

# **Estrategia Para El Monitoreo De La Condición De Los Interruptores De Potencia Del Grupo Energía Bogotá**

Juan Carlos Montoya Blanco

Cristian Camilo Avellaneda Castiblanco

3, 4 y 5 Abril de 2019 Bogotá – Colombia



# Contenido

1. Introducción
2. Parámetros del Interruptor
3. Funciones y Modos de Falla
4. Herramientas para el Monitoreo
5. Estrategia de monitoreo del GEB
6. Fallas Encontradas
7. Evaluación de la estrategia de mantenimiento
8. Conclusiones

## Introducción

El Grupo Energía Bogotá (GEB), es propietaria de más de 20 subestaciones en alta tensión, de las cuales 9 de ellas fueron puestas en servicio hace más de 30 años. Adicionalmente, en los últimos años ha aumentado su participación en el Sistema de Transmisión Nacional (STN) con la adjudicación de diferentes proyectos en 500 kV y 230 kV; para el diseño, construcción, operación y mantenimiento de subestaciones y líneas de transmisión.

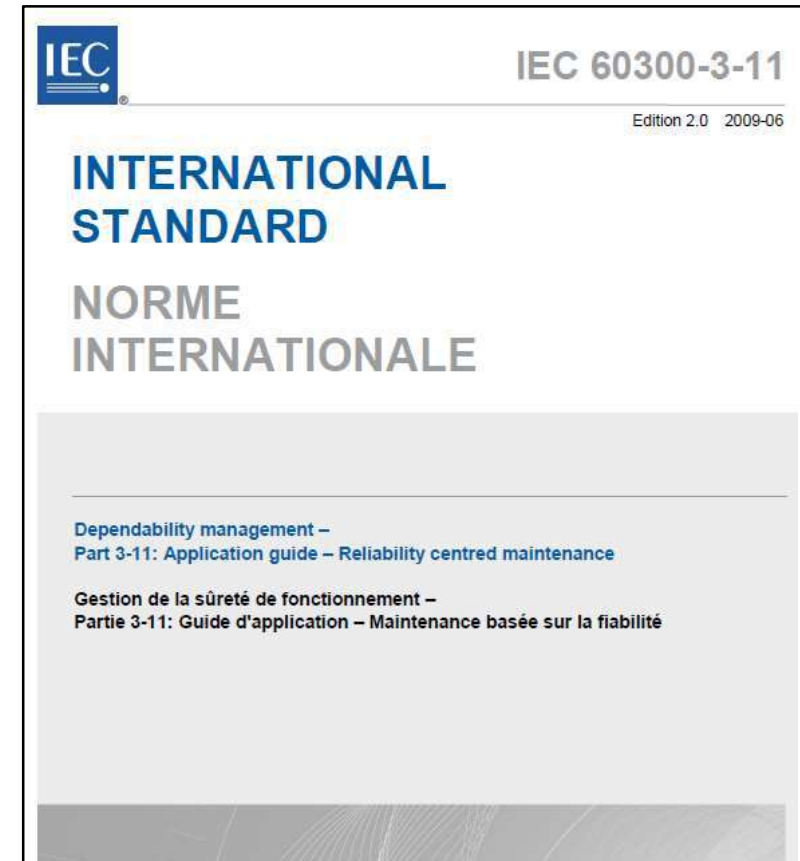


## Introducción

El interruptor de potencia cumple una función clave para asegurar la estabilidad del sistema eléctrico, al ser el encargado de conectar o desconectar elementos durante las diferentes condiciones de operación del sistema. Por esta razón, asegurar la disponibilidad y correcta operación del mismo es una tarea fundamental del área de mantenimiento.

## Introducción

El GEB ha adoptado la estrategia de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) para la planificación del mantenimiento de cada uno de sus activos, el cual a partir de la definición de las funciones, modos de falla y determinación del riesgo prioriza las actividades de mantenimiento, las cuales pueden ser de tipo preventivas o de monitoreo de la condición.



## Parámetros del Interruptor

El interruptor de potencia es un dispositivo mecánico capaz de conducir, establecer e interrumpir corrientes en condiciones normales y anormales (Cortocircuito) del sistema eléctrico. Por lo cual, una función básica de los mismos es la conexión o desconexión de elementos o partes del sistema, tales como líneas de transmisión, equipos inductivos, o barrajes.

Existen diferentes tipos de interruptores, los cuales pueden clasificarse según su nivel de tensión, sitio de instalación, diseño interno, medio de interrupción o por su mecanismo de operación.



## Parámetros del Interruptor

Los diferentes parámetros del interruptor suelen ser agrupados en diferentes sistemas para su contextualización, por ejemplo:

- Sistema de gas SF6
- Sistema Mecánico
- Sistema de Contacto
- Sistema de Circuitos Auxiliares y de Control

### Características Interruptores GEB

Operación  
Monopolar

230 kV  
500 kV

Resortes

SF6

## Parámetros del Interruptor

### Sistema de gas SF<sub>6</sub>:

- Temperatura del gas [°C]
- Presión del gas [MPa]
- Tasa de Fuga [MPa/s]
- Humedad [ppmv]
- Calidad [%]
- Contenido de SO<sub>2</sub> [ppm]

### Sistema Mecánico:

- Recorrido total [mm]
- Tiempos de Operación [ms]
- Velocidad O/C [m/s]
- Sincronismo de Operación [ms]



## Parámetros del Interruptor

### Sistema de Contacto:

- Resistencia Estática de Contacto [ $\mu\Omega$ ]
- Resistencia Dinámica de Contacto
- Carrera Total [mm]
- Tiempo de Amortiguación [ms]

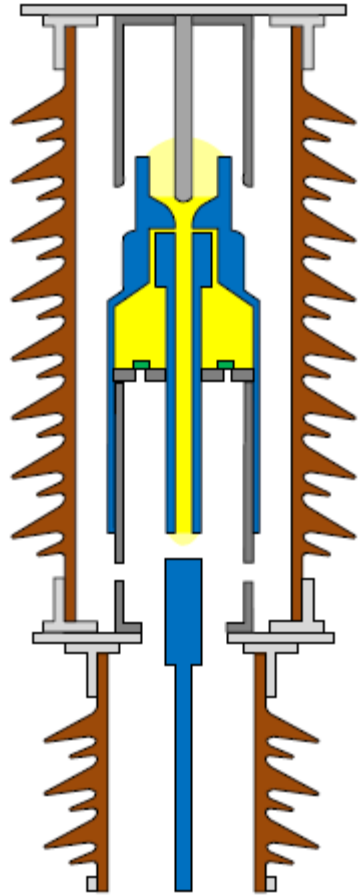
### Sistema de Circuitos Auxiliares y de Control

- Número de Operaciones
- Tiempo de Operación del Motor [s]
- Corriente Pico del Motor y Bobinas [A]
- Tensión Mínima Operación Bobinas [V]

## Funciones y Modos de Falla

Luego de reconocer los diferentes parámetros del interruptor, la definición de las funciones, el contexto operacional y los modos de fallas asociados al interruptor de potencia, cumplen un papel clave en la definición de la estrategia de mantenimiento centrado en confiabilidad. Siendo estos los primeros pasos para la elaboración del programa de mantenimiento.

## Funciones y Modos de Falla



Funciones  
Primarias

Funciones  
Secundarias

Se definen las funciones primarias del equipo las cuales son la razón de ser del mismo y las funciones secundarias que ayudan a cumplir la función principal pero que en caso de fallar pueden tener graves consecuencias.

# Funciones y Modos de Falla

## Funciones:

- Interrumpir y/o restablecer el paso de corriente ante un comando por una falla o por un comando de operación, de manera local o remota.
- Mantener su estado de operación mientras no se reciba ningún comando.
- Generar señales de su estado operacional a través de indicación local o remota.

# Funciones y Modos de Falla

## Funciones:

- Mantener el nivel mínimo de aislamiento entre parte la activa y tierra, así como entre sus componentes.
- Mantener la estanqueidad de gas SF<sub>6</sub>, Aire o aceite, dentro cada uno de sus compartimientos.
- Permitir el paso de la corriente nominal de manera continua con una baja resistencia.
- Asegurar la protección de las personas a través de la conexión de puesta a tierra.

## Funciones y Modos de Falla

Fallas  
Mayores

Fallas  
Menores

Se evalúan los modos de falla los cuales básicamente son eventos que causan una falla funcional, entendiendo una falla como el fin de la capacidad de un elemento para realizar una función requerida.

CIGRE 2012 - Final Report of the 2004 – 2007  
International Enquiry on Reliability of High  
Voltage Equipment - Working Group A3.06



# Funciones y Modos de Falla

## Fallas Mayores

- No cierra con un comando.
- No abre con un comando.
- Cierra sin comando.
- Abre sin comando.
- Incapaz de conducir corriente.
- Disrupción (Falla Aislamiento).
- Bloqueo en posición abierta o cerrada.
- Pérdida de la integridad mecánica.

# Funciones y Modos de Falla

## Fallas Menores

- Fuga de aire o aceite hidráulico en el mecanismo de operación.
- Fuga pequeña de SF6.
- Cambio en las características mecánicas de funcionamiento.
- Cambio en las características eléctricas de funcionamiento.
- Cambio en las características de los sistemas auxiliares o de control.

## Funciones y Modos de Falla

La evaluación de los efectos de la ocurrencia de una falla permite organizar los modos de falla por su criticidad, evaluar los riesgos y dimensionar las consecuencias; para esto se evalúan los efectos en la seguridad y el medio ambiente, la imagen corporativa, y los efectos operacionales.



## Funciones y Modos de Falla

Posteriormente, para la selección de tareas, frecuencias y recursos se evalúan los herramientas disponibles para el mantenimiento, como el monitoreo en línea, el análisis de la condición, el cambio de partes, la búsqueda de fallas, o incluso el rediseño. Cada tarea debe estar asociada a un modo de falla y su frecuencia debe contemplar la curva PF del equipo, además, esta tarea debe ser costo efectiva y enfocada a la causa de la falla.

Finalmente, se elaborara el plan de mantenimiento, recopilando las tareas a ejecutar, los recursos y su periodicidad.

# Herramientas para el Monitoreo

Monitoreo  
Off-Line



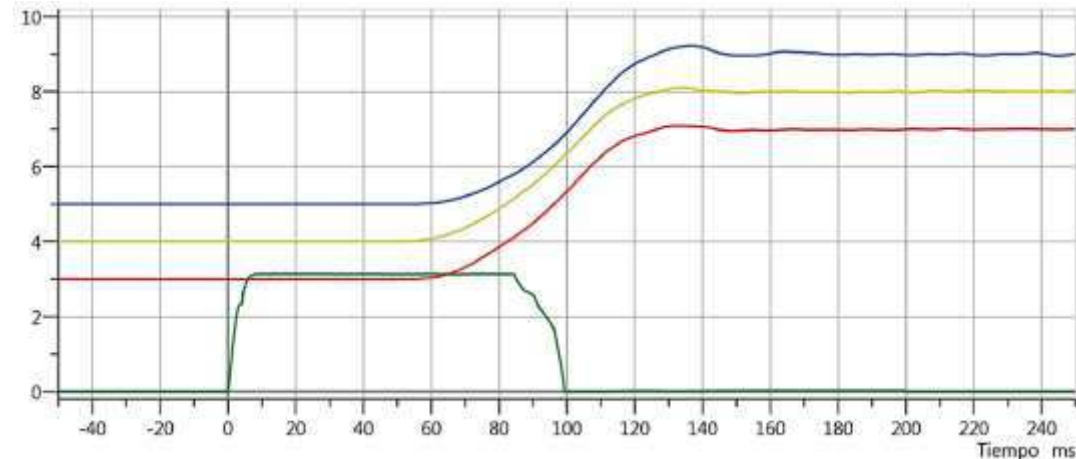
Monitoreo  
On-Line



# Herramientas para el Monitoreo

## Monitoreo Off-Line:

Consiste en la medición periódica de los diferentes parámetros del interruptor, a través de equipos de prueba, los cuales registran uno o varios parámetros del equipo.





# Herramientas para el Monitoreo

## Monitoreo Off-Line:

Para la medición de estos parámetros los interruptores suelen ser desconectados de servicio por un periodo de tiempo, y requieren el desplazamiento de personal de mantenimiento. Afectando la confiabilidad del sistema eléctrico al ser necesario desconectar elementos del sistema.

# Herramientas para el Monitoreo

## Monitoreo On-Line:

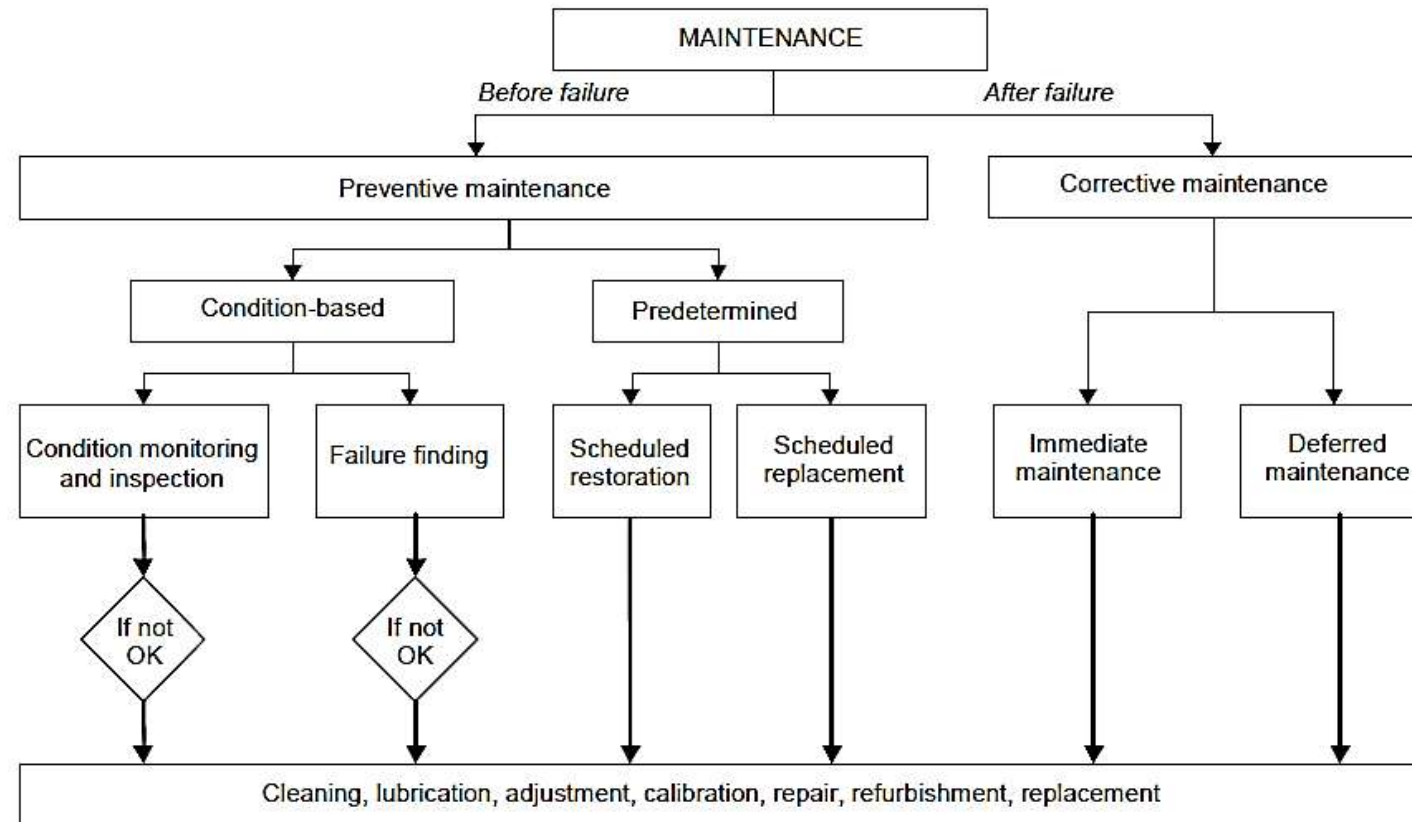
La implementación de sistemas de monitoreo On-Line en interruptores de potencia busca optimizar el mantenimiento preventivo que se realiza en los mismos y la reducción de los costos del mantenimiento, a partir del diagnóstico oportuno de alguna condición anormal de funcionamiento o el deterioro excesivo de sus componentes.

# Herramientas para el Monitoreo

## Monitoreo On-Line:

La implementación del mismo debe realizarse luego de un análisis costo beneficio, dado que según el activo, el monitoreo off-line puede ser suficiente para asegurar la confiabilidad requerida. Finalmente, el monitoreo on-line debe estar enfocado a la búsqueda de alertas tempranas sobre el cambio en las condiciones del equipo, mucho antes de lo que se encontrarían con el monitoreo tradicional.

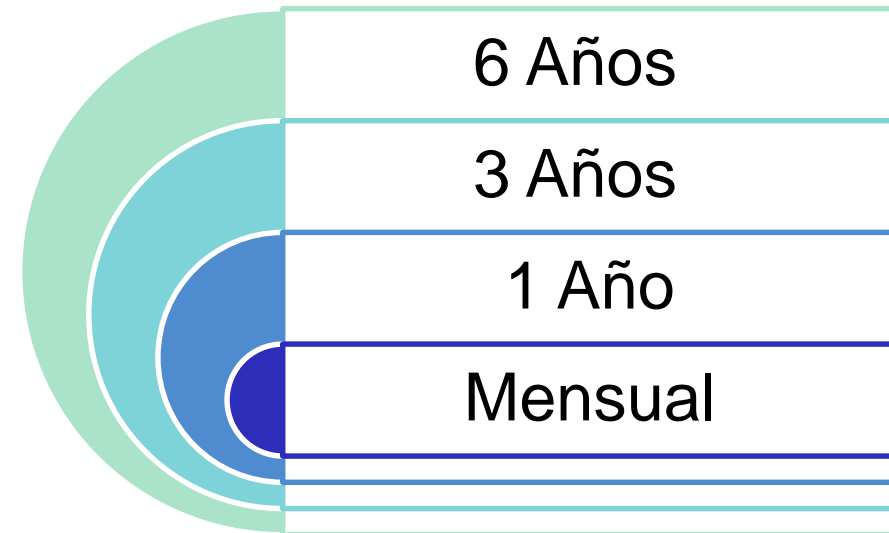
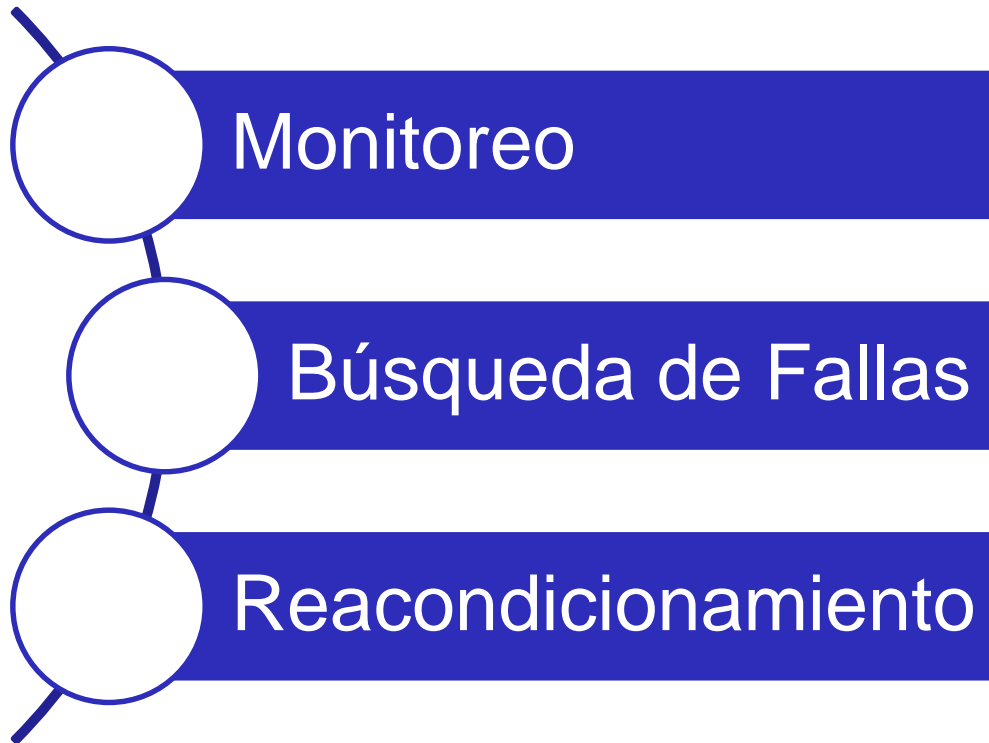
# Estrategia de monitoreo del GEB



IEC 915/09

Figure 3 – Types of maintenance tasks

## Estrategia de monitoreo del GEB



# Estrategia de monitoreo del GEB

## Monitoreo:

- Pruebas al gas SF6 (°C, MPa, ppmv, ppm).
- Pruebas funcionales del interruptor (Apertura, Cierre, Tiempos, Sincronismo).
- Pruebas eléctricas (potencia disipada).
- Medición de la resistencia de contactos.
- Revisión del comportamiento eléctrico de las bobinas y del motor de carga.
- Inspección operativa (Numero de operaciones, verificación visual).



## Estrategia de monitoreo del GEB

### Búsqueda de fallas incipientes:

- Revisión del estado operativo del presostato y pruebas de señalización.
- Prueba de verificación de alarmas de SF6.
- Verificar presencia de alarma supervisión circuito de disparo.
- Revisión de alarmas de estado del Interruptor.
- Revisión e inspección visual.

## Estrategia de monitoreo del GEB

### Reacondicionamiento:

- Limpieza y ajuste de borneras, conectores de potencia.
- Revisión del sistema de puesta a tierra y reacondicionamiento en caso de falla.
- Limpieza, engrase, calibración del mando del Interruptor.
- Limpieza e inspección de porcelanas

## Estrategia de monitoreo del GEB

Posterior a la ejecución de las diferentes actividades programadas de monitoreo o de evaluación de la condición, se debe hacer una evaluación del equipo, con lo cual se pueda diagnosticar oportunamente su condición y tomar las medidas necesarias para asegurar su correcto funcionamiento.

De la misma manera, luego de una falla deben revisarse las características de la misma, como son, la identificación del elemento fallado, la identificación del componente responsable, el origen, la causa y la consecuencia de la misma, entre otros.

## Estrategia de monitoreo del GEB

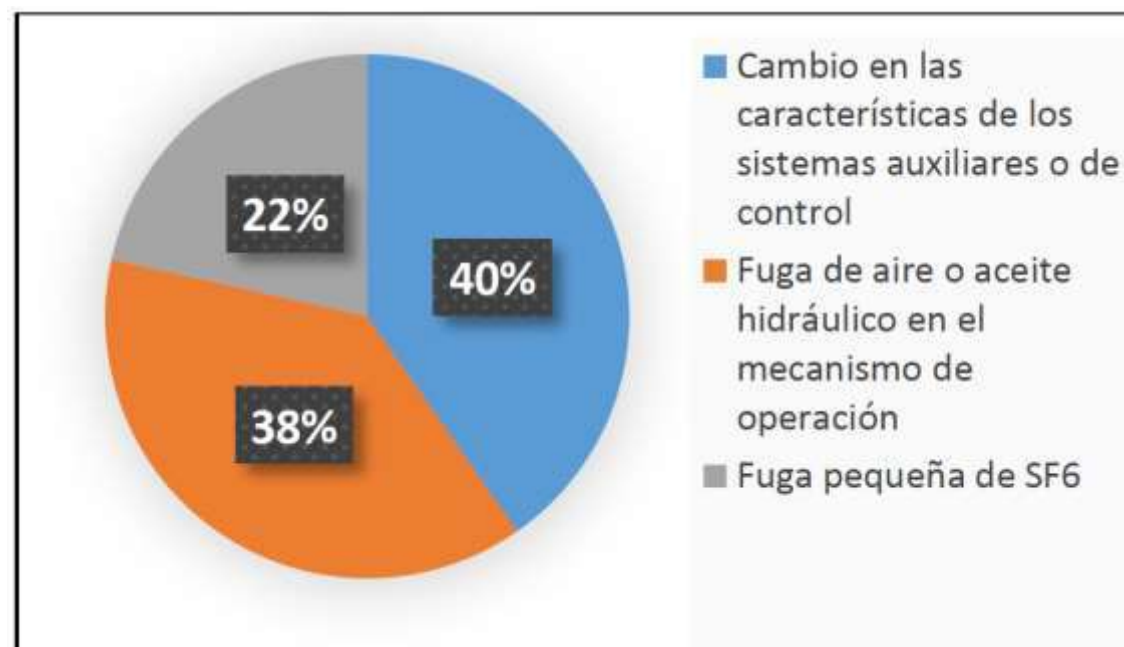
Estas evaluaciones son de vital importancia dado que permiten hacer una revisión preliminar de la estrategia de mantenimiento y la toma de decisiones sobre las actividades preventivas y correctivas que deben realizarse así como los planes de inversión sobre los activos ya sea para reposición, rediseño, o adquisición de nuevas tecnologías para el monitoreo y evaluación de su condición.

## Fallas Encontradas

A partir del uso del ERP, el cual permite el registro y seguimiento de las diferentes actividades realizadas por el área de mantenimiento a cada uno de los activos mantenibles del Grupo Energía Bogotá, y luego de la ejecución de las actividades de mantenimiento programadas se han encontrados diferentes fallas, las cuales en su mayoría son **fallas menores (94%)**, sin embargo a pesar de que el porcentaje de **fallas mayores es bajo (6%)**, este tipo de fallas puede llegar a tener las mayores consecuencias si no se atienden adecuadamente.

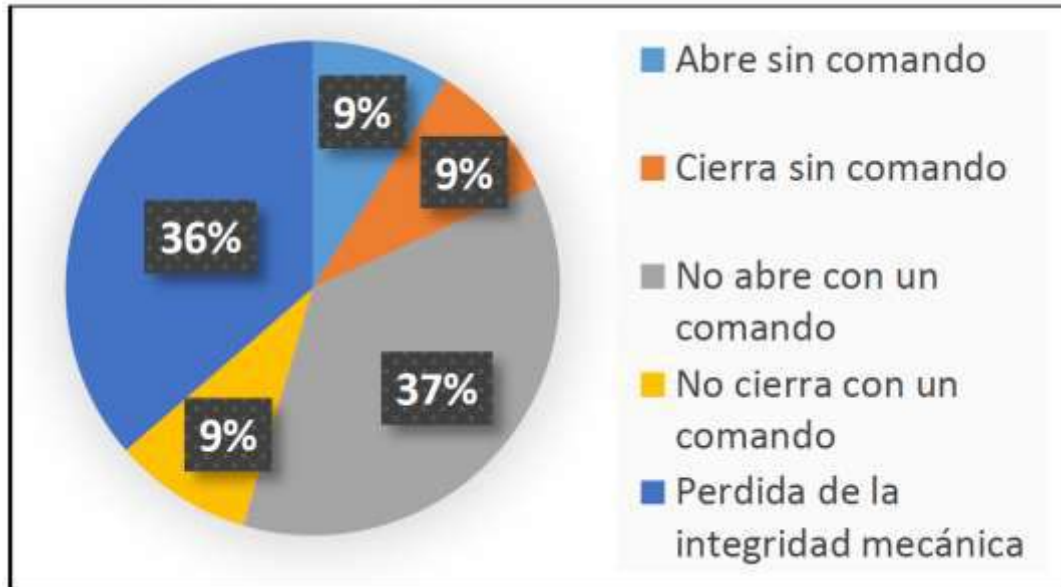
## Fallas Encontradas

Durante la ejecución del mantenimiento de 3 años a una bahía de línea, se encontró una discrepancia al cierre de alrededor de 10 ms (síntoma), que requirió la búsqueda de la causa de esta falla funcional. La cual fue encontrada en el pistón de la bobina de cierre de una de las fases, esta falla fue catalogada como una falla menor.





## Fallas Encontradas

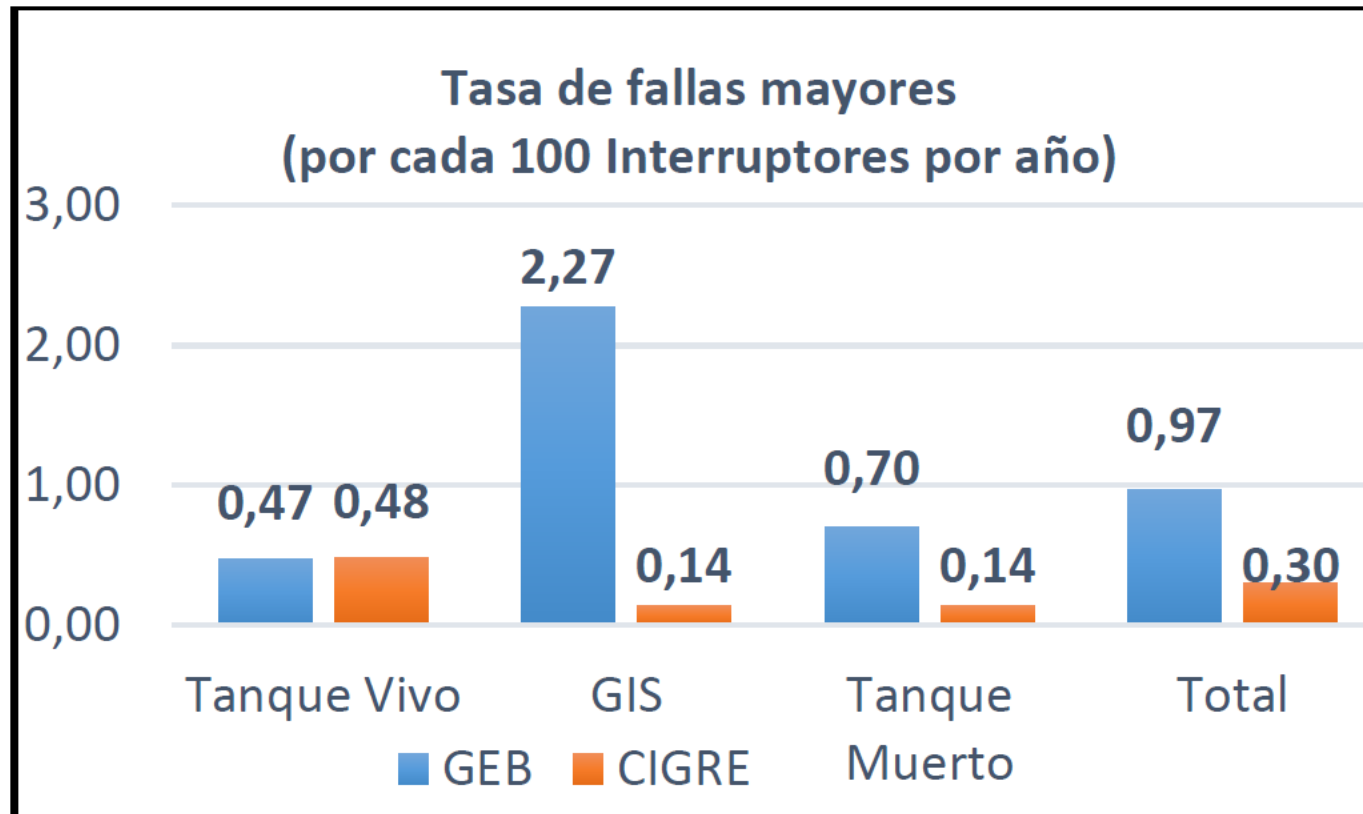


Durante la operación de un interruptor de una bahía de transformación se detectó un ruido anormal, para el cual se realizó el diagnostico por parte del fabricante, obligando a la salida del equipo y la programación del cambio del equipo ocasionando una indisponibilidad de 18 días. Se encontró un daño en la parte activa del equipo. La causa de la falla fue definida como una falla de fabricación y el origen de la falla como mecánico en otras partes.

## Evaluación de la estrategia de mantenimiento

Una comparación de la frecuencia de fallas mayores por cada cien interruptores por año, para el GEB con respecto al estudio realizado por el CIGRE, permite visualizar cuales son los equipos que requieren de una atención detallada dentro de la estrategia de mantenimiento. En el caso de los interruptores asociados a las subestaciones GIS la tasa de fallas es significativamente mayor con respecto a los resultados obtenidos por el CIGRE. Mientras que, para los interruptores de tanque vivo la tasa de fallas es muy similar con respecto al estudio de referencia.

## Evaluación de la estrategia de mantenimiento



## Evaluación de la estrategia de mantenimiento

La información utilizada para la evaluación fue recolectada a través del software ERP, por lo cual, esta depende de la correcta utilización de la herramienta, es decir, que el registro de información de cada uno de los hallazgos encontrados se realice de forma adecuada y sin falta. Adicionalmente, la mayoría de los activos fueron puestos en servicio mucho antes de la implementación del software ERP así como de la implementación del RCM como estrategia de mantenimiento.

## Evaluación de la estrategia de mantenimiento

Un análisis de las fallas mayores presentadas en los últimos años permite evaluar la estrategia de mantenimiento, a partir de la retroalimentación de las diferentes características de la falla. Por ejemplo, para las fallas mayores los modos de falla corresponden en su mayoría a la pérdida de integridad mecánica y a la pérdida de funciones eléctricas; Mientras que para las fallas menores los modos de falla están asociados a fugas en los mecanismos de operación o a cambios en las características de los sistemas auxiliares o de control.

## Evaluación de la estrategia de mantenimiento

Dado lo anterior, se identificaron las siguientes causas para las fallas presentadas en los interruptores: falla en la fabricación, mantenimiento incorrecto, monitoreo incorrecto, envejecimiento, y fallas de diseño, entre otros.

Razón por la cual, se tomaron las siguientes medidas con el fin de disminuir el número de salidas indeseadas:

## Evaluación de la estrategia de mantenimiento

1. Revisión de la especificación técnica dada al fabricante con respecto a los requerimientos mínimos para la realización de las pruebas FAT y SAT de los interruptores, las cuales deben buscar una identificación temprana y más completa de cualquier defecto de fabricación.
2. Revisión de la especificación para la contratación del servicio de mantenimiento con el fabricante, con el fin de asegurar la correcta ejecución del mismo.
3. Rediseño de algunos componentes para minimizar el deterioro de los mismos los cuales aumentan la frecuencia de fallas.



## Evaluación de la estrategia de mantenimiento

Las actividades de monitoreo de la condición planteadas inicialmente en el plan de mantenimiento deben ajustarse a los diferentes modos de falla encontrados a través de la estandarización de pruebas así como de la periodicidad de su ejecución, buscando la detección oportuna de estas anomalías y defectos.

## Conclusiones

El uso de herramientas para la gestión del mantenimiento requiere una alta correlación con respecto a la estrategia de mantenimiento, debido a que si la información no es recolectada y tratada correctamente, esta no permitirá realizar una evaluación adecuada de los diferentes equipos afectando la percepción de la estrategia de mantenimiento.

Las estrategias adoptadas para el mantenimiento de los activos deben estar enmarcadas en una política de gestión de activos que soporte la implementación de las mismas. Así como, dentro de las políticas de mejora continua, de tal forma, que sea posible su seguimiento, control y evaluación periódica.

## Conclusiones

La implementación de una estrategia de mantenimiento como el RCM requiere la retroalimentación de la misma, a partir de la experiencia en la ejecución de las actividades de mantenimiento, así como de las diferentes fallas que se presentan y evidencian la confiabilidad de la estrategia, de esta manera, enfocar y optimizar los recursos y actividades.

Una definición precisa de las funciones principales y secundarias del interruptor permite identificar correctamente los diferentes modos de falla que se pueden presentar y de esta manera enfocar adecuadamente las actividades de mantenimiento.

# Muchas Gracias

