

Diagnóstico e Investigación de Fallas en Interruptores de Potencia.

Parte 1.- Investigación

Carlos L. Cabrera Rueda Genaro Ruíz Rodríguez
CFE- LAPEM

Introducción

El Instituto de Ingenieros en Electricidad y Electrónica (IEEE) ha publicado una Guía para el Diagnóstico e Investigación de Fallas en Interruptores de Potencia, que se considera de importancia para presentarla, al menos en resumen, en el ámbito de una reunión de especialistas en sistemas de potencia con el objeto de difundir su contenido y promover su aplicación.

Objetivos.

Los objetivos de esta guía son:

- a) Proporcionar la metodología por medio de la cual se pueda determinar la causa más probable de falla en un interruptor.
- b) Promover la uniformidad en el análisis de falla de interruptores.
- c) Proporcionar una guía para la recolección sistemática y uniforme de datos e información valiosa, con la finalidad de evitar su pérdida o destrucción.
- d) Obtener la cooperación de usuarios y fabricante, durante el análisis de fallas.
- e) Dar recomendaciones para la supervisión del funcionamiento de los interruptores, como un medio para diagnosticar sus condiciones adecuadas de servicio.
- f) Promover el uso de la nomenclatura adecuada y la compatibilidad con las ideas de otras organizaciones como CIGRE (Consejo Internacional de Grandes Sistemas Eléctricos), el EEI (Edison Electric Institute), la IEC (Comisión Electrotécnica Internacional), la NEMA (National Electrical Manufacturers Association) y la AEIC (Association of Edison Illuminating Companies).

Artículo recomendado y aprobado por el Comité Nacional de CIGRE-México para presentarse en el Segundo Congreso Bienal, del 13 al 15 de junio del 2001, en Irapuato, Gto.

PARTE 1

Investigación de la falla

Procedimiento para la investigación de fallas de interruptores.

La investigación de una falla debe iniciarse con la clasificación de la misma, para saber si fue: Falla catastrófica, Falla de operación o Falla menor; con el fin de decidir que acciones se deberán tomar.

Sin embargo, en cualquier caso, se deben tomar acciones inmediatas, algunas de ellas muy obvias, como son:

- a) Si hay alguien herido y si hay fuego, pedir ayuda inmediata.
- b) Proporcionar primeros auxilios de acuerdo a la situación.
- c) Evacuar el área circundante.
- d) No intentar operar el equipo dañado. Aislarlo de la fuente de alta tensión. **Antes** de desconectar o quitar la alimentación auxiliar, **verificar** la posición de todas las banderas de los relevadores.
- e) Aislar el equipo dañado, eléctricamente, neumáticamente, etc., con base en la situación de falla.
- f) Extinguir el fuego con precaución, ya que arrojar agua fría a la porcelana caliente puede causar fractura de la misma y si no es posible, dejar que se quemé evitando la propagación del fuego.
- g) Tener cuidado con los residuos de SF₆ y con productos como los PCB's, asbestos, y algunos otros materiales tóxicos que pudieran estar presentes.
- h) Acordonar el área, esperando unos minutos. No aproximarse inmediatamente al equipo dañado, porque pueden existir altas presiones, tensiones eléctricas, resortes cargados, altas

temperaturas o esfuerzos mecánicos en el equipo.

- i) Revisar visualmente el equipo desde un lugar seguro, para evaluar la situación.
- j) Seguir los procedimientos de seguridad en el trabajo para aislar el equipo, conectarlo a tierra, etc.; así como de protección ambiental, para el control de fugas, derrames, etc.

Procedimiento de Investigación

- a) Antes de mover o desmontar cualquier parte, , para documentar la evidencia visual tomar fotografías de buena calidad que muestren una vista general desde todos los ángulos, así como detalles de acercamiento. Si se requiere desmontar o desensamblar el equipo, se deberán tomar fotografías en cada paso, con un letrero alusivo que aparezca en la foto. Si es posible registre en vídeo y grabe todas las observaciones.
- b) En la medida de lo posible registre la posición de todos los relevadores y de sus ajustes, así como de los registros de lecturas antes de desconectar la alimentación del control.
- c) A la brevedad, entrevistar a los testigos.
- d) Obtener los oscilogramas y la secuencia de eventos, así como los registros de todos los dispositivos que se usan para tal fin.
- e) Tomar muestras de aceite, gas, aire, etc., verificando si los sistemas correspondientes han estado funcionando adecuadamente.
- f) Llamar al fabricante y definir si desea enviar a alguien para que esté presente durante el análisis de la falla. Definir si se requiere la ayuda de algún consultor o experto externo o de alguna otra área.
- g) Establecer una secuencia de la falla y revisar las evidencias en base a este supuesto.
- h) Todas las partes y evidencias deberán ser conservadas hasta que se complete la investigación. Evitar limpiar y quitar cosas con rapidez y sin precaución.
- i) Identificar los sucesos previos inmediatos, los inmediatos siguientes, así como los simultáneos con la falla.
- j) Recabar y revisar la información técnica del fabricante, como dibujos y reportes de prueba específicos.

- k) Analizar cada subsistema con la mayor exactitud: sistema de disparo, incluyendo la fuente de energía que requiere, los contactos y su movimiento para el circuito principal, contactos auxiliares, sistemas neumáticos (gas, aire y líquido).
- l) Revisar los registros y/o bitácoras de mantenimiento, para ver si hay algún trabajo realizado recientemente o algunos que se hayan hecho con frecuencia. A menudo las fallas son el resultado de daños causados durante los procesos de mantenimiento.
- m) Abrir el acceso al interruptor, revisar la parte interna y desmontar o desensamblar partes hasta donde sea necesario. Evite desmontar o desensamblar partes sin la presencia del personal experto.
- n) Inspeccionar externamente el interruptor; ver si hay perforaciones, huellas de arco eléctrico, partes quemadas, metal erosionado, metal fundido, huellas de presión excesiva, etc.; fuga de fluidos (humo (gas) o aceite (líquido)).
- o) Registrar la posición de todos los mecanismos de operación, incluyendo contactos auxiliares, soportes, sujeciones, enlaces, interruptores de presión, válvulas y controles. Es necesario desconectar la alimentación antes de liberar el mecanismo de almacenamiento de energía.
- p) Si se produjo explosión durante la falla tome nota de las distancias que viajaron las partes lanzadas si es el caso; así como del tamaño de las partes, el tipo de partes, etc. Hacer un plano de localización de las partes arrojadas. Revise las partes con huellas de arco eléctrico, etc., antes de iniciar los trabajos de limpieza. Tomar fotografías, película, hacer dibujos, según sea lo más conveniente.

Diagrama de Flujo

En la Figura 1 se indica el diagrama de Flujo que se recomienda seguir en la investigación de la falla. En muchos casos puede ser aconsejable hacer pruebas de verificación.

Hay dos puntos de partida para este diagrama de flujo:

- a) Falla del interruptor
- b) Análisis de las Pruebas de rutina que muestren desviaciones del estado anterior del interruptor.

Las líneas en el diagrama del flujo, llevan a desechar el equipo o a regresarlo a operación. Pero antes de ponerlo otra vez en servicio, es recomendable

realizar algunas pruebas con el fin de verificar su capacidad de operar correctamente.

Plan de acción recomendado

- a) Revise si el interruptor había estado en la misma posición estática durante mucho tiempo, o si había sufrido algún cambio cuando ocurrió o se inició la falla.
- b) Si la falla se produjo durante una posición estática del interruptor:
 - 1) Determine donde se inició la falla.
 - 2) Revise si los sistemas de fluidos aislantes (gas o líquido) estaban completamente cargados.
 - 3) Verifique si las conexiones a tierra guardaban las condiciones requeridas, si el gas y el aire estaban secos, si existía poca o nula contaminación externa de aislamientos y sin caminos de conducción a tierra.
 - 4) Revise si hubo sobretensiones que pudiera haber excedido los niveles nominales del interruptor
 - 5) Revise los registros de mantenimiento
 - 6) Si el interruptor falló mientras estaba abierto, revise el estado de los capacitores, que pudieran haber causado alguna mala distribución de la tensión a través de las cámaras de extinción.
 - 7) Verifique si hubo algún otro fenómeno en el sistema recientemente o en el momento de la falla.
- c) Si aparentemente la falla se inició durante la interrupción:
 - 1) Analice los oscilogramas y los registros digitales.
 - 2) Verifique si la tensión de operación y el nivel de corto circuito del sistema estuvo dentro de los valores indicados en la placa de datos.
 - 3) Revise si el interruptor tiene la capacidad para abrir bancos de capacitores y si se estaba utilizando para este propósito.
 - 4) Verifique si los bloqueos de presión están bien ajustados y funcionan adecuadamente.
 - 5) Verifique que todos los mecanismos estén en su posición. Busque partes rotas de mecanismos o válvulas, así como evidencias de "bombeo"
 - 6) Si el interruptor abrió y luego falló a los pocos segundos o minutos, considere la posibilidad de que este abrió y luego perdió fluido aislante a través de alguna válvula u otro dispositivo, y consecuentemente se presentó una falla dieléctrica.
 - 7) Indague si cayó algún rayo en las cercanías. Si fue así, considere la posibilidad de que el interruptor abrió debido a la descarga o falla

del blindaje, y luego falló debido a una descarga atmosférica subsecuente.

- 8) Revise los registros o bitácora de mantenimiento.
 - 9) Revise los resistores y capacitores, para detectar algún mal funcionamiento que hubiera causado mala distribución de la tensión.
- d) Si aparentemente la falla se inició, durante el cierre:
- 1) Analice los oscilogramas y los registros digitales de la falla, si se tienen.
 - 2) Verifique si la corriente momentánea del sistema estuvo dentro del valor nominal de la placa de datos.
 - 3) Verifique si el interruptor cerró completamente.
 - 4) Revise la bitácora de mantenimiento.

Adicionalmente, revise si otros equipos similares han tenido fallas parecidas o podrían tener fallas similares en el futuro y determine un plan de acción correctivo.

La cooperación en todos los niveles de las áreas y/o empresas participantes, facilita la investigación en sitio y mejora la exactitud del diagnóstico.

El fabricante deberá ser avisado de la falla del equipo, sobre todo cuando está bajo garantía; y siempre que haya algún daño en el equipo. Del fabricante se espera que suministre información tal como: datos de pruebas en fábrica, historial de inspecciones, dibujos de la construcción interna, así como información de apoyo para la investigación. De ser posible, no desmantele ninguna parte hasta que el fabricante esté presente.

El reporte correspondiente debe estar bien documentado, con todas las observaciones y datos, incluyendo fotografías. No debe ser dejado nada a la memoria.

El análisis de fallas es similar al trabajo de un detective, en el que es de vital importancia:

- El conocimiento del objeto que se va a estudiar.
- Un buen sentido de la investigación y
- No perder de vista el objetivo.

Preparación e investigación inmediata.

Los preparativos de la investigación requieren de varias acciones y componentes; en la **Tabla 1** se indican éstos como recomendación.

En la **Tabla 2** se indican las varias observaciones generales que se llevan a cabo en forma inmediata.

En la **Tabla 3** se indican las varias pruebas que se recomienda efectuar para continuar con el análisis de la falla.

Análisis de falla.

Antes de iniciar el análisis de la falla, es imperativo que se hayan realizado: todas las investigaciones, la recolección de datos y las pruebas. Un análisis hecho con prisa puede llevar a establecer una hipótesis equivocada.

Se recomienda revisar en detalle y completamente todos los datos antes de dar una interpretación final. Las hipótesis deben ser comprobadas contra los datos y el comportamiento de otros componentes del sistema.

Toda hipótesis debe estar perfectamente sustentada por los datos disponibles, en caso contrario dicha hipótesis debe ser descartada.

Fallas comunes en los diferentes tipos de interruptores.

Fallas del mecanismo de operación

La mayoría de las fallas de interruptores, se deben a fallas del mecanismo de operación y generalmente son de los siguientes tipos:

- a) Falla estando cerrado
- b) No cierra
- c) No cierra correctamente
- d) No se mantiene cerrado; por ejemplo: por un comando de disparo no intencional.
- e) En posición abierto.
- f) No abre.
- g) No abre correctamente.
- h) No se mantiene abierto, por ejemplo. Por un comando de cierre no intencional.

La falla del mecanismo en la posición cerrada, podría repercutir en la no preparación para abrir en caso de requerirse. La carga inadecuada de los resortes podría ser indicada por la bandera al no cambiar de "descargado" a "cargado", pero podría no haber sido notada.

Las fallas al permanecer cerrado o de no cerrar pueden deberse a problemas o defectos en los bloqueos mecánicos, las bobinas de cierre, el relevador antibombeo, los interruptores de la alimentación auxiliar u otros componentes del sistema de control.

Una fuga en el tanque de almacenamiento de aire del sistema neumático, o en el acumulador del sistema hidráulico, puede ocasionar la operación repetitiva del motor y dar como consecuencia el bloqueo del interruptor.

La falla al cerrar correctamente a la velocidad adecuada o la falla de permanecer cerrado, puede ser debida a baja presión en el sistema aislante y de extinción de arco o en el sistema hidráulico o neumático de control, por resortes débiles, alta fricción en las juntas móviles, operación inadecuada de los bloqueos mecánicos o a una corriente de corto circuito mayor de la que nominalmente puede interrumpir el equipo.

La falla cuando no abre o en la que permanece abierto, puede deberse a defectos en los bloqueos mecánicos, los amortiguadores, la bobina de disparo, los interruptores de la alimentación auxiliar o a otros componentes del sistema de control.

La falla de no abrir es causada frecuentemente por una velocidad más baja que la requerida para abrir, causada regularmente por una baja presión de operación, resortes débiles o rotos o por un exceso de fricción en las juntas móviles.

El analista, al estilo forense, debe estudiar cuidadosamente los dibujos y diagramas del fabricante, relativos a la operación de cada mecanismo. Teniendo en cuenta siempre, el papel que juega cada parte involucrada. Después de ciertos análisis deberá concluir dando el panorama que mejor soporte el razonamiento de las causas de la falla.

No todas las fallas mecánicas pueden ser atribuidas a falla del mecanismo; hay algunas que pueden ser causadas por atascamiento de los contactos principales o las barras de los contactos.

Los bloqueos son utilizados generalmente para el regreso del resorte, para lo cual también usan amortiguadores para controlar los rebotes. Estos sistemas mecánicos son cuidadosamente balanceados con límites de desgaste muy estrechos. Algunas veces la vibración extra producida por los recorridos a alta velocidad, producen un mayor rebote de los seguros, lo que da como resultado una falla de bloqueo.

Es importante registrar los tiempos de operación, desde la energización de la bobina hasta que se unen o separan los contactos, durante la operación mecánica sin carga, para verificar el estado del mecanismo.

El compresor, incluyendo desgaste o problemas de válvulas, puede contaminar el aire del sistema y puede suceder que esto no permita la realización completa de los ciclos de trabajo. Una recirculación excesiva del aire, lo puede calentar a tal temperatura que se corra el riesgo de que incendie los vapores del aceite.

Los interruptores de presión, los medidores de presión o las válvulas de seguridad, pueden tener

fugas o pueden perder sus ajustes pre-establecidos y dar lugar a la operación del mecanismo en un momento en que no se tenga la velocidad adecuada.

Las fugas de aire pueden afectar el sistema (cuando es de este tipo) de tal manera que en un momento dado, el interruptor no opere. Así también cuando el sistema es hidráulico y se tiene fugas.

La falta de lubricación o la incorrecta aplicación de lubricante, puede causar una excesiva fricción de los componentes mecánicos incluyendo los bloqueos. El excesivo esfuerzo mecánico causado por la fricción, puede llevar a la ruptura de partes y la falla del interruptor.

Las partes de los mecanismos se aflojan debido a vibración excesiva o golpes durante la operación. Algunas partes o componentes se dañan debido a ajustes incorrectos o cambios en los ajustes.

Fallas por la degradación de aislamiento sólido externo.

La porcelana es el aislamiento externo más usado en interruptores. La "degradación" de la porcelana se produce cuando su superficie se llena de contaminantes, tales como: cenizas, emisiones de automóviles, niebla salina, polvos industriales. Estos tipos de fallas se pueden evitar limpiando periódicamente la superficie de la porcelana o cubriéndola con alguna capa protectora que reduzca la acumulación de contaminantes.

El análisis de este tipo de fallas y su definición es soportado por las marcas de arqueo o perforaciones de la porcelana.

Fallas ocasionadas por tensiones transitorias.

En ocasiones se producen sobretensiones transitorias en los sistemas, cuyas causas son las siguientes:

- a) Descargas atmosféricas.
- b) Operación de interruptores
- c) Contacto físico con un sistema de mayor tensión.
- d) Cortos circuitos repetitivos
- e) Interrupción de una corriente forzada a su valor cero
- f) Resonancia en circuitos serie inductivos-capacitivos.

Una tensión transitoria excesiva, puede iniciar la falla. El diagnóstico requiere de un conocimiento detallado de las condiciones del sistema y del estado del interruptor (cerrado, abierto, cerrando o abriendo) en el momento de la falla. Los oscilogramas tomados en el momento de la falla son una fuente importante de información. Si el interruptor estaba abriendo en el momento de la

falla, se pudo haber producido una descarga atmosférica o una sobretensión transitoria debido a la operación de otro interruptor, que provocaron la falla.

El análisis de fallas para este tipo de situaciones, es a menudo posible debido a la disponibilidad de registros automáticos durante las fallas.

Fallas debidas a mala aplicación de equipos.

La utilización de interruptores en sistemas que exceden su capacidad, puede derivarse en las fallas de estos. Algunas condiciones que dan lugar a estos errores pueden ser debidas al crecimiento normal del sistema o a la inclusión no prevista de capacitores, inductores, etc., y se enumeran a continuación:

- a) La corriente de cortocircuito del sistema, excede la nominal del interruptor.
- b) La TTR del sistema, excede la nominal del interruptor.
- c) La tensión de operación es mayor que la nominal del interruptor.
- d) La corriente de carga es mayor que la nominal del interruptor.
- e) Operación frecuente.
- f) Cambio del ciclo de operación
- g) Instalación de capacitores en serie o en paralelo, o reactores en paralelo.
- h) Utilización de un interruptor para propósitos generales, en un ciclo de trabajo específico.
- i) Temperatura ambiente fuera del límite aceptable para el interruptor.

En el análisis de falla para estas condiciones se debe calcular la corriente de cortocircuito del sistema, la TTR prospectiva, su relación de crecimiento, conocer las condiciones de operación del sistema, conocer la configuración del sistema, así como recurrir al análisis de los registros del registrador de fallas o monitoreo.

Fallas de Resistores, capacitores y transformadores de corriente.

Algunas fallas de interruptores se originan por fallas de los accesorios, tales como las resistencias de apertura y cierre, capacitores de graduación de tensión y de control de la TTR y los TC'S. Estos accesorios generalmente fallan en forma violenta, causando daños a las cámaras de interrupción o a otras partes.

- a) Las fallas de las resistencias de post-inserción para la apertura, así como de las de pre-inserción para el cierre, pueden ser causadas por la operación incorrecta de sus propios contactores; por sobrecalentamiento de las resistencias, causado por un exceso de aperturas y cierres rápidos, por la infiltración de

humedad o por defectos de los propios resistores.

- b) Las fallas de los capacitores han sido causadas por la infiltración de humedad, fugas de aceite e infiltración de SF₆, o por defectos de los capacitores.
- c) Las fallas de TC'S, pueden ser debidas a defectos propios de los TC'S, a infiltración de humedad o a la apertura accidental del circuito del secundario.

Fallas debidas a animales.

Los animales que trepan a las partes energizadas son una fuente de fallas de línea a línea o línea a tierra.

Cuando estas fallas se presentan en subestaciones y muy cerca de las boquillas de interruptores, llegan a causar daños adicionales.

Se deberá revisar el animal muerto y registrar con la mayor exactitud posible la condición de la falla.

Otras causas de fallas.

- a) Objetos extraños en el interruptor.
- b) Puntas, rebabas o esquinas que puedan causar corona y ruptura del dieléctrico.

Las fallas causadas por errores en la manufactura o el mantenimiento no deben ser descartadas ya que estos errores pueden ser muy significativos, como el caso en que se deja un desarmador dentro del interruptor o como en el caso de que no se limpien las rebabas o asperezas de los electrodos anticorona. Este tipo de problemas son encontrados cerca de los daños causados por la falla principal.

Fallas del dieléctrico y de las cámaras de interrupción.

Interruptores de SF₆, presión simple tipo "puffer"

Fallas por pérdida de SF₆.

La pérdida de SF₆, suficiente para ocasionar una falla en los interruptores de alta tensión, es rara, sobretodo si los interruptores tienen dispositivos compensadores de temperatura y presión que hacen sonar una alarma o diparan los interruptores antes de que se alcance una situación de daño inminente. Es claro que una pérdida grande y súbita de gas, puede ser demasiado rápida para ser detectada por dichos dispositivos. Una falla del "disco" relevador de presión, por ejemplo, va a causar una caída de presión más rápida que lo que el dispositivo detector pueda actuar.

Fallas por degradación del SF₆.

La degradación del SF₆ puede darse por la adición de vapor de agua, aire u otros gases producto de la descomposición del propio SF₆.

La presencia de vapor de agua en el SF₆, que ha sido sujeto a arqueo o corona, puede degradar rápidamente muchos tipos de aislamiento sólido.

El agua en la superficie de un aislador puede reducir la manera importante su capacidad dieléctrica a causa de la combinación con los átomos libres de flúor, otros componentes de flúor del SF₆, y compuestos metálicos de flúor producidos por arqueos, los cuales aparecen como polvos de color obscuro en las cámaras de interrupción. Estos compuestos se combinan rápidamente con el agua, en forma de vapor o líquido, para formar ácidos fluorídicos muy fuertes, los cuales son muy buenos conductores.

El hielo no ha producido ningún efecto en los aisladores con SF₆; no obstante no es deseable la presencia de hielo, a causa de que rápidamente se convierte en agua líquida sobre el aislador.

El análisis de fallas debida a la presencia de agua, ya sea líquida, sólida o como vapor, no puede ser determinada después de una falla de arqueo. Sólo la revisión y medición periódicas del contenido de humedad es la única forma de concluir sobre la presencia de cantidades importantes de agua que provocaran la falla.

El aire mezclado en concentraciones mayores al 20% puede reducir significativamente la rigidez del SF₆. El aire tiene un gran efecto en el comportamiento a la interrupción.

Fallas debida a la licuefacción del SF₆.

La rigidez dieléctrica del SF₆ en casi todas las aplicaciones, es directamente proporcional a la densidad del gas y cuando este empieza a licuarse y se condensa como liquido, entre -30°C a -40°C, la densidad del gas remanente se reduce y puede presentarse una falla.

Fallas debidas a la degradación del aislamiento sólido interno.

El aislamiento sólido en interruptores de presión simple, se selecciona para soportar el ambiente interno, incluyendo los productos derivados del arqueo en SF₆. Algunos de los aisladores sintéticos no son resistentes al "tracking" en atmósferas de SF₆.

Todo el aislamiento reforzado con fibra de vidrio, es susceptible de "tracking", a menos que la fibra de vidrio esté completamente sellada y alejada de los productos del arqueo. De igual manera los aisladores sintéticos rellenos de cuarzo, también son susceptibles de "tracking" con los productos del arqueo en SF₆.

Al analizar estas fallas, es fácil encontrar los caminos carbonizados y/o erosiones en los aislamientos, y concluir sobre este tipo o modo de falla.

Fallas de las cámaras de interrupción.

- a) Las tolerancias de fabricación inadecuadas de los contactos principales, de los contactos de arqueo, así como de las toberas, pueden ser una causa de falla.
- b) Si la velocidad de apertura esta fuera de tolerancia puede ser causa de falla. En este caso la búsqueda de la falla se debe dirigir al daño causado por el arco, así como a la medición del viaje de contactos antes y después de la falla.
- c) Otra causa de falla puede ser una baja de presión en el gas de extinción.
- d) El desgaste excesivo de contactos y toberas, puede también cuasar la falla de la cámara de extinción.

Interruptores en SF₆, doble presión.

Lo que se dice para los interruptores se presión simple es también válido para fallas de interruptores en SF₆ de doble presión. Sin embargo, este tipo de interruptores tienen otros problemas y fallas adicionales. Los compartimentos de alta presión operan con gas a alta densidad, por lo que la licuefacción se puede dar a temperatura ambiente y esta es la razón de que se utilicen calentadores y lleva también a la necesidad de que el sistema de circulación de gas, requiera de la operación frecuente del compresor.

Los interruptores de doble presión tienen más sellos y conexiones que pueden dar lugar a una falla.

Para la mayoría de los interruptores de doble presión, la licuefacción de gas aislante en el sistema de baja presión, se produce entre los -30°C a -40°C y para el sistema de gas a alta presión, entre los 5°C y 15°C.

Interruptores de gran volumen de aceite.

Además de las causas ya descritas para los interruptores en general, los interruptores de gran volumen de aceite pueden fallar por algunas de las razones que se indican a continuación

Fallas dieléctricas.

- a) Deterioro interno de la boquilla por fuga de aceite, humedad o "traking".
- b) Infiltración de agua en el tanque principal de aceite.
- c) Deterioro y/o "traking" de la varilla de operación.
- d) Juntas flojas y fuga de aceite.
- e) Carbonización del aceite.

Fallas de interrupción.

- a) Deterioro de los contactos de arqueo, o de los deflectores de las cámaras de extinción.
- b) Falla evolutiva (persistencia del arco con incremento de energía).
- c) Mecanismo con mucha fricción o atorado.
- d) Calentadores del tanque, en mal estado.
- e) Problemas del sistema de control e interbloqueos.
- f) Apertura sin hacer el ciclo completo de cierre.
- g) Falla por bombeo.

Interruptores en vacío.

Además de las causas ya descritas para los interruptores en general, los interruptores en vacío pueden fallar por algunas de las razones siguientes:

- a) Arqueo a través de los contactos abiertos, debido a pérdida de vacío o a alguna otra razón.
- b) Imposibilidad para interrumpir, debido a la pérdida de vacío u otra causa.
- c) Imposibilidad de los resortes para mantener la fuerza necesaria en los contactos cerrados.

Cuando ocurre una falla, el análisis por parte del usuario puede hacerse como sigue:

- a) Si la falla es claramente fuera de las cámaras de interrupción, el usuario puede determinar las causas sin la ayuda del fabricante.
- b) Si se sospecha que la falla es dentro de las cámaras de vacío, la ayuda por parte del fabricante es primordial; ya que se requiere utilizar métodos y dispositivos de prueba muy especiales, además de un gran conocimiento de los detalles de construcción de las cámaras de vacío.

El usuario no debe intentar abrir las cámaras de vacío, ya que puede destruir información importante para el análisis y diagnóstico.

Falla del medio aislante.

Las fallas externas pueden ser similares a las de otros tipos de interruptores, en donde están involucradas las boquillas, los aisladores, así como otras partes y componentes aislantes. Como las cámaras de vacío requieren muy poco espacio, las distancias aislantes externas son muy cortas; de manera que este tipo de cámaras de interrupción, van generalmente dentro de un gabinete o dentro de un tanque lleno de algún medio aislante.

En algunos equipos para alta tensión, las cámaras de vacío se encapsulan en un medio aislante como resina epóxica o poliuretano, para mejorar la rigidez dieléctrica externa.

La falla de una parte aislante externa, puede ser analizada y diagnosticada por el usuario, aunque se recomienda la ayuda de un experto en aislamientos o del fabricante. Este tipo de fallas generalmente deja huellas fácilmente observables, pero la causa que dio lugar a la falla puede ser más difícil de determinar, por lo que se sugiere la verificación cuidadosa de las partes aislantes, con la idea de buscar defectos, grietas o contaminación.

Si se sospecha que la falla es dentro de la cámara de vacío, se sugiere hacer una prueba con alta tensión en corriente alterna, con base en las instrucciones del fabricante. Antes de hacer esta prueba se deben limpiar las partes externa con un trapo limpio y seco.

Fallas de interrupción.

Las fallas de interrupción, es decir el caso en que la cámara de vacío no logra interrumpir, son muy poco comunes, ya que el proceso de interrupción en vacío es muy eficiente y de larga vida.

Las causas de fallas de interrupción son:

- a) Utilización incorrecta:
 - i) Corriente de corto circuito más grande que la nominal del equipo.
 - ii) Tensión del sistema en los contactos abiertos, mayor que la nominal.
 - iii) TTR más rápida que la que soporta el equipo.
- b) Pérdida de vacío (las fugas permiten la entrada de gas o líquido).
- c) Partes rotas dentro de la cámara de vacío.
- d) Velocidad de apertura muy lenta.
- e) Falla del mecanismo para mantener los contactos abiertos.
- f) Contactos muy deteriorados al exceder la vida útil
- g) Falla dieléctrica externa a la cámara de vacío, causada por contaminación.

Las fallas de interrupción no siempre presentan evidencias visibles externas.

Dado que las distancias entre contactos dentro de las cámaras de interrupción en vacío, son más pequeñas que en otro tipo de interruptores, la energía liberada por el arco es también más pequeña, de manera que con corrientes bajas, con respecto a la nominal de interrupción, el arco se puede mantener durante algunas decenas de ciclos o hasta por algunos segundos, sin llegar a romper la

cámara o causar algún daño visible, aún en el caso de no lograr interrumpir la corriente nominal de interrupción, con el arco sostenido por algunos ciclos, solamente se llega a facturar la envolvente de porcelana.

Además, si el daño causado por el arco interno es pequeño, es posible que la cámara pueda seguir operando después de la falla y ni siquiera presente evidencias que ocurrió una falla.

La revisión de una cámara de vacío que haya fallado al no interrumpir, está limitada a dos posibles acciones por parte del usuario:

- a) Buscar fracturas o huellas que pudieran indicar la ruptura de la envolvente de la cámara, y
- b) Hacer unas pruebas simples y básicas:
 - i) Si al aplicar tensión alterna a través de los contactos abiertos, se produce un arco a un valor abajo del nominal, es una indicación de daño interno o de la ruptura de la envolvente y la pérdida del vacío.
 - ii) Si al medir la resistencia de contacto, con el interruptor cerrado, se obtiene un valor mayor que el reportado con anterioridad, puede ser indicio de un daño en los resortes de cierre, que estén débiles o rotos, o puede ser debido a una deformación, movimiento anormal de los contactos o a un cambio metalúrgico superficial de los contactos.

Si se sospecha que hay un daño interno, se puede solicitar tomar fotografías de rayos X con el fin de buscar cambios físicos de las partes internas.

Falla del mecanismo de operación.

Una pérdida de brío en los resortes en la posición cerrada, puede a su vez causar una falta de presión en los contactos. Estos resortes, generalmente localizados en cada polo, pueden ser considerados como una parte del mecanismo.

Una fuerza insuficiente pueden dar como resultado problemas en la conducción de la corriente por calor excesivo o por alta resistencia de contacto, o puede llegar a suceder que se suelden los contactos, sobre todo si llega a pasar una corriente de corto circuito.

Interruptores de sople magnético.

Además de las causas mencionadas para todos los interruptores, los interruptores de sople magnético pueden fallar por algunas de las razones siguientes:

Fallas dieléctricas.

- a) "Traking" en boquillas de material sintético.
- b) "Tracking" en las cámaras de arqueo por deterioro propio

- c) Aisladores contaminados
- d) Juntas flojas y con fugas.
- e) Falla por no reinstalación de barreras.

Fallas de interrupción.

- a) Falla del soplo a bajas corrientes si el arco no entra en la tolva de extinción.
- b) Falta de mantenimiento de los contactos de arqueo de la tolva de extinción.
- c) Operación lenta o anclado del mecanismo por causa de exceso de fricción por deterioro o falta de mantenimiento.
- d) Bobinas de soplo desconectadas o conectadas de manera incorrecta.

Interruptores de aire a presión.

Los interruptores de aire a presión pueden fallar, adicionalmente a lo ya mencionado, por algunas de las razones siguientes:

Fallas dieléctricas.

- a) Baja presión del gas aislante (cuando existe).
- b) Baja presión de aire (especialmente con el interruptor abierto).
- c) Aire húmedo.
- d) Falla de capacitores graduadores.
- e) Aisladores contaminados.
- f) Juntas flojas y con fugas.

Fallas de interrupción.

- a) Bombeo, por problemas de los controles o de las válvula piloto.
- b) Falla de los bloqueos.
- c) Tiempos de operación fuera de los límites.
- d) Entrada y salida de los resistores de interrupción fuera de límites.
- e) Falla de los resistores.
- f) Apertura del mecanismo sin el soplo de aire correspondiente.
- g) Falla de las líneas de alimentación de aire durante la interrupción.

Interruptores de pequeño volumen de aceite.

El deterioro de los empaques da lugar a la contaminación de las cámaras del interruptor o a la pérdida de aceite, lo que conlleva a fallas del interruptor.

Algunos interruptores dependen de la presión del gas en las cámaras de extinción, para reducir la posibilidad de reencendido del arco.

Fallas dieléctricas.

- a) Fallas en los capacitores graduadores.
- b) Ingreso de humedad en la cámara de interrupción.
- c) Superficies aislantes externas contaminadas.
- d) Degradación del aceite aislante debido a la carbonización y/o a la infiltración de agua.

- e) Operación a magnitudes de interrupción y operación, más allá de los valores nominales.

Fallas de interrupción.

- a) Velocidad de apertura de los contactos fuera de sus límites.
- b) Reencendido del arco al interrumpir cargas capacitivas.
- c) Bloqueo en el mecanismo de operación
- d) Degradación de aislamiento sólido interno
- e) Degradación del aceite por carbonización y/o infiltración de agua.
- f) Pérdida de presión dentro de las cámaras de interrupción.

Modos de falla y sus causas.

A manera de resumen, los modos de falla más comunes en los interruptores, de los cuales se tiene registro, son los siguientes:

- a) No cierra cuando se le manda cerrar
- b) No abre cuando se le manda abrir
- c) Cierra sin haber recibido la orden de cerrar
- d) Abre sin haber recibido la orden de abrir
- e) No cierra contra corto circuito
- f) No interrumpe la corriente de corto circuito.
- g) No soporta el paso de la corriente.
- h) Flameo de fase a tierra
- i) Flameo de fase a fase
- j) Arco interno entre contactos
- k) Flameo externo entre terminales de contactos
- l) Bloqueo en posición cerrada o abierta
- m) Varios.

CIGRE hace mención a un estudio: "Final Report of the Second International Enquiry on High voltage Circuit Breakers Failures and Defects in Service" Grupo 06 SC 13.-1994, que incluyó todos los tipos de interruptores. En este estudio se reportó que el 70% de fallas mayores fueron de origen mecánico; 19% de origen eléctrico, con referencia a los circuitos auxiliares y de control, y 11% también de origen eléctrico del circuito principal.

La **PARTE 2.- Diagnóstico** es motivo de un segundo artículo que describe las acciones a seguir para supervisar la operación de los interruptores, sus condiciones y las necesidades reales de mantenimiento. Esta segunda parte esta integrada en la Guía del IEEE para el Diagnóstico e investigación de Fallas en Interruptores de Potencia. **IEEE Std C37.10**

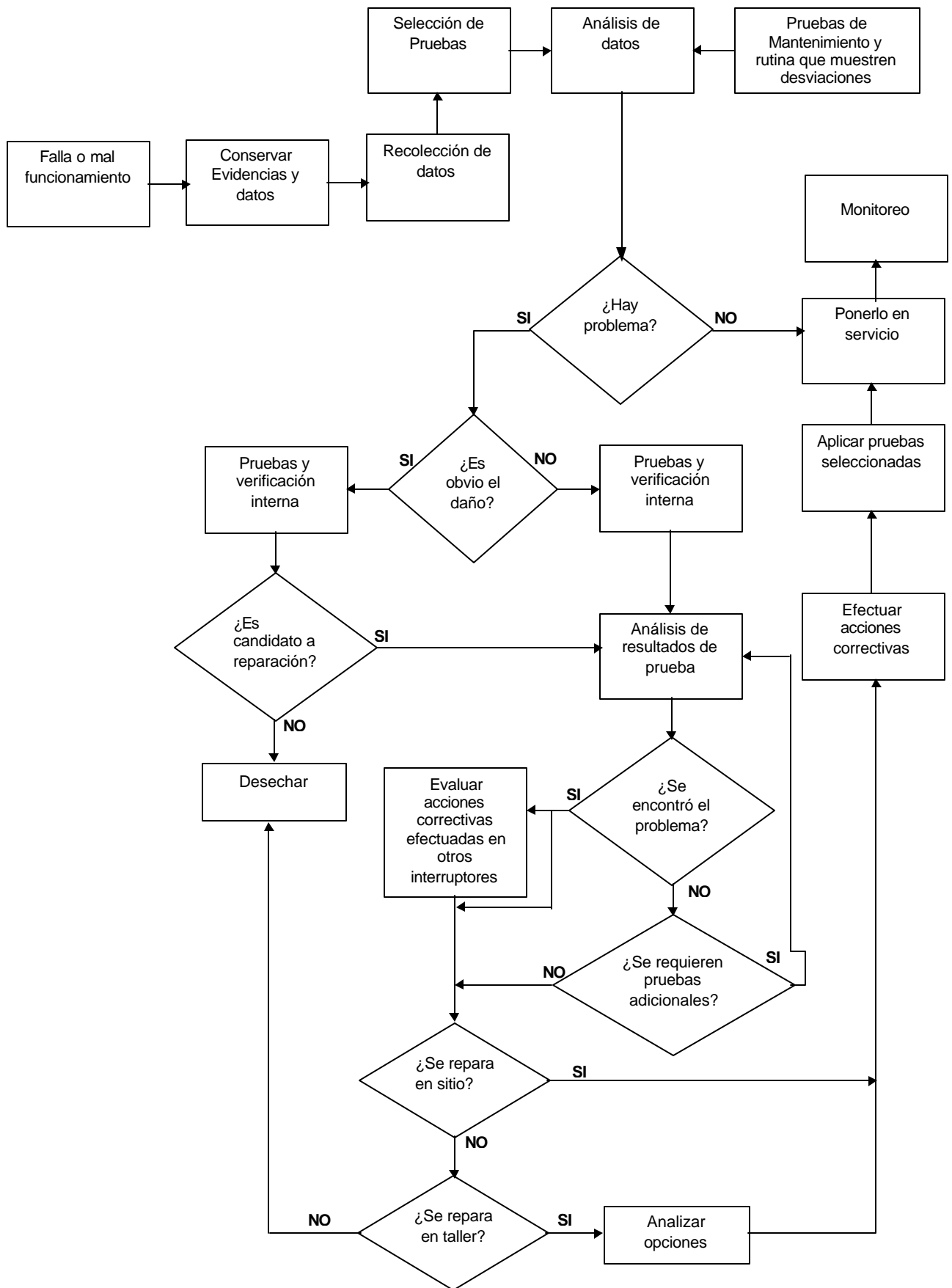


Figura 1; Diagrama de Flujo para la investigación.

TABLA 1

Listado De información y equipo que se recomienda llevar al sitio.

1	Manual de operación del interruptor que deberá incluir entre otros: dibujos y diagramas, incluyendo la descripción de componentes y fotografías de fábrica.
2	Reportes de prueba (de fábrica y de campo).
3	Todos los reportes que se tengan de fallas anteriores.
4	Diagrama unifilar de la subestación.
5	Arreglo de protecciones.
6	Registros o bitácora de mantenimiento que pueden incluir reportes de problemas anteriores.
7	Reportes de inspecciones de rutina.
8	Cámaras de vídeo y de 35 mm, incluyendo lentes de acercamiento, rollos de película, flash, baterías.
9	Cinta métrica y vernier.
10	Equipo de seguridad: ropa, lentes, zapatos, caso, guantes.
11	Binoculares y lupa, grabadora, cassettes y pilas
12	Lámpara de mano y baterías
13	Botellas y jeringas para tomar muestras de aceite y de gas.
14	Bolsas de plástico para resguardar las evidencias y etiquetas para identificar las evidencias.
15	Registros de la posición de los relevadores.
16	Registros oscilográficos y digitales de la falla y/o registro de la secuencia de eventos.
17	Identificación del personal que pudo haber estado presente.
18	Información de las condiciones de operación del sistema.
19	Formato de reporte de falla.
20	Permiso o licencia para trabajar

NOTA: Los números no indican prioridad.

Es también importante incluir las condiciones ambientales y los eventos en el momento de la falla, la inspección física del interruptor inmediatamente después de la falla, así como las condiciones eléctricas del interruptor después de la falla.

Tabla 2

Lista de observaciones generales, que se sugiere realizar.

	Condiciones externas	Registro de información
1	Fecha y hora de la falla y de la inspección	
2	"luces indicadoras" apagadas	
3	Tormenta o rayos, condiciones generales del clima	
4	Temperatura	
5	Ruidos extraños, olores anormales, algo inusual a la vista	
6	Partículas arrojadas del interruptor (partes)	
7	Animales muertos en el área	
8	Evidencia de la acción de animales (sin que estén muertos)	
9	Objetos extraños en el área	
10	Partes (visibles)	
11	Evidencia de vandalismo	
12	Entrevista con testigos u operarios que estuvieron presentes cuando sucedió el problema.	
13	Carga interrumpida	
14	Disturbios en el sistema, locales y remotos	
15	Configuración de los interruptores en la subestación, en el momento del problema	
16	Operaciones de interruptores, previas, simultáneas y subsecuentes	
17	Localización de apartarrayos	
18	Indicios de arqueo o daño (metal erosionado) en los buses de la estación, en aisladores o en la estructura metálica.	
19	Movimiento del interruptor en su base	
	Tanque principal	
20	Abombamiento, protuberancias	
21	Agrietado	
22	Fugas	
23	Evidencia de sobrecalentamiento	
24	Nivel de aceite	
25	Empaques o sellos, expulsión, fugas, etc.	
26	Temperatura del gas	
27	Indicios de arqueo, metal erosionado o fundido	
28	Válvulas de aire o gas: abiertas o cerradas	
29	Presión de aire	
30	Presión de gas	
	Boquillas	
31	Indicios de arqueo: fase-fase o fase-tierra	
32	Fugas	
33	Porcelana rota	
34	Perforaciones en la parte metálica superior o inferior	
35	Contaminación	
36	Huellas de carbonización (tracking)	
37	Nivel de aceite	
38	Presión de gas	
	Mecanismo de operación	
39	Flojo, doblado, corroído, roto, otros	
40	Estado del resorte	
41	Presión en el recipiente de aire: normal, bajo	
42	Presión hidráulica: pre-carga	
43	Viscosidad del fluido hidráulico	
44	Válvulas de control: abiertas o cerradas	
45	Corrosión en el sistema hidráulico o de aire	
46	Tubería: fugas	
47	Nivel de aceite en la mirilla	

	Condiciones externas	Registro de información
48	Fusibles rotos o fundidos	
49	Posición: abierto o cerrado	
50	Lectura del contador	
51	Tornillos/tuercas flojas en el mecanismo	
52	Condición del gabinete de control	
53	Indicadores/banderas de los relevadores de protección	
54	Indicadores/banderas que debieron caer/indicar y no lo hicieron	
	Operación de	
55	Oscilógrafo	
56	Registrador de secuencia de eventos	
57	Registrador digital de fallas	
58	Registrador de fallas	
59	Alarma	
60	Fusibles rotos	
61	Contador de operaciones	
62	Operación de otros interruptores en el sistema	
63	Presión de gas	

Tabla 3
Pruebas eléctricas y otras

Pruebas de campo	
1	Circuitos auxiliares
2	Resistencia de contacto
3	Resistencia de aislamiento
4	Factor de potencia
5	Corrientes de arranque y nominal de motores
6	Resistencia de las bobinas de cierre y apertura
7	Tiempo de viaje de contactos
8	Valor de resistores de cierre
9	Valor de resistores de apertura
10	Valor de resistores graduadores
11	Valores de capacitores graduadores
12	Aislamiento y resistencia de los TC'S tipo bushing
13	Factor de potencia de todos los sistemas aislantes
14	Erosión/envejecimiento de contactos
15	Calidad de gas o aceite
Otras pruebas	
	Mecanismo de operación
16	Calibración y
17	Calibración de indicadores/medidores de presión
18	Calibración de interruptores de presión
19	Movimiento libre del mecanismo
20	Fluido en las mirillas
21	Niveles de humedad en sistemas de aire, aceite y gas
22	Lubricación

NOTA: Estas pruebas son comunes; verifique el instructivo del fabricante para intercalar otras pruebas y definir los valores permitidos.