

## **CAPÍTULO VIII. MANTENIMIENTO A LOS CABLES DE ENERGÍA**

El mantenimiento de cables se refiere a la combinación de todas las acciones técnicas y administrativas (incluyendo la supervisión), destinadas a mantener, restaurar o reparar un equipo, de tal forma que pueda desempeñar apropiadamente la función para la cual fue diseñado. Existen varios criterios de mantenimiento que son definidos generalmente a partir de las necesidades e importancia del circuito.. Los principales objetivos de realizar mantenimiento a un sistema de cables es para:

- a) Evitar fallas
- b) Evitar daños al medio ambiente
- c) Extender la vida de los cables
- d) Evitar accidentes
- e) Evitar pérdidas de producción
- f) Minimizar el costo público
- g) Mejorar la imagen pública

Por otro lado, los tipos de fallas más comunes que se presentan en un cable son las siguientes:

- a) Daños mecánicos al cable o a la cubierta derivados de falta de cuidado en una excavación
- b) Daños a la pantalla metálica por corrosión o por vibración
- c) Ingreso de agua a los empalmes
- d) Esfuerzo mecánico excesivo causado por temblores, asentamientos del suelo, ciclos térmicos, entre otros.
- e) Envejecimiento térmico del aislamiento.

Se cuenta también con herramientas que están disponibles para tratar de evitar fallas en los cables, que tienen que ver con cuidar de las siguientes recomendaciones:

- a) Inspección a la ruta de los cables
- b) Medición de temperatura en puntos críticos
- c) Medición de descargas parciales
- d) Rayos X a los accesorios
- e) Medición de la resistividad térmica del terreno
- f) Mayor protección a cables y accesorios
- g) Pruebas eléctricas y térmicas de forma periódica
- h) Dar información a terceros sobre la ubicación de la ruta de los cables.



Foto 36. Lectura de temperatura de los empalmes

*Fuente: Condumex. Instalación, montaje, conexiones y pruebas de cables de energía de alta tensión*

## 8.1 Tipos de mantenimiento

Como ya se ha mencionado, la supervisión de la condición de los cables y su mantenimiento forman parte vital de un sistema instalado, y existen diferentes criterios para llevarlo a cabo, que van desde prevenir un daño hasta la reparación del mismo. Son diferentes filosofías y por lo tanto diferentes acciones, lo cual depende en gran parte de los recursos destinados a éste rubro, por lo cual se mencionan a continuación los elementos que se necesitan para definir el tipo de mantenimiento que se va a aplicar.

### 8.1.1 Preventivo

Es el que se hace periódicamente de acuerdo a ciertos criterios predeterminados por el usuario, con el fin de reducir la posibilidad de falla o la degradación de un cierto equipo que se encuentra en operación. De ésta manera se reducen las posibilidades de que el sistema de cables tenga que ser dado de baja de manera inesperada, repentina y hasta inoportuna, produciéndose así un paro de actividades que no había sido programado.

Cabe señalar, que el mantenimiento preventivo no es infalible y no da una garantía total de que los cables no fallarán, pero como se mencionó al principio, si reducen sus posibilidades de falla. Debe ser un mantenimiento bien programado en fechas y horas, de manera que no se comprometan el trabajo y producción, sino que sea en días no hábiles, teniendo toda la libertad para atender los problemas que se consideran necesarios, lo cual le da un verdadero significado a la palabra prevención, ya sea reemplazando los elementos del sistema eléctrico subterráneo más antiguos o más importantes.

### **8.1.2 Correctivo**

Es el mantenimiento que se lleva a cabo para reparar o reemplazar un componente del sistema de cables que ha fallado. Para algunos ingenieros de cables, éste es el tipo de mantenimiento menos recomendable, aunque si se opta por ésta opción es quizá porque las condiciones de la institución o empresa permiten u obligan a que solamente se atiendan a los cables cuando hay una falla clara, provocando que el servicio de energía eléctrica sea interrumpido, lo cual es algo indeseable, pero que seguramente sucede en muchas instituciones.

El mayor problema del mantenimiento correctivo es que no se tengan los elementos que se necesitan para reemplazar ya sea las terminales, o empalmes o incluso los cables. Es muy arriesgado esperar hasta que el sistema falle para atenderlo y resolver sus problemas, ya que no es asunto de días el conseguir lo que se necesita, sino de semanas o incluso meses, lo cual para una empresa privada significaría una considerable pérdida.

### **8.1.3 Predictivo**

El mantenimiento predictivo es una estrategia que se basa en medir ciertos parámetros de los cables para pronosticar que tan cerca está de fallar y tomar las acciones apropiadas para evitar las consecuencias de dicha falla. En la relación costo-beneficio para éste tipo de mantenimiento se tiene que:

- a) Costos
  - i. Diagnóstico
  - ii. Personal técnico especializado
  - iii. Reemplazo anticipado de algunos componentes
  - iv. Trabajo de ingeniería
- b) Beneficios
  - i. Menores costos por interrupciones del servicio eléctrico
  - ii. Costos consecuenciales nulos
  - iii. Sin consecuencias políticas

### **8.1.4 Mantenimiento basado en la condición del sistema de cables y accesorios**

El mantenimiento basado en la condición de los cables, brinda la oportunidad para detectar posibles puntos de falla y por lo tanto reducir los altos costos que se derivan de la pérdida de producción. Es el que se lleva a cabo después de haber hecho ciertas pruebas al sistema de cables (diagnóstico) para conocer en que estado se encuentra. En éste tipo de mantenimiento se sigue un método de medición de descargas parciales, en donde se usan sobre voltajes

para probar los sistemas de cables, y lo más importante de todo, es que es una prueba llamada “on-line”, es decir, mientras el sistema de cables está en servicio se pueden realizar las mediciones para su posterior análisis.

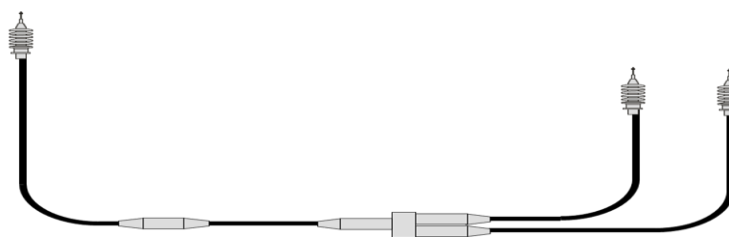


Figura 84. Circuito con derivación

Fuente: Coemsa. Evaluación “en línea” de la condición de sistemas de cables aislados

La evaluación de la condición de los cables denominada Cablewise es una técnica de medición pasiva, pues es una prueba que se realiza en línea, mientras el cable está energizado, además de que evita el uso de sobre voltajes, por lo cual se hacen las mediciones en condiciones normales de operación. Éste sistema ofrece tener los resultados de las condiciones del cable, empalmes y terminales, así como revela también la condición de los equipos conectados a los cables, como transformadores e interruptores. Además, identifica el tipo de defecto en cada uno de los componentes del sistema de cables, localiza fuentes de descargas parciales en el sistema de cables y su grado de degradación.

Ésta prueba se puede realizar a todos los tipos de aislamiento de cables, todos los calibres ya sea de cobre o aluminio, en un rango que van desde 5[kV] hasta 345[kV], en cualquier tipo de instalación y cualquier configuración del circuito, es por ello su importancia y confiabilidad.

Las medición de las descargas parciales se realizan mediante sensores con alto rango de sensibilidad a la frecuencia (100 kHz a 300 Mhz), los cuales realizan la recopilación de los datos.

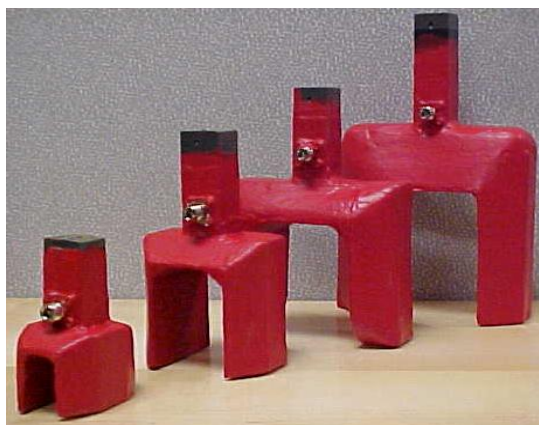
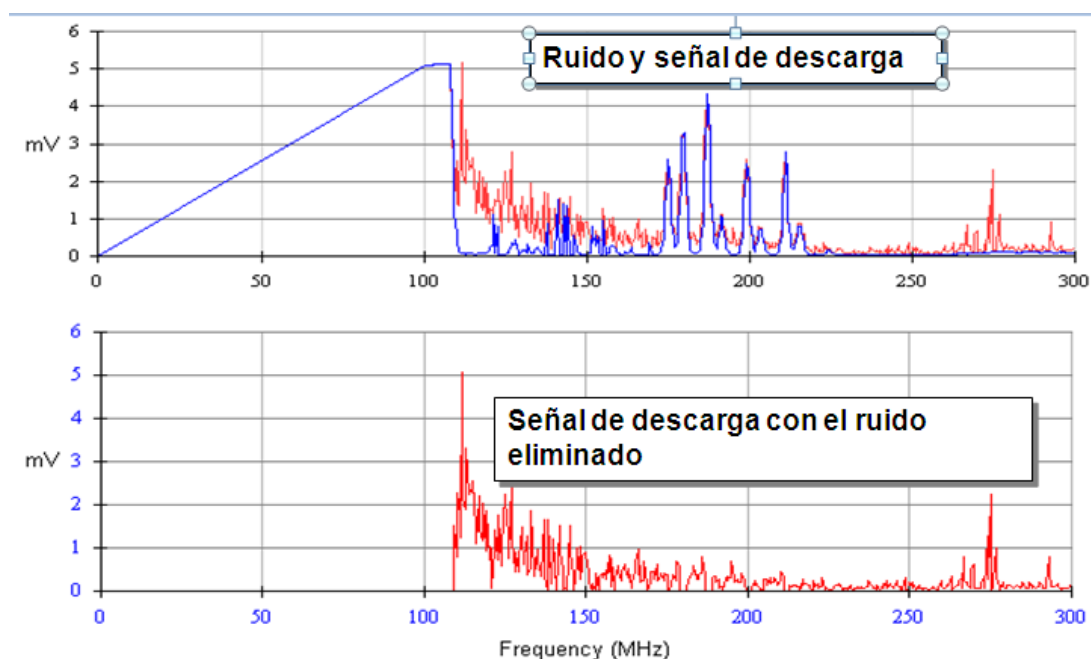


Foto 37. Sensores de alta frecuencia de descargas parciales

Fuente: coemsa. Evaluación “en línea” de la condición de sistemas de cables aislados

Después de la toma de datos, se hace un procesamiento de las señales, en éste caso, se filtran las señales externas a las descargas parciales.



Gráfica 8. El ruido se elimina a través del procesamiento de la señal obtenida por el sensor.

*Fuente: coemsa. Evaluación “en línea” de la condición de sistemas de cables aislados*

El análisis preciso de las señales obtenidas depende directamente del espectro de frecuencia, la magnitud de la descarga y los patrones de descargas en condiciones de operación normal. Todas estas mediciones se almacenan en una base de datos, en donde se tienen los patrones de miles de pruebas, en donde se ha identificado claramente en el análisis del espectro de la frecuencia, los casos en los que se tiene un daño en el sistema de cables.

La forma de medición de las descargas parciales es muy simple, pues para el caso de los cables directamente enterrados, el sensor se coloca sobre el cable justo debajo de las terminales, para el caso de los cables en ductos, las mediciones se realizan con el sensor colocado debajo de las terminales y en los registros, teniendo un tiempo estimado de medición en cada uno de los puntos aproximadamente 15 minutos.

Las descargas parciales en los transformadores generan pulsos de frecuencia alta que se propagan a través de los cables que alimentan dicho transformador, y ésta es la manera en la que se realiza el análisis de los datos recopilados.

Una vez analizados y procesados los datos, con respecto a todos los demás ya probados en las bases de datos, se obtiene el grado de degradación del sistema completo de cables, en donde se establecen 5 niveles de la condición de los cables, que sugieren la toma de decisiones para el mantenimiento ya sea a corto, mediano o largo plazo.

NIVEL DE LA CONDICIÓN	ACCIÓN RECOMENDADA	COLOR
1	No tomar acción alguna	Verde
2	Hacer mediciones cada año	Azul
3	Bajar probabilidad de falla en dos años. Hacer medición cada año	Amarillo
4	Mediana probabilidad de falla en dos años. Considerar el reemplazo o reparación del componente a la brevedad.	Marrón
5	Alta probabilidad de falla. Considerar el reemplazo. A la mayor brevedad.	Rojo

Tabla 39. Niveles de la condición del sistema de cables

Fuente: coemsa. Evaluación "en línea" de la condición de sistemas de cables aislados

De ésta manera, se entrega un reporte del diagrama de la trayectoria de los cables, con todos los puntos posibles de medición, y en donde se establece para cada elemento medido la acción que se recomienda, siendo el nivel 5 el de mayor exposición a una falla inminente. Éste método evita la sustitución de elementos del sistema de cables de manera innecesaria, reemplazando únicamente los elementos que se requieren debido a que su nivel de degradación es el más alto.

Por lo tanto, éste método de evaluación permite incrementar la confiabilidad del sistema eléctrico, evitar interrupciones que no han sido planificadas y problemas en la calidad del servicio, reducir costos de mantenimiento y evaluar la condición del sistema completo, sin tomar en cuenta el tipo de aislamiento o la configuración del circuito.

## 8.2 Localización de fallas

Las fallas en los cables de energía aislados pueden presentarse en el momento de efectuar las pruebas de aceptación o durante su operación, requiriendo de una acción inmediata para restaurar el servicio cuando hayan estado en operación.

La localización de fallas en cables aislados debe ser tan exacta como sea posible para permitir, con el mínimo de trabajo, la exposición de la falla. En los casos donde la longitud y trayectoria del cable sean bien conocidas, sólo es necesario determinar la distancia del extremo de medición a la falla. Sin embargo, en muchos casos sólo se conoce la ubicación de las terminales del cable y no la trayectoria entre ambos extremos, por no existir planos o tener modificaciones sin registro.

Puesto que hay muchos tipos de cables, métodos de instalación y condiciones del medio, es difícil que, con un solo tipo de equipo, pueda hacerse toda clase

de localización de fallas. Todavía la localización de fallas debe considerarse como un arte, porque nunca dos fallas son similares; cada una representa un reto al ingenio de la persona que trata de localizar la falla con precisión.

Las localización de fallas o valoración de su estado operativo, consisten en la realización del siguiente grupo de pruebas:

a) Inspección visual y mecánica

- La inspección visual consiste en revisar si un conductor eléctrico presenta alguna desviación en su construcción o bien, causada por algún otro agente, y si ocurriera, tratar de determinar la causa.
- La inspección dimensional de un cable consiste en la verificación del tamaño y forma de los elementos que componen un conductor eléctrico, cada elemento debe tener las dimensiones adecuadas en su construcción, los cuales deberán estar dentro de las especificadas por las normas correspondientes.
- Inspección física de la red bajo prueba, desde los equipos eléctricos, como son los interruptores, hasta los centros de distribución, pasando por las canalizaciones, las cuales pueden ser aéreas, subterráneas, submarinas, en charolas, en conductos o combinaciones de éstas.
- Inspección de las conexiones a tierra, soportes del cable, empalmes y/o terminales.
- Preparación de los cables para realizar pruebas eléctricas, lo cual consiste en aislar o individualizar los cables o circuitos bajo prueba, para poder aplicar alguna (s) prueba (s) previa (s) a la puesta en servicio, con la finalidad de anticiparse a la aparición de una posible falla durante la operación de los cables.

b) Pruebas eléctricas

- Aceptación. Revisión” macro” de las imperfecciones antes de energizar o poner en servicio una red.
- Mantenimiento. Evaluación de una posible deterioración del sistema aislante del cable, como resultado del voltaje de operación y todo lo que de ella emane (sobre tensiones, descargas atmosféricas, corto circuito, transitorios, daños mecánicos, químicos, etc.).

- Continuidad. Esta prueba permitirá asegurar que el conductor y la pantalla electrostática (para el caso de cables con pantalla), son continuos a lo largo de la línea bajo pruebas (faseo). La razón para la prueba en el conductor, es la de comprobar que el cable es capaz de conducir la energía eléctrica entre sus dos puntos de conexión. Así mismo en la pantalla electrostática, es la de asegurar que la pantalla sea continua a lo largo del cable y en caso que estuviese interrumpida, nos indicará que tenemos un punto donde existe la posibilidad de tener una gran concentración de energía. La determinación de continuidad se realiza con un megóhmetro de características adecuadas.
- Resistencia de aislamiento (megger). Esta prueba nos proporciona información acerca del estado operativo del aislamiento, es decir del grado de deterioro que pudiera tener el aislamiento, por efecto de la humedad o por otro agente que afecte al aislamiento del cable, inclusive por algún daño mecánico, con sus variantes en cuanto al tiempo aplicado, el cual puede ser a 1 minuto, a 5 minutos o inclusive hasta 10 minutos, cuando se desea determinar el índice de polarización. La determinación de la resistencia del aislamiento del cable, como la de cualquier aislamiento eléctrico, se efectúa con un megóhmetro de voltaje y características adecuadas.
- Alto potencial en corriente directa (Hi-pot CD). Esta prueba está normalizada para cables de energía, que van desde 5 hasta 115 [KV]. Si bien es cierto que es considerada como prueba dieléctrica severa, también es cierto que los niveles de pruebas para aceptación y mantenimiento, están determinados por las normas aplicables, y generalmente son niveles inferiores a lo indicado para las pruebas en fábrica. Por otra parte, en el medio de los cables subterráneos, es una inmejorable herramienta para diagnosticar sobre su estado operativo (del conjunto cable-empalme-terminal), y/o sobre la calidad de la mano de obra de la instalación de accesorios. Para casos muy particulares, los niveles de voltaje aplicado se determinan en base a la vida útil ya aprovechada del cable (edad del cable) y al comportamiento de la corriente de fuga al incrementarse el potencial paso por paso.

Esta prueba nos proporciona información acerca del comportamiento del sistema aislante al ser sometido a un alto potencial, si el aislamiento tuviese una falla, ésta prueba logrará manifestarla. La prueba de Hi-pot en c.d., se realiza mediante un equipo de pruebas dieléctricas, el cual consta de una fuente de corriente directa de cierta capacidad y su módulo de control. Es recomendable efectuar ésta prueba en forma



monopolar, pero también ocasionalmente por alguna razón en especial también puede efectuarse en forma tripolar.

- Potencial por pasos. Consiste en aplicaciones de potencial en c. d. por pasos, hasta obtener la estabilización de la corriente de absorción y entonces tomar lecturas de la corriente de fuga ó conducción. Esta información se captura en un gráfico y entonces estaremos en posibilidad de evaluar el comportamiento del aislamiento.
- Potencial sostenido. Una vez alcanzado el valor de prueba en campo mediante los incrementos de potencial, se debe sostener durante 5 minutos si se aplica un criterio conservador (NMX-142-J-1999) o bien 15 minutos en cables nuevos y 5 minutos en cables que ya están o han estado en servicio (IEEE Std. 400-1991). tomando lecturas de la corriente de fuga en cada minuto transcurrido. Esta información también se captura en un gráfico y servirá para evaluar el comportamiento del aislamiento.

### **8.3 Recomendaciones generales para el mantenimiento**

Para tener un mejor control del mantenimiento ante posibles fallas de un sistema de cables, deben considerarse éstas recomendaciones para facilitar el proceso de mantenimiento:

- a) Seleccionar un tipo de mantenimiento de acuerdo a una estrategia clara y bien definida, con un balance adecuado entre mantenimiento correctivo y predictivo, aunque en la actualidad la balanza se inclina hacia el mantenimiento predictivo.
- b) Desarrollar y mantener una base de datos de las fallas en los cables, con la descripción precisa de sus causas.
- c) Asegurarse de que la información sobre las rutas de los cables está actualizada y disponible para intercambiarla con otras entidades.
- d) Realizar inspecciones visuales periódicas a lo largo de las rutas de los cables para supervisar actividades de terceros.
- e) Inspección periódica a los empalmes de los cables
- f) Mayor coordinación con industrias similares para intercambiar experiencias sobre el mantenimiento de los cables

### **8.4 Criterios de selección para mantenimiento**

Existen razones muy simples por las cuales, en una institución del nivel que sea en la cual se cuenta con el servicio de cables de potencia subterráneos no se les toma en cuenta para brindarles mantenimiento:

- a) Los cables no se ven.
- b) Los cables no tienen puntos móviles.
- c) Los cables tienen un riesgo de explosión relativamente bajo.

Uno de los principales problemas en la industria que utiliza como medio de suministro de energía eléctrica cables de energía aislados, tiene que ver con el hecho de que el presupuesto de mantenimiento no es asignado basándose en un criterio de confiabilidad de cada componente del sistema, en relación a la confiabilidad total del sistema de distribución. En dado caso, el sistema de cables debe de tener una mayor prioridad ya que sus componentes están sujetos a más fallas que otros equipos.

También es importante mencionar las razones que producen fallas en los cables de energía, que son tres factores:

- a) Ambientales: Terremotos, Incendios, tormentas eléctricas, sustancias químicas en el subsuelo
- b) Humanos: Mala operación de interruptores, obra de mano defectuosa en la instalación y montaje de cables, daño mecánico por excavaciones.
- c) Animales: Roedores de todo tipo, aves, víboras, termitas, ratones

Ya se presentaron las razones por las cuales se producen fallas en un sistema de cables, pero también existe otro tipo de factores que influyen para que el sistema de cables sufra un envejecimiento temprano y por lo tanto una falla no esperada:

- a) Arborescencias
- b) Sobrecargas
- c) Repetidas pruebas de alta tensión a corriente directa

Los puntos anteriores, permiten ampliar el panorama general de explicar la razón por la que necesita mantenimiento un sistema de cables que ya ha sido instalado, mediante una supervisión continua. Existen 4 tipos de mantenimiento que bien valen la pena mencionar, cada uno con características y costo económico distinto, en este caso ya depende del dueño de los cables el tipo de mantenimiento que considera utilizar. Aunque debido a la experiencia y análisis del costo-beneficio de utilizar alguno de éstos criterios de mantenimiento, es menor el costo si se utiliza el mantenimiento predictivo y tiene un mayor costo si se usa el criterio del mantenimiento correctivo.