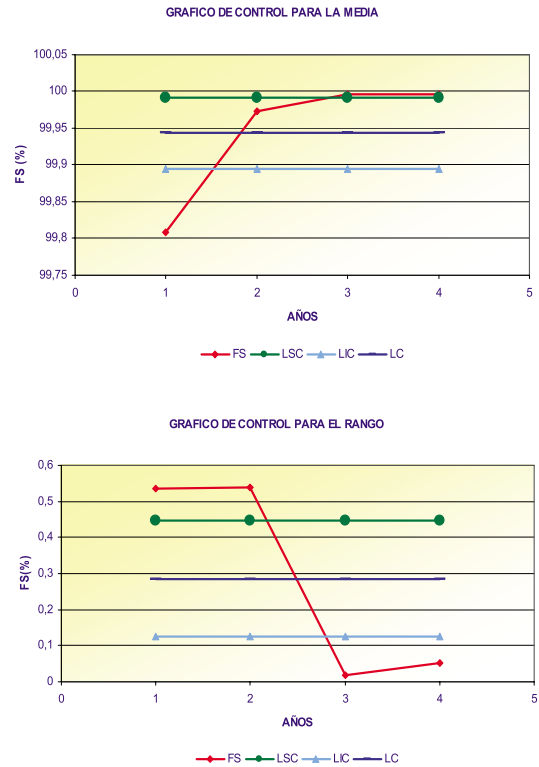
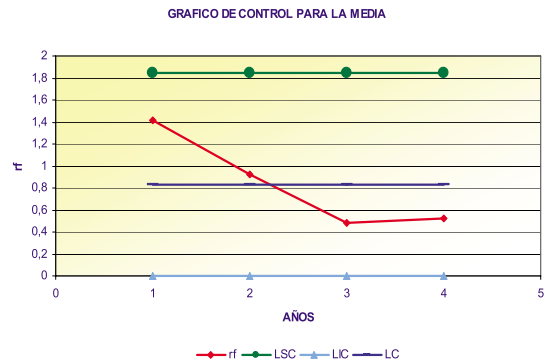


FIGURA 3: Carta de Control \bar{X} y \bar{R} para el Factor de Servicio Líneas de 230 kV

Con relación a la Figura 4, duración media de desconexión forzada para líneas de 230 kV, se encuentra que para la carta de control de la media presenta un comportamiento normal. En cambio, para la carta de control del rango existe violaciones al límite superior para el primer punto, evidenciando un período de restitución muy alto correspondiente a la puesta en servicio del circuito 2 de la línea de transmisión Quevedo – Pascuales. Luego de superar la falla en el equipo, en los subsiguientes años se observa la disminución de la magnitud del indicador r_f , inclusive fuera del límite de control inferior, sería deseable conservar esta tendencia.



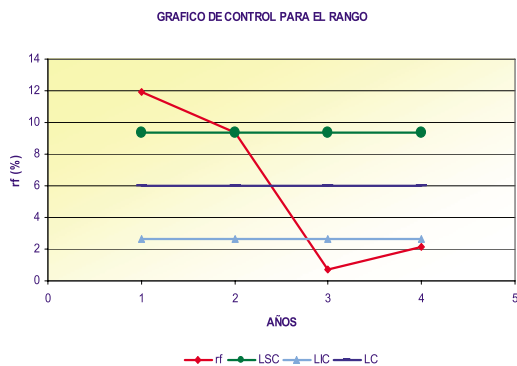


FIGURA 4: Carta de Control \bar{X} y \bar{R} para la Duración Media de Desconexión Forzada - Líneas de 230 kV

Con relación a la Figura 5, energía no suministrada para líneas de 230 kV, las cartas de control de la media y el rango presenta una violación al límite superior de control en el primer punto debido a las fallas de los dos circuitos Milagro - Molino y de los dos circuitos de Pascuales - Milagro, que representaron el 81,38% de la energía no suministrada total. A partir del 2003, esta energía no suministrada tiende a disminuir e incluso se encuentra en el límite inferior de control, esta disminución de la energía no suministrada es atribuible a la robustez del sistema por el inicio de la operación de la Interconexión Ecuador - Colombia 230 kV.

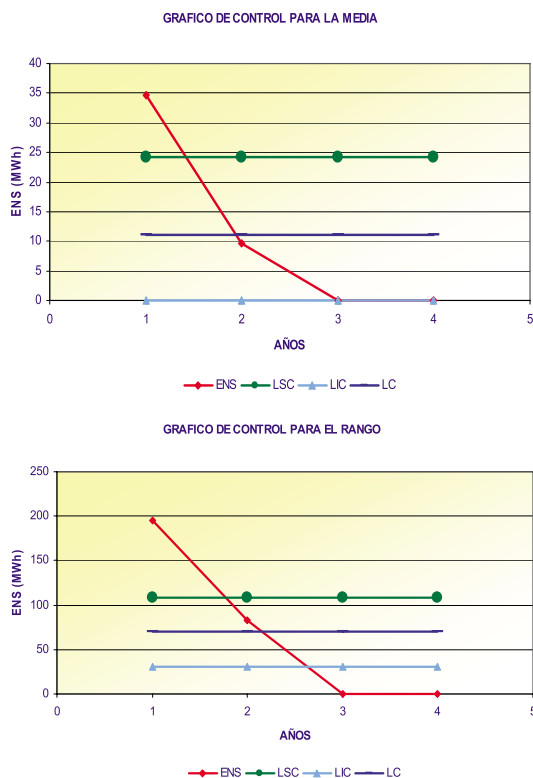


FIGURA 5: Carta de Control \bar{X} y \bar{R} para la Energía No Suministrada - Líneas de 230 kV

Del análisis se observa que existieron violaciones de los indicadores a las 3 desviaciones estándar, por tanto queda a futuro el seguir analizando los ítem del punto 2.4.

El análisis presentado puede ser extendido a los demás elementos del sistema de transmisión.

4. CONCLUSIONES

Este trabajo presenta una metodología para realizar el monitoreo del desempeño de los indicadores de confiabilidad del sistema de potencia del Ecuador, permitiendo diagnosticar el funcionamiento del Sistema Nacional de Transmisión.

Se recomienda el uso de la metodología mostrada en este trabajo para establecer penalizaciones por el cumplimiento de los controles establecidos, con la visión de priorizar obras de expansión en el sistema de transmisión.

Es fundamental en el análisis de los indicadores de confiabilidad el identificar los puntos que pueden comprometer el resultado, pues lo mínimo esperado es que se mantenga el comportamiento medio. De esta manera, se podrá efectuar un mejor control sobre el equipamiento para que no se vea afectada la continuidad de servicio y disponibilidad de los elementos.

El control estadístico de calidad se apoya en técnicas estadísticas para monitorizar de forma continua la estabilidad del proceso, y a través de los gráficos de control se realiza el análisis visual de los resultados, permitiendo detectar presencia de un exceso de variabilidad no asignable y probablemente atribuible a causas asignables que luego se podrán corregir e investigar.

Los gráficos de control son fáciles de usar e interpretar en todo nivel, y a través de la utilización de los criterios estadísticos permiten tomar decisiones que se basen en hechos y no en interpretaciones subjetivas.

Un simple conocimiento de la media y la desviación estándar de la población permiten probar puntos de

interés en relación a las cartas de las medias previamente construida con estos parámetros.

Una aplicación de la teoría de Control Estadístico de Procesos de los indicadores de Confiabilidad del sistema de Transmisión, muestra que tipo de información es agregado a un gráfico de comportamiento histórico. Adicionalmente, un diagnóstico estadístico provee elementos que contribuyen a la toma de decisiones gerenciales acerca de los puntos sobre los que se debe actuar, de modo de ser direccionados e investigados para obras que realmente venga a reducir interrupciones o por lo menos manteniendo estable su comportamiento histórico.

5. BIBLIOGRAFIA

- [1] CENACE; Instructivo Recopilación y Registro de Información para Fallas en el SNI e Interconexiones Internacionales.
- [2] CAPA S. Holger; Control Total de Calidad, Escuela Politécnica Nacional Facultad de Ciencias, IV Encuentro de Matemáticas y sus Aplicaciones.
- [3] TAGUCHI Genichi; CHOWDHURY Subir; WU Yui; Taguchi's Quality Engineering Handbook, 2004.
- [4] JURAN J.; Manual para el Control de Calidad.



Adriana Janet Pacheco Toscazo

Ingeniera Eléctrica de la Escuela Politécnica Nacional, Quito 1996 y egresada de los estudios de Maestría en Estadística Aplicada en la Escuela Politécnica Nacional en 2005.

Ha desempeñado sus labores profesionales en la fábrica de transformadores ECUATRAN S.A. como Ingeniera de Investigación y Desarrollo y en el CENACE, en el Área de Estudios Eléctricos de la Dirección de Planeamiento. Actualmente se desempeña en la Dirección de Operaciones en el Área de Análisis de la Operación. .