



**UNIVERSIDAD LA SALLE**

**ESCUELA DE INGENIERIA  
INCORPORADA A LA U.N.A.M.**

35  
2e)

**"METODOS DE DETECCION DE  
DESCARGAS PARCIALES  
EN EQUIPO DE ALTA TENSION"**

**TESIS PROFESIONAL**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA  
CON ESPECIALIDAD EN INGENIERIA ELECTRONICA**

**P R E S E N T A**

**IRMA LETICIA OÑATE ORDOÑEZ**

Director de Tesis:

**ING. ENNA CARVAJAL CANTILLO**

México, D.F.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

1984



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

A mis Padres.

A quienes debo todo lo que soy, por su  
esfuerzo y amor .

¡Muchas Gracias!

A mi Hermana.

Por su cariño y ayuda para la  
realización de este trabajo.

¡Muchas Gracias!

# INDICE

---

<b>Introducción.</b>	<b>1</b>
<b>Capítulo I. Introducción al Fenómeno de las Descargas.</b>	<b>1</b>
1.1 Descargas parciales superficiales.	5
1.2 Descargas parciales internas.	6
1.3 Descargas parciales por efecto corona.	8
1.4 Proceso físico de una descarga parcial.	14
1.5 Magnitud de las descargas.	17
<b>Capítulo II. Métodos de Detección de Descargas Parciales.</b>	<b>19</b>
2.1 Panorama histórico de los métodos de medición de descargas parciales.	20
2.2 Métodos de detección de descargas parciales.	21
2.3 Fuentes de Interferencia.	28
2.4 Tablas comparativas de métodos eléctricos y no eléctricos.	30
2.5 Tipos de equipos y sus comparaciones.	33
2.6 Avances dentro de las técnicas de medición.	34
<b>Capítulo III. Patrones de Presentación de Descargas Parciales.</b>	<b>35</b>
3.1 Generalidades de la prueba.	36
3.2 Generalidades del equipo de medición.	37
3.3 Patrones de las descargas parciales, su evaluación y la determinación de su origen.	38
3.4 Diagnóstico del origen de la descarga.	39
3.5 Casos de descargas parciales.	39
3.6 Ejemplos de muestras que presentaron descargas parciales.	48
3.7 Patrones de interferencia.	50

<b>Capítulo IV. Aspectos Prácticos de la Determinación de Descargas Parciales.</b>	<b>55</b>
4.1 Obligatoriedad de la prueba.	
4.2 Datos obtenidos en la realización de la prueba de descargas parciales y su impacto en la mejora de equipo.	58
4.3 Seguimiento a equipos en operación e incidencia de fallas de descargas parciales.	59
4.4 Tendencias y expectativas de la prueba de descargas parciales.	61
4.5 Otros datos aportados por la detección de descargas parciales.	62
<b>Conclusiones.</b>	<b>63</b>
<b>Bibliografía.</b>	<b>66</b>

## **INTRODUCCION**

## INTRODUCCION

Para garantizar la confiabilidad y el tiempo de vida útil de los equipos eléctricos existen diversas verificaciones a las cuales son sometidas en fábrica.

Entre las más comunes se encuentran las pruebas de rigidez dieléctrica y resistencia de aislamiento; la primera tiene como objetivo asegurar que el equipo soporta un voltaje superior al voltaje nominal de operación sin presentar falla, es decir, que el sistema de aislamiento tiene características de rigidez dieléctrica adecuada para las tensiones a las cuales operará el equipo.

La prueba de resistencia de aislamiento tiene como objetivo garantizar que no existan en el sistema, zonas débiles que puedan desembocar en una falla al entrar el equipo en operación.

Cuando algún equipo presenta algún defecto importante es seguro que no superará alguna o ambas pruebas, por lo cual estas verificaciones se consideran de rutina para equipos eléctricos de media y alta tensión y son obligatorias desde hace muchos años.

Sin embargo, dada la complejidad de los sistemas de aislamiento que se han desarrollado, particularmente en el caso de transformadores, y del alto costo de equipos eléctricos, existen otras verificaciones que tienen como objetivo evaluar diversas características del sistema de aislamiento.

Entre éstas, está la determinación de Descargas Parciales, prueba cuya inclusión como un requisito para la aceptación de equipos eléctricos es relativamente reciente.

El fenómeno de descargas parciales se presenta en los materiales aislantes debido a la presencia de gases (huecos, burbujas, partículas metálicas, puntos filosos, etc.). Al aplicarse la tensión de operación del equipo, esta zona se ioniza provocando una pequeña descarga, la cual se repite una y otra vez, ocasionando la degradación progresiva en los aislamientos hasta llegar a producir una falla franca.

De lo anterior se desprende la importancia de contar con un procedimiento que permita determinar el nivel de descargas parciales existente en aislamientos, ya que podemos considerar a éstas como una de las mayores causas de falla del equipo de alta y media tensión. La prueba de determinación de descargas parciales tiene por objeto desechar aquellos equipos que dentro de la prueba rebasen los niveles máximos estipulados en las normas o especificaciones de cada tipo de equipo. Para comprender más ampliamente, el fenómeno de descargas parciales, los equipos de medición de las mismas y su repercusión real dentro de la industria de equipos eléctricos, la presente tesis abarca cuatro capítulos que están organizados de la siguiente manera:



**Capítulo I.** En este capítulo se presenta la descripción del fenómeno de descargas parciales y las diferentes formas en que se presenta.

**Capítulo II.** Este capítulo nos permite conocer los antecedentes históricos de la prueba , los tipos de detección de descargas parciales que existen (eléctricos y no eléctricos), así como una comparación entre los mismos. Por último nos da a conocer los avances más recientes logrados en cuanto a técnicas de medición.

**Capítulo III.** Este capítulo describe los problemas existentes en la medición debido al factor de interferencia y la interpretación de los datos que aporta la misma de acuerdo con el tipo de defecto que ocasiona el fenómeno.

**Capítulo IV.** En este capítulo se presenta datos aportados por profesionales involucrados tanto en la fabricación de equipo de alta y media tensión, como en la realización de la prueba. Estos datos no se restringen a la fabricación sino que pretenden hacer un seguimiento de los equipos aprobados con respecto a la prueba de descargas parciales, dando especial atención al seguimiento realizado a los equipos en operación que fueron probados en su determinación de descargas parciales.

# Capítulo I

## Introducción al Fenómeno de las Descargas

En los equipos de alta tensión, tales como cables para líneas de transmisión, transformadores, capacitores, etc., los materiales aislantes son de vital importancia. Los aislantes, como sabemos, son materiales que no permiten el paso de corrientes eléctricas; hablando a nivel atómico, son materiales que tienen más de cuatro electrones en su capa de valencia, por lo que se resisten a desprenderse de sus electrones por un fenómeno conocido como estabilidad química. Esta característica es la razón por la que se utilizan como una protección sobre los conductores para evitar cortos circuitos, arcos voltaicos, radio interferencias, teleinterferencias, etc., fenómenos que se presentan con mayor facilidad cuando se maneja alta tensión.

Antiguamente la calidad de un sistema de aislamiento, se juzgaba únicamente por su resistencia de aislamiento y rigidez dieléctrica, pero debido a la necesidad de evaluar la expectativa de vida útil y estabilidad a largo plazo de estos sistemas se ha tratado de idear otro tipo de procedimiento para verificar la calidad sin llegar a la destrucción del material. Dentro de las pruebas ideadas se encuentran la de resistencia, la de aislamiento en C.D., determinación de pérdidas por tangente delta, capacitancia y medición de *descargas parciales*.

Las descargas parciales son la causa primaria de fallas en equipos y productos para media o alta tensión, debido a su acción de deterioro y reducción de la vida útil de los materiales aislantes, además son las causantes de que corrientes transitorias producidas en circuitos acoplados al sistema de aislamiento interfieran con funciones de comunicación eléctrica del sistema.

Dentro de la manufactura de sistemas de aislamientos no siempre es posible evitar la aparición de zonas heterogéneas o con pequeñas cavidades gaseosas, como es el caso de compuestos elastoméricos aplicados por extrusión. Cuando dichos aislantes son colocados entre electrodos a los que se les aplica un voltaje, los puntos débiles del aislamiento pueden convertirse en zonas de sobreesfuerzo del campo eléctrico, lo que puede conducir a la generación de las descargas eléctricas locales o descargas parciales.

Una descarga parcial es definida por ASTM-D-1968 como: " Una descarga eléctrica localizada, que es el resultado de la ionización gaseosa transitoria en un sistema de aislamiento, cuando el gradiente de voltaje excede un valor crítico ", (Gradiente de voltaje = Volts /unidad de longitud).

Para comprender más claramente el fenómeno de descargas parciales definiremos el concepto de ionización y analizaremos el fenómeno de descargas en un medio gaseoso. La ionización es un proceso mediante el cual un átomo llega a cargarse eléctricamente debido a la pérdida o ganancia de uno o más electrones. Cuando un volumen de gas se ve sometido a una tensión eléctrica, sus moléculas son ionizadas por impacto. Los electrones formados ganan velocidad en un campo eléctrico ionizando más moléculas por impacto, de tal manera que se produce una avalancha de electrones. Un ejemplo clásico de este tipo de

descargas son los tubos de neón. Las descargas parciales pertenecen al grupo de descargas en gas. Una descarga parcial, es un proceso en el que la distancia entre los electrodos es sólo parcialmente cerrada o puenteada. Las cavidades de gas formadas dentro de los aislantes, por problemas de homogeneidad, al verse sometidos a tensión entre los electrodos presentan el mismo fenómeno que los tubos de neón; la avalancha de electrones, ya mencionada, y los iones producidos que se desplazan hacia los electrodos, forman un camino de corriente a través del gas, esta actividad eléctrica es la que ocasiona el deterioro de los materiales aislantes. La ionización que se produce en los aislantes provoca reacciones químicas que forman carbonización, liberan gases en descomposición y corroen pares metálicas.

Las descargas parciales se pueden clasificar en tres grandes grupos:

**1.1 Descargas Parciales Superficiales.**

**1.2 Descargas Parciales Internas.**

**1.3 Descargas Parciales por efecto Corona.**

El llamado efecto Corona se presenta como una descarga entre dos electrodos metálicos entre los cuales existe aire, en un campo heterogéneo, donde el conductor presenta un alto gradiente de voltaje en su superficie. Las descargas parciales constituyen un fenómeno interno en tanto que el efecto corona es un fenómeno superficial.

Las descargas tanto internas como superficiales son la causa principal de daños en sistemas de aislamiento, debido al bombardeo iónico y electrónico que provoca transformaciones químicas e incluso generación de rayos ultravioleta o X. Dichos efectos varían de acuerdo al dieléctrico utilizado.

Los materiales aislantes que se manejan en los equipos eléctricos se pueden dividir en tres grupos:

- a) Sólidos.
- b) Líquidos.
- c) Gaseosos.

**a) Sólidos.-**

Los aislamientos sólidos utilizados con mayor frecuencia en la actualidad, se pueden dividir en:

Inorgánicos.- Estos son prácticamente inmunes a cualquier daño causado por descargas parciales, entre los que encontramos porcelana, fibra de vidrio, mica, etc.; pueden ser utilizados a la intemperie y se consideran aislamientos no recuperables.

**Orgánicos.-** Estos son gravemente afectados por el fenómeno de descargas parciales, dentro de los cuales consideramos a los materiales como celulosa (papel, cartón, etc.), polímeros sintéticos (polietileno, propileno, etc.), etc. Se consideran aislantes no recuperables.

A pesar de que los aislamientos de tipo sólido se vean sometidos, dentro del proceso de fabricación, a las mejores técnicas de deshidratación y desgasificación, no es posible eliminar completamente la humedad y los gases, por lo que en algunas ocasiones se impregnan de aislantes líquidos.

Los aislantes sólidos tienen la propiedad de que al someterse a esfuerzos dieléctricos elevados, pueden liberar gases por la descomposición de los materiales y formar cierta carbonización por el efecto de las descargas parciales.

#### **b) Líquidos.-**

Los aislantes líquidos, tales como el aceite aislante, el aceite de silicón, etc., no son aislamientos recuperables cuando se manejan en pequeños volúmenes, sin embargo, al tratarse de volúmenes grandes se llegan a considerar aislamientos autorrecuperables. Al igual que los aislamientos sólidos, los líquidos se manufacturan con buenas técnicas de secado (deshidratado y desgasificado) y filtrado para conseguir eliminar la mayor parte de humedad, las burbujas gaseosas y partículas en suspensión.

Los aislamientos líquidos tienen la propiedad de que cuando se someten a esfuerzos dieléctricos elevados, pueden liberar algunos gases en descomposición y originar depósitos de carbón y sustancias químicas, que ocasionan corrosión a las partes metálicas y envejecimiento a los intolerable en los aislamientos líquidos, que se encuentran en la cercanía de un aislante sólido.

#### **c) Gaseosos.-**

Los gases tales como: aire, hexafluoruro de azufre, nitrógeno, etc., en general pertenecen a los aislamientos autorrecuperables; sin embargo, en pequeños volúmenes esto no se cumple.

Las descargas parciales no pueden ser toleradas en los aislantes gaseosos, no tanto por el daño que pudieran llegar a sufrir los propios aislantes, sino, porque generan productos de descomposición que ocasionan corrosión en las partes metálicas y envejecimientos en los aislamientos sólidos, así mismo se tienen pérdidas dieléctricas, ruido, radio interferencia, teleinterferencia, interferencia para los equipos de comunicación y relevadores de estado sólido, etc.; lo cual representa un fuerte impacto ambiental y económico en el diseño y la operación de los sistemas eléctricos. Los aislamientos gaseosos se manufacturan con buenas técnicas de secado y filtrado, para poder mejorar sus propiedades dieléctricas.

## 1.1 Descargas Parciales Superficiales

Las descargas parciales superficiales ocurren cuando hay una componente de tensión paralela a una superficie dieléctrica. Esto se aplica para los aislantes pasamuros, terminales de cables, la parte sobresaliente de los embobinados de los generadores y cuando una descarga externa pega en la superficie. Esta descarga afecta al campo eléctrico de manera que en general las descargas se extienden más allá de la región donde la componente superficial original del campo eléctrico fue suficientemente alta para causar la descarga.

### 1.1.1 Comportamiento de las descargas parciales superficiales con voltaje de C.A.

El comportamiento de las descargas superficiales puede explicarse a partir de la siguiente figura 1.1:



DIAGRAMA abc PARA DESCARGAS SUPERFICIALES  
Figura 1.1

La capacitancia entre el electrodo y la región de la superficie cubierta por la descarga corresponde a  $c$ ;  $b$  corresponde a la capacitancia del dieléctrico en serie con  $c$  y  $a$  corresponde a la muestra.

Este circuito conduce patrones de descargas similares a las de las descargas internas, sin embargo, como el arreglo del electrodo es asimétrico y la descarga está limitada por metal, de un lado ocurrirán descargas asimétricas como en caso de las descargas limitadas por metales dentro de cavidades o huecos.

Un patrón de descarga de ocurrencia frecuente es en el cual muchas pequeñas descargas ocurren cuando el electrodo superior es negativo y menos descargas más grandes, cuando el electrodo superior es positivo. La relación entre las descargas positivas y negativas puede ser cualquiera entre 1:1 y 1:10. La diferencia se atribuye a la diferencia en la movilidad de cargas superficiales negativas y positivas.

### **1.1.2 Comportamiento de las descargas parciales superficiales para voltaje de C.D. e impulso**

Pueden ocurrir descargas superficiales cuando se conecta un voltaje de C.D.; después de lo anterior las descargas ocurrirán con menor frecuencia, como las descargas internas. Con voltaje de impulso también pueden ocurrir descargas superficiales, se forman figuras de Leichtenburg siendo una medida de altura del impulso. Este hecho se ha usado por mucho tiempo para medir el voltaje de impulso en el Klindenógrafo 1

## **1.2. Descargas Parciales Internas**

Las descargas parciales internas ocurren en los aislamientos por la presencia de inclusiones de materiales extraños, que se caracterizan por tener una básica rigidez dieléctrica, en comparación con la rigidez dieléctrica de los aislantes; esto hace que el material extraño presente una ruptura dieléctrica a una intensidad de campo eléctrico más baja que la de los aislamientos. Además es frecuente que el valor de la permitividad dieléctrica de la inclusión sea más baja que la del resto de los aislamientos y como la distribución del campo eléctrico en corriente alterna resulta ser inversamente proporcional a las magnitudes de la permitividades dieléctricas (capacitancias), resulta que la intensidad de campo eléctrico en la inclusión es mayor que la de los aislamientos y esto refuerza aun más la razón por la cual la ruptura dieléctrica ocurre primero en la inclusión y como consecuencia ocasiona el fenómeno de descargas parciales. Dentro de las inclusiones que pueden llegar a originar descargas parciales en los equipos eléctricos se encuentran las siguientes:

- 1.2.1 Burbujas Gaseosas.
- 1.2.2 Cavidades de Aceite.
- 1.2.3 Partículas Extrañas.
- 1.2.4 Protuberancias metálicas.

Estas inclusiones pueden ser producto de mala calidad en los materiales o técnicas inadecuadas de manufactura.

1 **NOTA:** El Klindenógrafo es un aparato en el cual las descargas o picos son registradas fotográficamente permitiendo revelar las sobretensiones y obtener un conocimiento de su naturaleza, dirección y orden de magnitud.

### 1.2.1 Burbujas Gaseosas.

La magnitud de intensidad del campo eléctrico en la cual se inicia el fenómeno de descargas parciales en una burbuja gaseosa depende de su forma geométrica, su permitividad dieléctrica y de la presión del gas. Para algunos casos es posible calcular el campo eléctrico en la burbuja, como:

**1.2.1.1 Burbuja plana y pequeña.** Comparada con el espesor del dieléctrico y que se encuentra en dirección perpendicular al campo eléctrico. Para este caso la intensidad del campo eléctrico resulta ser  $\epsilon$  veces la del dieléctrico, siendo " $\epsilon$ " la permitividad del dieléctrico.

**1.2.1.2 Burbuja esférica.** En donde la intensidad del campo eléctrico en la burbuja resulta ser:  $\frac{3\epsilon}{1+2\epsilon}$  veces la del dieléctrico y tiende a 1.5 si " $\epsilon$ " es grande.

**1.2.1.3 Burbuja alargada.** Y así mismo paralela al campo eléctrico en la burbuja, por lo que la intensidad en la burbuja resulta ser igual a la del dieléctrico.

El fenómeno de las descargas parciales que ocurre en una burbuja gaseosa que se encuentra en un dieléctrico, se presenta a la misma tensión que la que existe entre dos electrodos metálicos con la misma separación. El efecto de la separación entre electrodos y la presión sobre la tensión de ruptura dieléctrica de la burbuja, para determinado tipo de gas se rige por la Ley de Paschen.

$$\text{Ley de Paschen: } V_g = f(p.d)$$

### 1.2.2 Cavidades de Aceite

Las cavidades de aceite se pueden presentar entre capas de los devanados de transformadores y de manera similar a las burbujas gaseosas se puede calcular la intensidad de campo eléctrico en una cavidad de aceite, tomando en cuenta los casos siguientes:

**1.2.2.1 Cavidad plana con dirección perpendicular al campo eléctrico** En este caso la intensidad del campo eléctrico en la cavidad de aceite resulta ser  $\epsilon_1/\epsilon_2$  veces la del dieléctrico, siendo " $\epsilon_1$ " la permitividad de la cavidad de aceite y " $\epsilon_2$ " la permitividad del dieléctrico.

**1.2.2.2 Cavidad esférica.** Es donde la permitividad de campo eléctrico en la cavidad resulta ser  $\frac{3\epsilon_2}{\epsilon_1 + 2\epsilon_2}$  la del dieléctrico.



**1.2.2.3 Cavidad alargada y paralela al campo eléctrico.** En donde la intensidad del campo eléctrico en la cavidad, resulta ser igual a la del dieléctrico.

La tensión de ruptura del aceite depende en gran parte de la contaminación y de los gases disueltos, además en la ocurrencia de dicha ruptura se originan gases, reforzando la continuidad del fenómeno de descargas parciales.

### **1.2.3 Partículas Extrañas**

Durante el proceso de manufactura en los aislamientos y ensamblado de equipos eléctricos, pueden introducirse algunas partículas o materiales extraños, tales como: polvo, contaminación, humedad, fibras, etc.; que pueden ocasionar la formación de descargas parciales y envejecimiento de los aislamientos.

### **1.2.4 Protuberancias Metálicas**

La presencia de protuberancias metálicas en la superficie de los conductores o electrodos en aislamiento gaseoso, líquido, sólido o compuesto (papel impregnado en aceite), ocasionan concentraciones de campo eléctrico que llevan a las descargas parciales, las cuales consisten en avalanchas electrónicas; este fenómeno se presenta cuando la intensidad del campo eléctrico en el conductor o electrodo excede la rigidez dieléctrica del aislamiento circundante.

## **1.3 Descargas Parciales por Efecto Corona**

Las descargas por corona se presentan en equipo eléctrico que forma parte de sistemas de transmisión y distribución y ocasiona interferencia en transmisiones de radio y televisión, a comunicaciones electrónicas y a los sistemas de protección de estado sólido, así mismo producen pérdidas de potencia debido al escape de descargas eléctricas, por la presencia de descargas en el aire. El mecanismo de formación de las descargas por corona, depende del tipo de tensión (A.C. D.C o impulso), polaridad y de la forma y tamaño del electrodo. Las descargas por corona se forman en la superficie de un conductor o electrodo, cuando el campo eléctrico de dicha superficie, excede la rigidez dieléctrica del aire (30 KV/cm a 25°C y 760mm de Hg). El comportamiento de este tipo de descargas depende de los siguiente factores:

- a) Presión del aire.
- b) Material del conductor o electrodo.
- c) Presencia de vapor de agua.
- d) Incidencia de foto-ionización.
- e) Forma de onda de la tensión.

La intensidad de las descargas por corona se determinan básicamente por dos factores:

1. Intensidad del campo eléctrico en la superficie del conductor o electrodo.
2. Estado físico de la superficie en cuanto a las irregularidades por partículas de polvo, gotas de agua protuberancias metálicas, etc.

La presencia de una protuberancia conductora en la superficie de un conductor o electrodo, tal como una partícula contaminante, origina una concentración de gradiente de potencial, que se convierte en una fuente de descargas por corona.

En la práctica se ha observado que las descargas por corona, ocurren con mayor frecuencia durante el semiciclo negativo de la onda senoidal y además que la carga espacial producida durante un semiciclo, puede llegar a modificar el tipo y la intensidad por corona, que ocurre durante el semiciclo subsiguiente.

Para el estudio del fenómeno de las descargas por corona se analizan dos procesos:

#### **1.3.1.1 Proceso de Corona Negativo.**

#### **1.3.1.2 Proceso de Corona Positivo.**

El proceso de corona negativo se caracteriza por la presencia de los pulsos Trichel, pequeños pulsos luminiscente (glow) y canalizaciones luminiscentes (Streamers).

El proceso de corona positivo se presenta en tres formas diferentes, principalmente pulsos con pequeñas canalizaciones (Onset), pulsos luminiscentes Hermstein y canalizaciones positivas (Streamers).

Los pulsos negativos de Trichel y/o pulsos positivos Onset, constituyen lo que se conoce como corona inicial y no tienen importancia desde el punto de vista de pérdidas. Debido a que los pulsos de corriente poseen un gran contenido de frecuencias, ocasionan teleinterferencia y para aquellos casos en que se tienen magnitudes grandes de corriente, originan radiointerferencia.

Los pulsos luminiscentes negativos (Glow) y positivos de Hermstein constituyen lo que se conoce como corona estabilizada y por la constante fuga de corriente, tienen importancia desde el punto de vista de pérdidas, pero no ocasionan radiointerferencia ni teleinterferencia.

### 1.3.1.1 Proceso de Corona Negativa

Trichel 2 quién estudió el efecto corona punta-plano con corriente directa dió la siguiente descripción del fenómeno:

Sí un ión positivo aparece en la vecindad del punto, es atraído por el campo eléctrico moviéndose hacia el punto. El ión golpea al electrodo liberando uno o más electrones, los cuales por el mecanismo de Townsend, ocasionan una nube de iones positivos cerca del punto y electrones negativos que se alejan del mismo, durante este proceso la radiación que ocurre causa foto- ionización en la superficie del punto. Una extensión lateral de la región ionizada tiene lugar hasta que el llamado punto cátodo se forma y a partir de él emana la descarga corona.

A distancias más grandes del cátodo los electrones disminuyen su velocidad y se unen con las moléculas de oxígeno en el aire. Ahora han sido formadas dos regiones con carga espacial. Una carga espacial positiva ha sido construida en la vecindad cercana al punto por iones positivos que se mueven lentamente y que son producto de la ionización de las moléculas de aire.

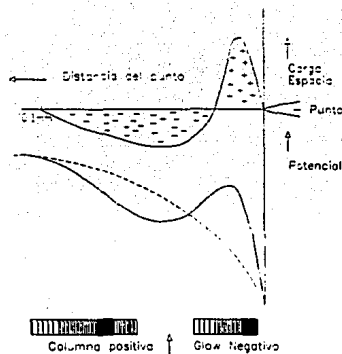
A distancias más grandes los iones negativos, los cuales están formados por adhesión de los electrones a las moléculas de oxígeno, originan una carga espacial negativa. Todo el proceso toma lugar en una distancia de 0 a 1mm a partir del punto y en un intervalo de tiempo de  $10^{-8}$  seg.

Los iones positivos se mueven hacia el punto sin producir mayor ionización pues la fuerza del campo eléctrico es demasiado débil y la descarga se extingue.

Después de la extinción la carga negativa se mueve hacia el ánodo elevando el esfuerzo eléctrico y comienza una nueva descarga.

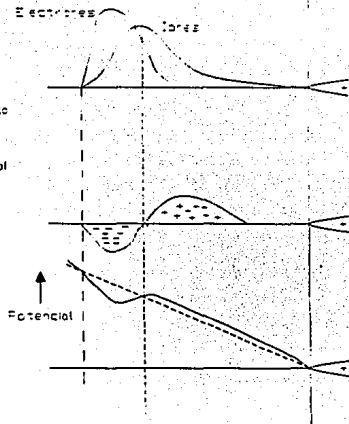
En el fuerte campo eléctrico que está justo fuera del punto aparece una región luminosa llamada Glow Negativo. En la región de la carga negativa aparece otro glow que es llamado columna positiva. Entre las dos partes luminosas el espacio de sombra de Faraday se puede encontrar y corresponde a una región de pequeño esfuerzo donde no existe ninguna ionización. Como se muestra en la figura 1.2:

2 Trichel G.W. "The Mechanism of the Negative Point to Plane Corona near Onset" Phys., Rev. 54, 1078 (1938).



Espejo oscuro de Faraday  
 CORONA NEGATIVA  
 CARGA ESPACIAL Y DISTRIBUCION DE POTENCIAL

Figura 1.2



CORONA POSITIVA  
 CARGA ESPACIAL Y DISTRIBUCION DE POTENCIAL

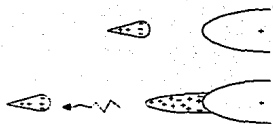
Figura 1.3

### 1.3.1.2 Proceso de Corona Positiva

Si el punto es positivo la descarga ocurre como sigue: Después de que el voltaje de inyección se ha alcanzado una avalancha de electrones, la cual causa una distribución de partículas como se muestra en la figura 1.3:

Se puede deducir de la figura 1.3, que el campo eléctrico en la cabeza de la avalancha de electrones se incrementa, los fotones llegan a este campo incrementado y comienzan nuevas avalanchas.

De esta manera se forman descargas como se muestra en la figura 1.4:

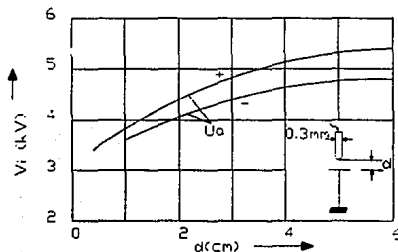


DESARROLLO DE UN CANAL DE DESCARGA

Figura 1.4

### 1.3.2 Recurrencia de Descargas Corona

En voltaje D.C. las descargas corona negativas se presentan regularmente de acuerdo al mecanismo anteriormente explicado, los impulsos son iguales en tamaño, la frecuencia de repetición es fuertemente dependiente del voltaje, como se muestra en la figura 1.5:

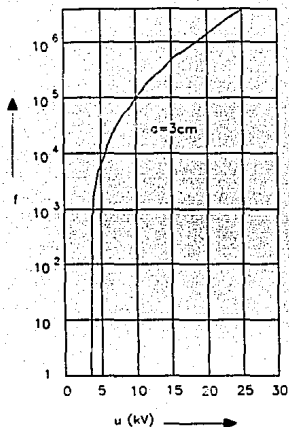


VOLTAJE DE APARICION DE CORONA POSITIVA Y NEGATIVA

Figura 1.5

Las descargas corona positivas son irregulares y se presentan como pequeñas y grandes descargas. El rango de repetición se incrementa proporcionalmente al voltaje.

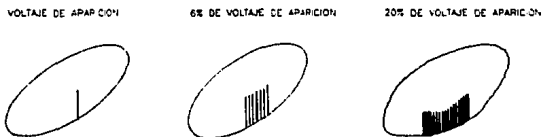
En A.C. las descargas corona ocurren primero en el ciclo negativo de la onda de voltaje senoidal únicamente. Los oscilogramas típicos se muestran en la figura 1.6:



FRECUENCIA DE REPETICION DE DESCARGAS DE CORONAS NEGATIVA PARA VOLTAJE C.D.

Figura 1.6

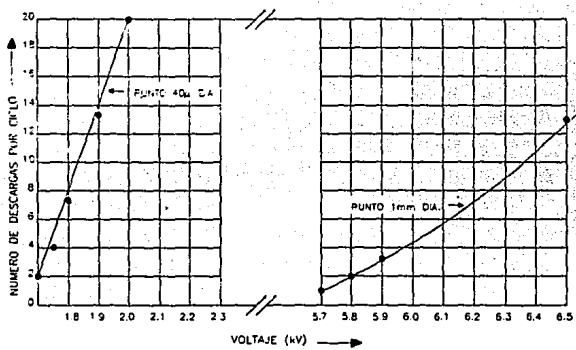
Donde los impulsos de descarga se despliegan en una base de tiempo de 60Hz son iguales en tamaño y su número se incrementa de una primera aproximación lineal con el voltaje aplicado como se muestra en la figura 1.7:



DESCARGAS CORONA PARA VOLTAJE A.C.

Figura 1.7

A voltajes más altos las descargas ocurren también en la onda positiva del ciclo. Cuando se colocan en un circuito de detección las descargas corona, también pueden ser representadas por un diagrama ABC como se muestra en la figura 1.9. El corto corto circuito de la zona que presenta el arco, de cualquier manera está gobernado por otras leyes diferentes al caso de descargas internas o superficiales.

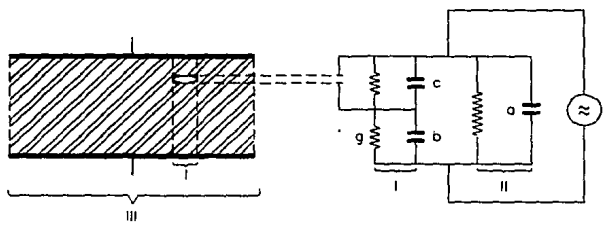


NUMERO DE DESCARGAS CORONA POR CICLO PARA VOLTAJE A.C.

Figura 1.8

### 1.4 Proceso Físico de una Descarga Parcial Interna

El proceso físico de una descarga parcial interna en corriente alterna, puede ser descrito convenientemente con un circuito análogo al de la figura 1.9:



CAVIDAD EN UN DIELECTRICO SOMETIDA A TENSION DE C.D.

Figura 1.9

Consideremos el caso ideal en el cual exista una sola cavidad en el seno del dieléctrico y suponemos que podemos comparar esta cavidad con un capacitor de aire, la capacitancia de la cavidad es representada por el capacitor  $c$ , la capacitancia del resto de la columna de sección común a la cavidad es representada por el capacitor  $b$  en serie con  $c$ . El resto de la muestra formará una capacitancia perfecta entre los electrodos bajo tensión y se podrá representar por el capacitor  $a$ .

Si aplicamos una tensión senoidal progresivamente creciente en un momento dado y una tensión aplicada  $V_a$ , como se puede observar en la figura 1.10, la tensión a través de la cavidad será idealmente  $V_c$ , si el capacitor  $c$  fuera capaz de soportar esa tensión.

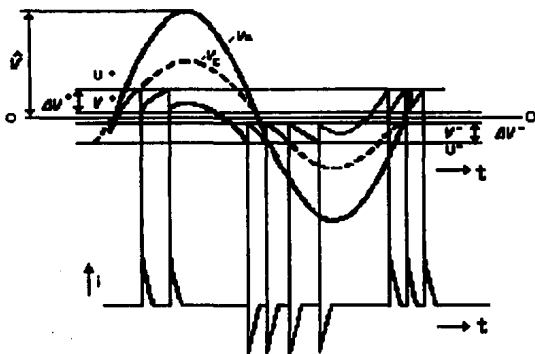


Figura 1.10

Supóngase que ahora la cavidad está llena de un gas a una presión tal que la descarga del capacitor  $c$  se produce a una tensión  $U^+$ ; la tensión entonces cae a  $V^+$  (usualmente menos de 100v), valor al cual la descarga se extingue.

La descarga de menos de  $10^{-7}$  seg. es de duración muy corta comparada con la duración de 60Hz de la onda senoidal, por lo cual la caída de tensión se puede tomar como una función escalonada. Después de que la descarga se ha extinguido, la tensión sobre la cavidad aumenta nuevamente. Esta tensión es determinada por la superposición del campo eléctrico principal y el campo de las



descargas superficiales que han quedado después de la última descarga en las paredes de la cavidad. Cuando la tensión en la cavidad sube nuevamente según la curva de  $V_c$  a partir de  $V^+$  y alcanza el valor de  $U^+$ , ocurrirá una nueva descarga. Este fenómeno se repite varias veces hasta que la tensión aplicada  $V_a$  sobre la muestra y la tensión  $V_c$  desplazada a  $V^+$  ya no adquiere el valor de ruptura del dieléctrico.

Las descargas aparecen nuevamente del lado negativo en el momento en que la tensión  $V_c$  llega a tener el valor de  $U^-$  (Valor de ruptura del dieléctrico). Este valor  $U^-$  y el valor  $V^-$  pueden ser diferentes de  $U^+$  y  $V^+$ . De esta manera, se encontrarán grupos de descargas regularmente recurrentes que se forman en los lugares de mayor variación de  $V_c$  (o  $V_a$ ), o sea, se localizan alrededor de los pasos de la tensión cero.

Las descargas de la cavidad causan impulsos de corriente en las terminales de la muestra; estos impulsos se muestran en la parte inferior de la figura 1.11. Ha sido demostrado por Austin y Whitehead que si las caídas de tensión en ambos semiciclos son iguales, o sea  $\Delta V^+ = \Delta V^-$ , los impulsos darán una figura estacionaria en la pantalla del osciloscopio, en caso de que las descargas no sean iguales en los dos semiciclos las descargas tendrán un movimiento en el tiempo en relación a la frecuencia de barrido del osciloscopio.

Se da el nombre de tensión de aparición de descargas parciales, a la tensión más baja a la cual las descargas parciales rebasan la amplitud determinada observándose bajo condiciones específicas y cuando la tensión aplicada a la muestra es aumentada progresivamente a partir de un valor inferior al que tales descargas son observadas.

La tensión de desaparición de descargas parciales, es la tensión a la cual las descargas parciales que rebasan una tensión determinada bajo condiciones específicas y cuando la tensión es disminuida progresivamente a partir de un valor que sobrepasa la tensión de aparición.

Una vez que una descarga se ha iniciado, las mismas pueden persistir a una tensión menor que la tensión de aparición, teóricamente a un valor tan bajo como la mitad de la tensión de aparición, como se observa en la figura 1.12 y considerando que la primera descarga se inicia a una pequeña sobretensión en el punto A. La tensión sobre la cavidad, y que es originalmente menor a la tensión de aparición cada medio ciclo debido a las cargas superficiales que quedaron después de cada descarga.

La tensión mínima a la que las descargas pueden existir es, de acuerdo con la figura 1.11:

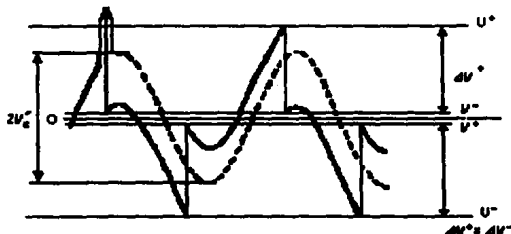
$$2V_c - V^+ = U^-$$

$$V_c' = \frac{U^-}{2} + \frac{V^+}{2}$$

y como  $V^+$  es pequeña comparada con  $U^-$

$$V_c' = \frac{U^-}{2}$$

En la práctica, la tensión de desaparición es un aislamiento sólido es de 0 a 25% menor que la tensión de aparición. En el papel impregnado, la tensión de desaparición es aun frecuentemente menor debido a la rápida formación de gas.



### 1.5 Magnitud de las Descargas

Observando la figura 1.9, nos damos cuenta que la carga puesta en juego en cada descarga, se considera que  $b$  y  $c$  son de pequeña capacitancia con relación a la capacitancia  $a$ , es: en donde  $Dv$  es el incremento en la tensión de las terminales de  $c$ , debido a las descarga. (Anteriormente se denominó  $U^+$  y  $V^+$ ).

Desgraciadamente, este valor de  $q_1$  no es medible pues no recorre las conexiones externas del aislamiento y, por otra parte no se conocen  $b$  y  $c$ .

Otra carga, ésta si es accesible a medición, es la carga aparente de transmisión del aislante, y que se expresa como:

$$q = a \Delta V_a$$

El incremento de tensión que esta descarga produce en las terminales del aislantes, se puede describir por: De donde se tiene que la medida de  $\Delta V_a$  permite, pues deducir la carga aparente q:

$$q = b \Delta v$$

La cual es bastante buena imagen de la energía disipada por la descarga en el seno del dieléctrico.

Se puede demostrar, por hipótesis simplificadas que la energía disipada se puede expresar por:

$$W = 0.7 q V.$$

Donde: V = es la tensión eficaz de aparición de las descargas parciales.

Otro método de evaluación de la energía de las descargas es la medida de la potencia consumidas por las pérdidas y que se puede medir con un puente de Schering, pero es necesario para ello que las descargas sean lo suficientemente numerosas y fuertes, lo que no se produce más que en algunos tipos de aislantes; también en general esta medición no hace distinción entre pocas descargas grandes que pueden ser peligrosas y muchas pequeñas que pueden ser inocuas.

## **Capítulo II**

### **Métodos de Detección de Descargas Parciales**

Las descargas parciales se conocen como una causa de deterioro en los materiales aislantes desde la década de los 20's, este fenómeno había recibido poca atención debido a que el deterioro que sufrían los aislamientos era muy lento ya que trabajaban a esfuerzos eléctricos muy débiles. Sin embargo con los avances que ha tenido los aislamientos así como el empleo de niveles de tensión cada vez más altos, se han debido realizar investigaciones de laboratorio así como llevar a cabo experiencias de campo con el fin de crear o mejorar métodos de detección de descargas parciales.

## **2.1 Panorama Histórico de los Métodos de Detección de Descargas Parciales**

- 1880 Se demuestra que  $T$  del aire =  $p \cdot d$  donde:  
 $p$  = Presión.  
 $d$  = Separación de los electrodos.  
 $T$  = Tensión del aire.
- 1889 Paschen comprueba la validez de lo anterior para un campo eléctrico uniforme, para el aire.
- 1910 Towsen concreta el modelo matemático del fenómeno de descargas para los gases aire (oxígeno e hidrógeno).
- 1922 Se publica un método galvanométrico para detección y medición de descargas parciales en equipos eléctricos.
- Antes de la 2da Guerra Mundial aparecen métodos más avanzados de detección de descargas parciales, debidas principalmente a "perturbaciones radiofónicas", producidas por efluvios, descargas e ionizaciones diversas.
- 1940 Se normaliza la primera prueba de radiointerferencia, utilizando un capacitor de acoplamiento. Norma NEMA 107.
- 1953 Fueron desarrolladas nuevas técnicas más sensitivas para la medición de descargas parciales.
- 1957 Se publican los primeros resultados de las pruebas de radiointerferencia a transformadores sumergidos en aceite aislante. Se comienza a utilizar el derivador capacitivo.
- 1964 Se revisa la NEMA 107.

- 1965 Se publican formalmente los trabajos de investigación que validan al método antes mencionado. Este método elimina la necesidad del capacitor, sacrificando estabilidad.
- 1968 Se publica la norma IEC 270 con el método de máxima carga aparente y con el empleo de un capacitor de acople.
- 1971, 1976 y 1981 Se revisa nuevamente la NEMA 107, reafirmando su contenido total. Fué en este último año cuando también se revisó la IEC 270.

Las descargas parciales dan lugar a numerosos efectos secundarios, los cuales pueden ser usados como medios de detección de las mismas.

## **2.2 Métodos de Detección de Descargas Parciales**

Los métodos de detección se clasifican en dos grandes grupos:

### **2.2.1 Métodos de detección no eléctricos.**

### **2.2.2 Métodos de detección eléctricos.**

Los métodos de detección no eléctricos no son usados frecuentemente debido a que, en muchos casos, son menos sensitivos que los métodos eléctricos.

Entre los **métodos no eléctricos**, podemos citar los siguientes:

#### **2.2.1.1 Detección por Luz**

Este método puede ser usado tanto para las descargas superficiales como para las descargas internas en dieléctricos translúcidos; la técnica que se emplea es la detección visual, fotográfica o fotoeléctrica.

Para las descargas superficiales se pueden obtener hasta una sensibilidad de 1 pC y para las internas, se llega a obtener hasta 50pC.

#### **2.2.1.2 Detección por Calor**

Sólo se pueden detectar descargas internas importantes, que ya han causado deterioro en el dieléctrico; la sensibilidad de este método es muy pobre y se puede hacer la detección tomando con la mano la muestra bajo prueba, o bien, por métodos termoelectrónicos.

### **2.2.1.3 Detección por Ruido**

Se emplea para descargas superficiales y descargas internas; la sensibilidad en casos favorables es de 5 a 50 pC; se puede emplear el oído o bien audífonos.

### **2.2.1.4 Detección por presión de Gas**

Se emplea para descargas internas y sólo en espacios de aire accesibles; su sensibilidad es desconocida y se usan manómetros.

### **2.2.1.5 Detección por Transformaciones Químicas**

Se emplea sólo para descargas internas en objetos que pueden ser demolidos, o bien, para descargas superficiales; este método no tiene sensibilidad y su detección se hace por medio visual o químico.

## **2.2.2 Métodos de Detección Eléctrica**

Los métodos de detección eléctrica son métodos no destructivos donde una muestra es sometida a tensión y las descargas que se presentan en ésta son medidas por medio de un circuito que se encarga de integrar los pulsos de voltaje que se producen amplificarlos y mostrarlos en una unidad de observación como puede ser un osciloscopio, un voltmetro o un audífono.

La unidad aceptada de medida de la magnitud de las descargas parciales es el picocoulomb. La carga (pC) es preferida al voltaje como una unidad de medida debido a que es proporcional a la energía destructiva liberada en el lugar de la descarga. El pulso de voltaje es indeseable debido a que depende de la forma de onda del pulso de la descarga parcial el cual es irregular en la mayoría de las veces.

La forma de onda del pulso de la descarga parcial depende de la localización de la descarga y de los cambios que el pulso provoca en el circuito. La carga, es proporcional al número de iones formados en el lugar de la descarga, es representada por el área bajo la forma de onda del pulso de la descarga parcial. Esta área permanece constante, independientemente del lugar de la descarga. La energía liberada es proporcional al producto del número de iones formados y el voltaje crítico en el lugar de la descarga. Es, por lo tanto, aparente que la respuesta de un sistema de detección de descargas parciales deba ser proporcional al área bajo el pulso de la descarga parcial.

El equipo utilizado en los métodos de medición eléctrica se puede describir de manera general en la siguiente forma, consiste fundamentalmente en tres módulos principales:

1. Detección.
2. Graficación.
3. Fuente de alimentación.

#### 1. Detección

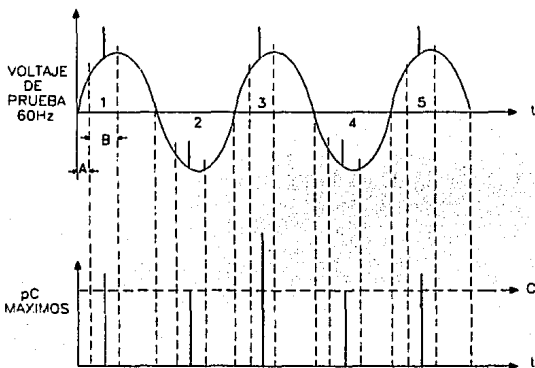
- **Detector:** esta unidad tiene la finalidad de proveer la instrumentación necesaria para efectuar mediciones de descargas parciales. Consta de tres partes:
- **Amplificador.** Descarga las señales del circuito de prueba y las despliega en el osciloscopio.
- **Osciloscopio.** Despliega las señales del amplificador para un análisis visual.
- **Calibración.** Es utilizada para tener una señal que nos sirva para determinar la magnitud de la carga aparente (pC) de descargas parciales.
- **Filtro de separación de potencia:** Básicamente es un divisor de voltaje capacitivo con una red de detección de pulsos. Se conecta en paralelo con la muestra bajo prueba y de este modo es independiente de los requerimientos de corriente de la muestra, tiene 4 funciones importantes:
  - a) **Sensar cualquier señal de descargas parciales en la muestra y separar señales de nivel baja y alta frecuencia del voltaje de prueba.**
  - b) **Integrar la carga de cualquier señal de descargas parciales detectada.**
  - c) **Contener un divisor de voltaje capacitivo que provee una señal adecuada al detector.**
  - d) **Proveer un sistemas indirecto de acoplamiento usado con el sistema de calibración.**
- **Acoplador de señal de calibración:** Esta unidad es requerida para acoplar la señal de salida del calibrador a las terminales de la muestra bajo prueba.



## 2. Graficación

- **Unidad de reconocimiento corona:** Permite diferenciar el ruido (aperiódico) de las descargas parciales (periódicas), además sirve como una interface para utilizar el graficador.

Para lograr lo anterior se utiliza un generador de señal de registro para proveer una señal de salida al graficador que sea proporcional en una amplitud a la señal de descarga máxima detectada dentro de las ventanas durante los 5 semiciclos del voltaje de prueba como se observa en la figura 2.1. Para tener una respuesta "lenta" en el graficador, el generador de señal convierte la señal de pulso máximo a un nivel proporcional de corriente directa. Para excesiva vibración de la plumilla del graficador, la salida del generador de señal envía pasos escalonados de voltaje de 0 a escala máxima en 20 incrementos iguales de 5%.



ESTABLECIMIENTOS DEL NIVEL DE DESCARGA

Figura 1.2

- **Graficador:** Recibe los voltajes escalonados de D.C. enviados por la unidad de reconocimiento corona (Eje Y) para dibujar la gráfica pC contra voltaje de prueba correspondiente. El tamaño de la gráfica se determina utilizando apropiadamente los controles de rango y cero (X,Y). Una vez que el nivel inicial y la escala máxima han sido determinadas, los puntos intermedios ocurrirán con incrementos lineales de 5%, independientemente de la ganancia del detector.

### 3. Fuente de alimentación

Provee un voltaje de prueba libre de descargas parciales, además el ruido de la línea de alimentación es menor al nivel mínimo en el cual las muestras serán probadas. Para lograr lo anterior se cuenta con:

- **Transformador de aislamiento:** Tiene la función de alimentar al tablero de control y la de eliminar armónicas y distorsiones de la línea de alimentación.
- **Tablero de Control:** Se tiene el control del voltaje de prueba , además de poder visualizar la corriente del primario y del secundario del transformador, controlar la reactancia del transformador de resonancia de voltaje de prueba.
- **Filtros de alta tensión:** Tienen la función de acoplamiento en pruebas de descargas parciales. Son un arreglo inductivo - capacitivo tipo PI.
- **Transformador de resonancia de voltaje de prueba:** Provee el voltaje de prueba a la muestra.

En los últimos años se han desarrollado diferentes métodos y equipos para la detección y medición de las descargas parciales, diferentes tanto por su principio de funcionamiento como por sus combinaciones o mejoras de las ya existentes. Pero básicamente podemos clasificar los métodos eléctricos en dos tipos:

#### **2.2.2.1 Sistema puente.**

#### **2.2.2.2 Sistema lineal.**

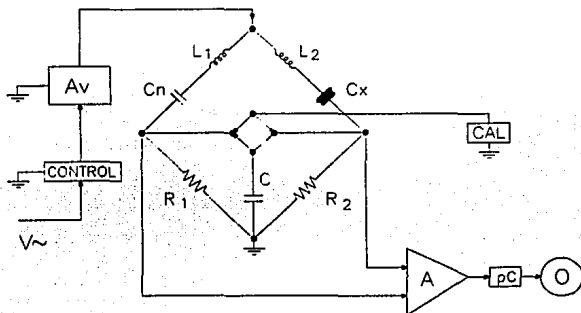
##### **2.2.2.1 Sistema Puente**

El sistema puente se usa para pruebas de descargas parciales en muestras de baja capacidad, y no requiere ninguna medida contra el ruido o interferencia.

Las técnicas puente, son generalmente más costosas como gasto inicial de equipo y su uso requiere más habilidad, lo que no es atractivo a menos de que se requiera satisfacer necesidades específicas no cubiertas por detección lineal.

Una de las principales dificultades al hacer las pruebas de descargas parciales, es la detección de descargas que no están sucediendo dentro del aislamiento, sino que son interferencias que entran a través de la fuente de alto voltaje, líneas de conducción, capacitor de bloqueo, líneas de tierra, etc. Por lo tanto es difícil distinguir descargas que que suceden en la muestra bajo prueba, por lo que puede haber un error en la lectura.

La ventaja que se siente con la técnica puente es la de poder balancear el sistema, lo que reduce las interferencias que afectan. El funcionamiento de los diferentes sistemas puente es similar al puente de Wheaston. En la figura 2.2 se muestra el circuito básico del sistema de detección.



SISTEMA PUENTE  
Figura 2.2

Donde:

**V** : Voltaje de líneas de alimentación.

**$\Delta V$** : Transformador elevador de tensión.

**R1,R2** : Resistencias variables para balancear el puente.

**C** : Capacitor para balancear la capacidad de los brazos del puente.

**Cn**: Capacidad formada por el cable.

**CAL**: Generador de descargas (calibrador), para verificar el balanceado del puente.

**A** : Amplificador para aumentar la amplitud de la señal a observar.

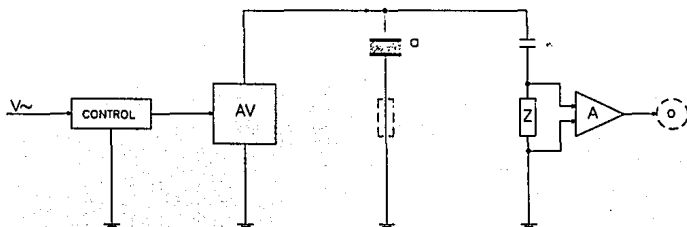
**pC**: Medidor de descargas parciales (pC).

**O** : Unidad de observación (osciloscopio).

### 2.2.2.2 Sistema Lineal

El sistema lineal se emplea para la prueba de descargas parciales del producto terminado (refiriendonos a cualquier equipo de alta o media tensión que pueda ser susceptible a descargas parciales).

A pesar de que existe una gran variedad de sistemas lineales utilizados en la detección de impulsos de corriente generados por descargas parciales en un aislamiento, el circuito puede simplificarse a un diagrama básico, como se muestra en la figura 2.3.



SISTEMA LINEAL

Figura 2.3

Donde:

**V** : Voltaje de línea que debe ser puramente senoidal sin distorsión por armónicas y libre de interferencias de alta frecuencia.

**C** : Regulador de voltaje que proporciona el voltaje necesario para alimentar al transformador de pruebas, esta unidad debe estar libre de descargas parciales y no debe generar distorsión por armónicas y no inducir interferencias por malos contactos.

**$\Delta V$**  : Transformador elevador de tensión, suministra el alto voltaje para las pruebas. También debe ser libre de descargas parciales y que no genere distorsión por armónicas.

**Cp** : Capacitor formado por la muestra bajo prueba.

**K** : Capacitor de acoplamiento, que tiene una reactancia baja a altas frecuencias para facilitar el paso de impulsos de corriente generados por las descargas parciales.

**A** : Amplificador de impulsos, para poder observarlos en la unidad de observación (O).

**Z** : Impedancia a través de la cual los impulsos de corriente se convierten en impulsos de voltaje, se pueden conectar de dos maneras como se muestra en la figura 2.3.

La manera de conectarse que se marca con línea no punteada, es peligrosa pues una falla al hacer la prueba arriesgaría no sólo la muestra sino el propio equipo de medición.

Los puntos de tierra del sistema deben estar precisamente a cero volts, ésto es a un punto de tierra absoluto y exclusivo para el sistema de detección.

Cualquier sistema lineal de detección de descargas parciales es muy sensible a interferencias y contiene un número mayor de trayectorias cerradas a tierra, que son posibles formas de inducción sobre todo en áreas de mucha interferencia como es el caso de una planta industrial.

### **2.3 Fuentes de Interferencia**

Como ya se mencionó estos equipos son muy sensibles a disturbios externos y a continuación se mencionan los más comunes y sus posibles soluciones:

#### **1. Interferencia proveniente de la línea de alimentación.**

Puede eliminarse con un filtro que detiene la frecuencia alta, dejando pasar únicamente la baja frecuencia del voltaje de prueba suprimiendo la frecuencia de la banda de detección en el voltaje de alimentación.

#### **2. Interferencia ocasionada por el sistema de tierras.**

Se resuelve conectando firmemente el circuito de prueba a un sólo punto de tierra aislado de las demás tierras empleando únicamente una línea de conexión, procurando que sea lo más corta posible. En la se ha observado que es recomendable utilizar como línea de tierra una lámina de cobre de 2 pulgadas de ancho de calibre 20, como se muestra en la siguiente figura:

#### **3. Ruido ocasionado por mal contacto en el circuito o muestra.**

Para evitarlo es recomendable revisar periódicamente las conexiones del equipo y evitar falsos contactos en la muestra.

#### **4. Picos de voltaje producidos por pruebas de alta tensión externas.**

Generalmente producidos por equipos muy cercanos, radiaciones electromagnéticas, inducción electrostática, por la operación de interruptores, por el paso de montacargas en la cercanía del recinto, por el funcionamiento de motores eléctricos o bien por radio transmisores. Si no se pueden eliminar estas fuentes de ruido se requiere un sistema que pueda reconocerlas y eliminarlas como una jaula de Faraday.

#### 5. Descargas en el circuito de pruebas por efecto de puntas.

Son normalmente provocadas por equipos de alto voltaje que trabajan en la proximidad del área de prueba. Para evitarlas al igual que el punto anterior requiere un jaula de Faraday.

A continuación se presentan tres tablas comparativas en las que podemos obtener información adicional sobre los métodos analizados.

La tabla I compara los tipos de detección existentes, tanto eléctricos como no eléctricos, aclarando la forma en que se aplican y comentarios extras.

La tabla II muestra la sensibilidad y el costo aproximado de los diferentes métodos de prueba.

La tabla III compara las características de los detectores que se usan en los métodos de medición de descargas parciales.

### 3.4 Tablas Comparativas de Métodos Eléctricos y No Eléctricos

**TABLA I .- Categorías de Detección de Descargas Parciales.**

CATEGORIA	TIPOS	APLICACION	COMENTARIOS
Fuentes de Luz	Celdas Solares, Fotomultiplicador, Cámara, Cámara de T.V., Detectores de Estado, Sólido	Medidas de luz generadas por los gases de ionización entre los electrodos abiertos en una zona oscura.	Sensible a luz desviada, móvil, muy direccional. No puede medir descargas en productos encapsulados.
Mecánicos	Acelerometro, Ultrasonido.	Miden vibraciones mecánicas provocadas por las ondas de choque de la presión del gas.	Sujeto a fuentes de ruido externas, insensible a la luz; con el método ultrasónico es muy sensible.
Radiación Electromecánica	Antenas, Electrómetro, Prueba Sato, Prueba de Capacitor, Radio Receptor	Miden emisiones de radiofrecuencia generadas por la descarga gaseosa.	No es sensible a la luz, temperatura o presión, es móvil y semidireccional.
Electrónicas	Capacitor de acople, Resistencias serie	Miden alta frecuencia, voltaje e impulsos de corriente provocados por Corona o descarga parcial.	No es sensible a la luz, temperatura o presión, es inmóvil y debe encontrarse cerca del circuito generador.
Detectores Químicos	De masa, Espectrómetro, Detectores MOSFET.	Miden ozono y productos gaseosos de salida.	Debe ser instalado en un lugar cercano a la fuente de descarga parcial/Corona. Requiere una fuente de poder de alto voltaje para el espectrómetro y no es direccional.
Instrumentos Científicos	Contador GEIGER, Analizador de curva plana, Detector CERENKOV, Detectores de Edo. Sólido.	Miden carga de partículas radiadas por Corona o descarga Parcial.	Debe localizarse cerca de la fuente de descargas, móvil, requiere instrumentación y modificaciones especiales, representa altos costos.

**TABLA II .- Características de Detectores de Descargas Parciales y Corona**

TIPO	SENSIBILIDAD	COSTO RELATIVO	COMENTARIOS
Celdas Solares	1.4 VLUMEN	\$2.5/ cm <sup>2</sup>	Requiere una superficie con entriamiento, un brazo móvil y debe estar perpendicular a la fuente de descargas.
Fotomultiplicador	1 V/ 4X10 <sup>-4</sup> lumen 1X10 <sup>7</sup> gain BW	\$500	Requiere fuente de alto voltaje, un brazo móvil y orientación hacia la fuente de las descargas.
Cámara de T.V.	1 X 10 <sup>4</sup> gain BW	\$5,000	Requiere fuente de alto voltaje, un brazo móvil, orientación hacia la fuente de las descargas.
Litio difractado con germanio	Proceso muy lento 0.1 KeV mínimo	\$100 \$1,000	Requiere un brazo móvil Emanación de rayos X y gamma.
Acelerómetro mecánico	90 mV por 1.0 gr.	\$10	Limitado a 16 KHz, debe estar junto a la superficie metálica sobre las descargas.
Ultrasonido	Depende de la presión	\$5,000	Requiere grandes presiones como 10 <sup>-2</sup> Torr y cercanía con la fuente de descargas.
Detector químico, Espectro MASS	Mide descargas de gas con mucha sensibilidad.	\$ 10,000	Requiere fuente de alto voltaje.
Resistencias Serie	1 mV/pC	\$1	Debe estar junto de la fuente de descargas.
Capacitores de acople	0.1 mV/pC	\$ 25 - 10, 000	Debe estar junto de la fuente de descarga.
Radio Frecuencia	0.1 mV/pC	\$10	Debe estar junto a la superficie aislante.
Electrómetro	0.1 mV/pC	\$1,000	Insensible a presión y luz, tamaño pequeño, direccional y necesita estar cerca de la fuente de descargas.
Prueba SATO	0.1 mV/pC	\$500	Igual que el Electrómetro.
Prueba de Capacitor	0.1 mV/pC	\$500	Igual que el Electrómetro.
Instrumentos científicos		\$\$\$\$\$\$\$\$	Deben estar muy cercanos a la fuente de descargas.

**Notas:**

- \* Entre los instrumentos científicos tales como: Contador Geiger, Detector Cerenkov y Detectores de Estado sólido.
- \* Los precios son aproximados y están dados en dólares y son datos de marzo y abril de 1989.



**TABLA III.- Comparación de Detectores**

DETECTOR	SENSIBILIDAD	TAMAÑO	COMPLEJIDAD DE CIRCUITERIA	TIEMPO DE RESPUESTA		SENSIBILIDAD A		DETECCION DIRECCIONAL
				DETECTOR	SISTEMA	LUZ	PRESION	
Celda solares	Suficiente	Pequeño	Muy simple	Instantáneo	Instantáneo	SI	NO	SI
Fotomultiplicador	Excelente	Grande	Complejo	Instantáneo	Instantáneo	SI	SI	SI
Cámara de T.V.	Bueno	Grande	Complejo	Instantáneo	Instantáneo	Posible	SI	SI
Cámara Fija	Bueno	Grande	Muy simple	Muy grande	Muy grande	SI	NO	SI
Detectores de Estado Sólido	Bueno	Mediano	Simple	Instantáneo	Instantáneo	SI	NO	Moderada
Acelerometro	Muy pobre	Pequeño	Muy simple	Instantáneo	Instantáneo	NO	NO	SI
Ultrasonido	Justo a excelente	Grande	Complejo	Corto	Corto	NO	NO	SI
Espectrometro de masa	Excelente	Grande	Complejo	Corto	Instantáneo	NO	NO	SI
Resistencias en serie	Excelente	Pequeño	Complejo	Instantáneo	Instantáneo	NO	NO	SI
Capacitor de acople	Excelente	Pequeño	Simple	Instantáneo	Instantáneo	NO	NO	SI
Bobina de RF	Excelente	Pequeño	Muy simple	Instantáneo	Instantáneo	NO	NO	SI
Medidor de RF	Excelente	Pequeño	Complejo	Instantáneo	Instantáneo	NO	NO	SI
Antena de lazo	Excelente	Medio	Simple	Instantáneo	Instantáneo	NO	NO	Moderada
Antena derivativa monopolo	Excelente	Medio	Simple	Instantáneo	Instantáneo	NO	NO	Moderada
Electrometro	Bueno	Medio	Simple	Instantáneo	Instantáneo	NO	NO	Moderada
Prueba Sato	Bueno	Medio	Simple	Instantáneo	Instantáneo	NO	NO	Moderada
Rueda de capacitor	Bueno	Medio	Simple	Instantáneo	Instantáneo	NO	NO	Moderada
Contador Geiger	Justo	Medio	Complejo	Instantáneo	Instantáneo	NO	NO	SI
Plato Curvo	Bueno	Muy grande	Muy complejo	Instantáneo	Instantáneo	NO	NO	SI
Detector Cerenkov	Bueno	Muy grande	Muy complejo	Instantáneo	Instantáneo	SI	SI	SI

Las técnicas más antiguas de medición comúnmente referidas como voltajes de radiointerferencia o voltaje de radioinfluencia y sus valores, eran típicamente registradas en voltmetros analógicos en microvolts. Como equipo más avanzado tenemos los osciloscopios, graficadores X-Y, los equipos para localización y los circuitos puente que expresan descargas parciales en términos de pC (picoCoulombs) y esto aparece establecido en varios documentos de normas como: ICE, IEEE, ISA.

Al mismo tiempo ha habido gran progreso en desarrollo del equipo en áreas tales como la selección de banda de frecuencia, calibración, discriminación de pulsos, de manera que se pueda usar el equipo en ambientes eléctricamente ruidosos.

## **2.5 Tipos de Equipos y sus Comparaciones**

### *Tipo 1*

Las normas NEMA Y CSA se refieren al equipo de medición de ruido de radio en el rango de frecuencia de 150KHz a 400MHz.

El equipo tipo 1 es típicamente disponible con una respuesta de 50KHz a 30MHz lo cual cubre la frecuencia de 1MHz a la que se refieren algunas especificaciones, éste equipo generalmente tiene un medidor analógico y un ajuste manual de frecuencia.

### *Tipo 2*

Con un ancho de banda de 40 a 200 KHz y un osciloscopio capaz de desplegar en forma de elipse y una salida a un graficador X-Y así como un circuito puente como opción para supresión de interferencia.

### *Tipo 3*

Tiene un ancho de banda seleccionable de 50 a 500 KHz, con osciloscopio para despliegue de elipse, salida para un graficador X-Y y una opción de circuito puente para la cuestión de interferencia. Cuenta básicamente con 3 bandas la primera de 50 a 80 KHz, la segunda de 135 a 165 KHz y la tercera de 40 a 400 KHz.

### *Tipo 4*

Es el mismo que el anterior pero además tiene opción de localización de descargas y tiene la opción de cinco bandas de frecuencia disponibles.

### *Tipo 5*

Tiene un ancho de banda de 50 a 250 KHz con una selección de doce acoplamientos o cajas que cubren todo el rango desde 6 hasta 250pF, también está equipado con un osciloscopio para el despliegue elíptico.

### *Tipo 6*

Es un equipo capaz de medir descargas parciales en pC y en mv.

En el momento de seleccionar el equipo se asume que se está dando importancia a la consideración de para que aplicación se va a usar el equipo; por ejemplo si es una prueba en cables o en capacitores o en transformadores, que niveles de sensibilidad se requiere, las opciones disponibles en cuanto a la localización de descargas, despliegue de la elipse en el osciloscopio y también la calibración asociada que se requiere para la corrección de la medición.

## **2.6 Avances Dentro de las Técnicas de Medición.**

En septiembre de 1990 se reunieron en Milán, Italia especialistas en el campo para el "Coloquio en Mediciones de Descargas Parciales".

Dentro de este coloquio se presentó un reporte conteniendo las técnicas más recientes en cuanto a medición de descargas parciales.

Este reporte describe tres técnicas en desarrollo en el "National Institute of Standard and Technology (NIST) para medir las propiedades de las descargas parciales. Estas mediciones son útiles para proporcionar nuevas ideas acerca de los mecanismos que controlan o influyen el comportamiento de las descargas parciales en cables.

La primera técnica se relaciona con un avanzado sistema de medición de descargas parciales en tiempo real que permite una completa caracterización de las propiedades aleatorias de las descargas parciales.

Con este sistema es posible medir un conjunto de distribuciones de amplitud y separación en tiempo de los pulsos, a partir de los cuales los efectos de memoria característicos del fenómeno de descarga pueden ser interpretados y cuantificados.

La segunda técnica permite la localización de descargas parciales en cables, utilizando los reflejos de los pulsos de descarga en el tiempo con un análisis estadístico apropiado.

Con la tercera técnica, pueden efectuarse mediciones simultáneas de las características ópticas y eléctricas de las descargas parciales en dieléctricos líquidos usando fotografía rápida combinada con mediciones de pulsos de corriente de banda ancha y bajo ruido.

Este método proporciona una descripción detallada del desarrollo en tiempo y espacio de las descargas parciales en configuraciones de campo altamente no uniforme.

## **Capítulo III**

### **Patrones de Presentación de Descargas Parciales**

En los capítulos anteriores se han tratado los conceptos básicos del fenómeno de descargas parciales, como los tipos de medición existentes y sus antecedentes históricos. El presente capítulo tiene como objetivo describir algunas generalidades de la medición y la interpretación de sus resultados a nivel de oscilograma.

Al hablar de la prueba como tal, cabe aclarar que existirán algunas variaciones dependiendo del equipo que se someta como muestra, es decir, no es lo mismo ejecutar la prueba en cables que en transformadores o capacitores. Dichas variantes están normalizadas por especificaciones que tratan cada tipo de equipo y se comentarán en el siguiente capítulo.

A continuación se presenta una descripción general de la prueba y del análisis de los resultados.

### **3.1 Generalidades de la Prueba**

Para cables la medición de Descargas Parciales debe efectuarse antes de la realización de las pruebas finales en A.C. o D.C. o de cualquier aplicación de voltaje. En el caso de transformadores la prueba se realiza antes y después de efectuar las pruebas de aplicación de voltaje.

Lo anterior se debe a que la polarización de las paredes de la oclusión evita la ionización a través de la cual se producen las descargas parciales.

Por tanto, de suceder esto, el equipo no podría detectar la presencia de oclusiones gaseosas potencialmente peligrosas para el aislamiento.

De igual manera y para evitar los efectos descritos anteriormente, la medición de descargas parciales debe efectuarse en máximo 3 minutos comprendiéndose desde que empieza a aplicarse el voltaje de prueba, hasta que se reduce a cero.

#### **3.1.1 La manera de realizar la prueba es la siguiente:**

Una vez energizado el equipo y efectuada la calibración del detector de descargas parciales, se conecta el equipo a probar teniendo las precauciones necesarias ruido ambiente o eléctrico.

Algunas precauciones son:

1. Asegurar firmemente las conexiones a tierra.
2. Evitar la presencia de cualquier elemento que pueda funcionar como antena para captar interferencia.
3. Asegurar las conexiones de equipo de alta tensión, etc.

A continuación se aplica el voltaje de prueba, el cual debe ser sinusoidal, con una frecuencia entre 49 y 61 Hz. El voltaje debe elevarse hasta un valor que sea por lo menos 20% mayor que el mismo especificado como nivel de extinción de descargas parciales, pero que no exceda el valor para la prueba de alta tensión C.A., con el fin de no someter al aislamiento a esfuerzos eléctricos innecesarios.

Una vez alcanzado el nivel de voltaje de prueba, se conecta el graficador y se inicia el descenso de la tensión para determinar el nivel de extinción de descargas parciales. Se conoce como nivel de extinción de descargas parciales a aquel nivel de tensión al cual el valor de las descargas disminuye a 5pC o menos.

La magnitud de las descargas y su patrón de presentación pueden observarse en el osciloscopio.

Es importante hacer notar que no necesariamente se presentarán descargas parciales al hacer la prueba, sin embargo y hablando de manera general una descarga superior a 5pC al nivel de voltaje de extinción indicará la presencia de zonas de ionización peligrosas en el aislamiento.

### **3.2 Generalidades del Equipo de Medición**

Sea cual sea el sistema de medición eléctrico seleccionado (lineal o puente) cada uno de sus componentes (transformador, regulador, capacitores de acoplamiento, etc.) deben ser libres de descargas parciales tanto por sus mecanismos de contacto como por su forma externa (redondeados, sin puntas o tornillos de conexión salientes).

Así mismo, debido a altas tensiones de prueba y a que los diferentes equipos a probar representan cargas muy distintas, frecuentemente los transformadores de potencia son del tipo resonante para dar flexibilidad a las pruebas.

El equipo debe contar como mínimo con un medidor de voltaje RMS, uno de magnitud de descargas en pC, un osciloscopio y un graficador.

La exactitud total del equipo incluyendo el dispositivo de medición de voltaje usado, debe ser tal que el error de medición no exceda el 5%; errores mayores pueden ser corregidos por medio de una curva de calibración.

El nivel máximo de ruido que debe tener en conjunto el equipo debe ser igual ó menor a 2 pC. Esto puede conseguirse con la selección de equipos comerciales con circuitos eliminadores de ruido o bien con la ayuda de una jaula de Faraday.

### 3.3 Patrones de descargas parciales, su evaluación y la determinación de su origen

A través de este resumen se pretende mostrar una serie de patrones de descargas parciales para ayudar a la interpretación de resultados, así como para discriminar con exactitud las verdaderas descargas parciales dentro de una estructura de aislamientos de otras señales de interferencia conducción no deseadas.

El detector de descarga de Banda Ancha produce un despliegue basado en una onda senosoidal como se muestra en la figura 3.1, el mismo display cuando se muestra en una forma elíptica aparece en la figura 3.2.

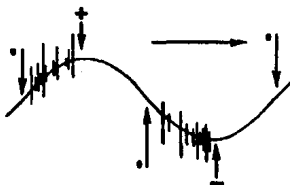


Figura 3.1

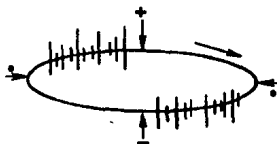


Figura 3.2

Es muy conveniente usar un display elíptico, como se explicará más tarde, de cualquier manera es muy importante localizar los picos de voltaje en posiciones de cero en este trazo. Esto puede ser conseguido en algunos detectores por medio de luz o de marcadores de cero como se muestra en la figura 3.3.

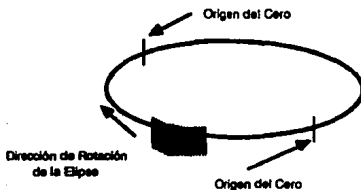


Figura 3.3

De manera alternativa una espiga debe ser deliberadamente conectada a la terminal de alto voltaje, posicionada de manera que descargue en el aire circundante. Cuando el voltaje de inyección de corona se alcanza el efecto se

desplegara distribuido cerca del pico de voltaje negativo como se muestra en la figura siguiente. Una vez que esto esta establecido el voltaje puede ser disminuido y el pico retirado, el pico de voltaje positivo estara exactamente a  $180^\circ$  opuesto al pico negativo que hemos localizado en la figura 3.4.



Figura 3.4

### 3.4 Diagnóstico del origen de la descarga

El reconocimiento de la fuente de descargas parciales no es posible frecuentemente con la simple observación del display, el diagnóstico debe ser hecho al tiempo de la prueba no después. En la realización del diagnóstico los patrones de descarga deben ser primero registrados prestando atención directa a los efectos del tiempo y el voltaje, después de lo cual otra acción debe ser considerada como apropiada; tal como reemplazar la muestra bajo prueba por otra, etc.

### 3.5 Casos de descarga parciales

#### 3.5.1 CASO I

Descargas internas en una cavidad sólida. El patrón que se muestra en la figura 3.5 y 3.6 es típico de burbujas en material laminado sólido y en algunos componentes.

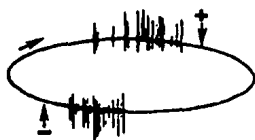


Figura 3.5

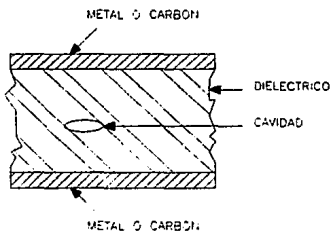


Figura 3.6



Las descargas ocurren un poco antes de los picos de voltaje en ambas mitades positiva y negativa de la forma de onda. Las descargas son de la misma amplitud y del mismo número en ambos lados de la elipse. Sin embargo las diferencias de 3 a 1 en magnitud de un lado del display al otro son normales. Es común notar un grado de variación aleatoria en la amplitud o en la localización con el tiempo.

El voltaje de inyección está bien definido y claramente por encima de la descarga mínima detectable; hay una pequeña o ninguna variación en la descarga cuando se incrementa el voltaje.

El voltaje de extinción de descarga es igual o un poco menor al voltaje de inyección de descargas. El tiempo de aplicación de voltaje usualmente tiene poco efecto en el patrón de descarga desplegado en una prueba, esto siempre hasta que sea de 10 minutos de duración. Si a un voltaje más elevado ocurre un segundo despliegue esto puede indicar la presencia de una segunda cavidad.

### 3.5.2 CASO II

Descargas internas en fisuras de aislamientos elastoméricos en la dirección del campo eléctrico. También ocurren en cavidades redondeadas en aislamientos termoplásticos que tengan inhibidores o plastificadores en ciertos elastómeros. Las descargas ocurren un poco antes de los picos de voltaje y son frecuentemente similares en número y en magnitud, a pesar que diferencias de 3 a 1 son normales.

Hay una pequeña o ninguna variación en la magnitud con el incremento o decremento rápido de voltaje y el fenómeno aparece de manera similar que el caso I. El efecto del tiempo de aplicación es de cualquier manera bastante diferente.

Si el nivel de voltaje otra vez se vuelve a elevar a un nivel máximo y se mantiene de 20 a 24 hrs. la magnitud de la descarga puede caer todavía más y el voltaje de extinción puede ser todavía más alto que antes. Esto lo podemos observar en las figuras 3.7 y 3.8.



Figura 3.9

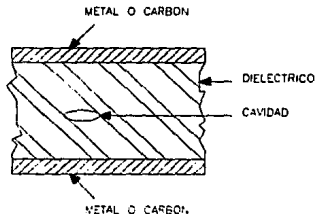


Figura 3.8

### 3.5.3 CASO III

Este caso puede ser indicativo de cualquiera de tres casos típicos:

3.5.3.1.- Cuando hay una serie de descargas internas en un número de cavidades de diferentes tamaños y formas dentro de un dieléctrico.

3.5.3.2.- Cuando las descargas son en superficies dieléctricas externas entre dos elementos conductores que se tocan como se muestra en la figura 3.9.

3.5.3.3.- Cuando son descargas en una superficie dieléctrica externa, en áreas de alto esfuerzo tangencial, éste es típico de escobillas mal diseñadas que resultan en con sobreesfuerzos.

Las descargas son normalmente de la misma magnitud en ambos picos de voltaje y están localizados poco antes de ambos picos. Diferencias en magnitud de 3 a 1 pueden ser vistas en ambos ciclos. El número de las descargas se incrementa cuando se incrementa el voltaje de prueba, las descargas pueden tener niveles distintos de inyección teniendo una magnitud en la inyección normalmente por encima del mínimo detectable. El nivel de extinción, es igual o ligeramente menor al nivel de inyección. El tiempo de aplicación de voltaje cuando menos hasta cerca de los 10 minutos tiene poco efecto en el despliegue de descargas como se muestra en las figuras 3.9 y 3.10.



Figura 3.9

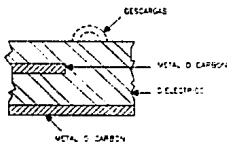
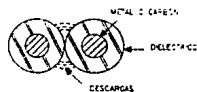
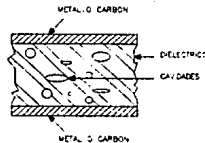


Figura 3.10

### 3.5.4 CASO IV

Burbujas en los sistemas de aislamiento de resinas son frecuentemente producto de procesamientos defectuosos. La formación de productos eléctricamente conductores puede resultar de la acción de las descargas o las resinas en estos sitios.

Las descargas ocurren un poco antes de los picos de voltaje y normalmente son iguales en ambas mitades de la forma de onda. En la inyección se tiene resolución pero rápidamente puede perderse cuando se incrementa el voltaje. El voltaje de inyección está normalmente bien definido, si el voltaje se mantiene a un nivel máximo de la magnitud de las descargas, gradualmente se decrementa; la extinción y los voltajes de reinyección serán mucho más altos que el original, después de dejar reposar un periodo sustancial de tiempo se pueden tener nuevamente restauradas las características iniciales. Figuras 3.11 y 3.12.



Figura 3.11

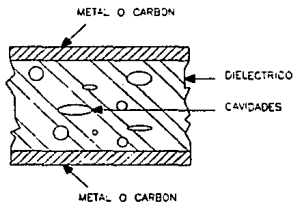


Figura 3.12

### 3.5.5 CASO V

Lo que se observa en este caso, puede ser típicamente debida a descargas en cavidades laminares como se encuentran en un sistema de aislamiento que contenga mica o algún otro material laminado.

Las descargas ocurren un poco antes de los picos de voltaje, las magnitudes frecuentemente son similares en ambos ciclos. Se tiene resolución en la inyección aunque se pierde con rapidez con el incremento de voltaje.

Con sensibilidad inadecuada las descargas parecerán crecer por encima del ruido, si el voltaje se mantiene en un nivel máximo, la descarga se incrementa gradualmente hasta que se hace estable después de 10 minutos. El voltaje de extinción es entonces mucho más bajo que el nivel original de inyección. Figuras 3.13 y 3.14.



Figura 3.13

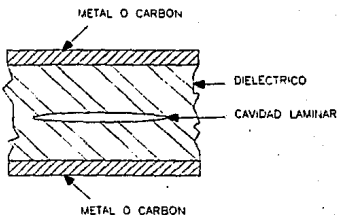


Figura 3.14

### 3.5.6 CASO VI

Las descargas parciales pueden tener lugar en burbujas de gas en un aislamiento líquido en contacto con celulosa húmeda (papel impregnado con aceite por ejemplo), como en el caso de los capacitores. Las burbujas son generadas por la acción del esfuerzo eléctrico en la celulosa húmeda, las burbujas incrementan su tamaño y número bajo la acción de las descargas pero se disuelven en el líquido y desaparecen al quitar la tensión un periodo de tiempo.

Las descargas son de la misma magnitud en cada mitad del ciclo y se presentan un poco antes de los picos de voltaje, puede haber alguna variación aleatoria en la magnitud y la localización de las descargas en la forma de onda de prueba.

La respuesta tiene resolución en la inyección pero sí se permite que las descargas crezcan la respuesta pierde rápidamente la resolución. Hay un nivel de inyección bien definido con un crecimiento en la magnitud de la descarga al incrementarse el voltaje. La extinción estará un poco por debajo del nivel de inyección.

Sí el voltaje se mantiene por encima del nivel de inyección, la magnitud de las descargas parciales se incrementa en pocos minutos por cientos de veces o más, con la extinción y la reinyección cerca de tres veces menores a los valores originales. Permitiendo al aislamiento reposar el resto del día, se pueden volver a conseguir los mismos altos niveles de voltaje de inyección. (Ver figuras 3.15 y 3.16)



Figura 3.15

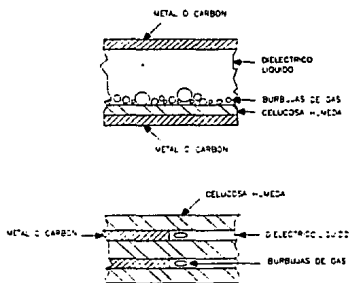


Figura 3.16

### 3.5.7 CASO VII

Este despliegue se observa cuando existe una cavidad entre carbón y metal de un lado y un material dieléctrico del otro lado.

El fenómeno de la descarga se presenta poco antes de los picos de voltaje y es asimétrico, por ejemplo, magnitudes y números de descargas diferentes en ambas mitades de los ciclos, usualmente en proporción de 3 a 1, pero es necesario aproximadamente 10 a 1 para distinguir claramente esto en el caso I, previamente descrito. Si el display es como se muestra en la figura 3.17, con un pequeño número de descargas alargadas para el pico negativo, el hueco está usualmente localizado en una posición donde la cara metálica está aterrizada y la otra cara es dieléctrica como se muestra en la figura 3.18.



Figura 3.17

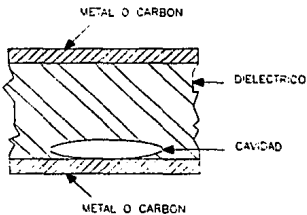


Figura 3.18

Si este modelo está invertido, la indicación es que la cara metálica tiene un alto potencial y la otra cara es dieléctrica.

El voltaje de aparición está bien definido y la magnitud restante permanece inalterada mientras el voltaje de prueba se incrementa. El tiempo de aplicación (más de 10 min.) tiene un pequeño efecto en el display.

### 3.5.8 CASO VIII

El display que se discute aquí es un buen ejemplo de las descargas parciales que ocurren en las cavidades de varios tamaños existentes entre un metal y un dieléctrico. El display frecuentemente aparece con una buena resolución que se pierde al incrementar el voltaje.

Una fuente alterna de este tipo de descargas pueden ser descargas superficiales existentes entre superficies metálicas externas y dieléctricas.

La descripción del efecto de voltaje y tiempo es similar al caso VII. La inyección está bien definida, con diferencias de magnitud en cada medio ciclo de 10 a 1.

La magnitud se incrementa lentamente al incrementar el voltaje; el voltaje de extinción es usualmente un poco menor que el de inyección. El tiempo de aplicación de voltaje (10 minutos) tiene poco efecto. Figuras 3.19 y 3.20.

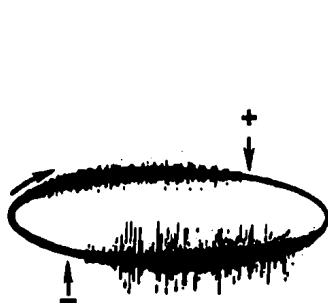


Figura 3.19

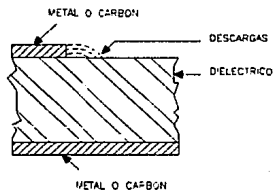
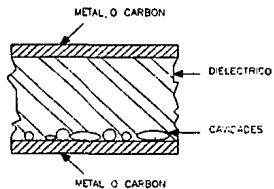


Figura 3.20

### 3.5.9 CASO IX

Este es un caso poco usual y puede ser confuso hasta que se diagnostique la fuente de origen como se explicará más adelante.

Existen dos causas comunes, la primera puede ser debida a un gas de aire entre un conductor metálico a una pantalla, por ejemplo como en una conexión floja como se puede observar en la figura 3.21a.

También puede deberse a la presencia del gas de aire entre dos objetos metálicos independientes a través de los cuales se produce un voltaje por inducción electrostática del circuito de prueba tal como podría ser objetos metálicos no aterrizados que se encuentran en la zona de prueba.

Para voltajes de prueba mayores de 30KV es esencial que la zona de pruebas esté limpia y que los objetos que no pueden moverse estén bien aterrizados. Esta es una práctica que debe convertirse en hábito antes de realizar cualquier prueba de descargas parciales.

Descargas de la misma magnitud y número ocurren en ambas mitades del ciclo y antes de los picos de voltaje. Conforme se incrementa el voltaje, los pulsos de descargas cubren una porción cada vez mayor de la forma de onda. La inyección de la descarga está bien definida por encima del nivel de ruido sin que cambie su magnitud al incrementarse el voltaje. El nivel de extinción coincide con el de inyección y la respuesta no se ve afectada por el tiempo de aplicación de voltaje. Figuras 3.21 y 3.22.

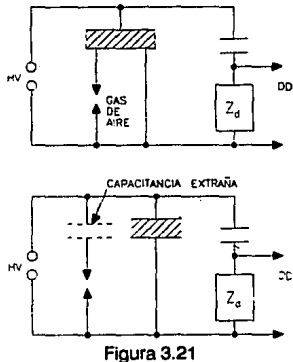


Figura 3.21

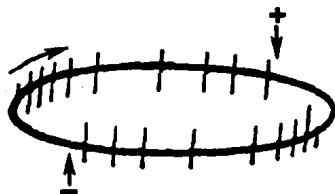


Figura 3.22

### 3.5.10 CASO X

Crecimiento activo de una trayectoria de carbonización debida al sobrecalentamiento de materiales orgánicos, como se muestra en la figura 3.23.

Las descargas se localizan de manera simétrica alrededor de ambos picos de voltaje, o bien pueden apreciarse como se muestran en la figura 3.24.

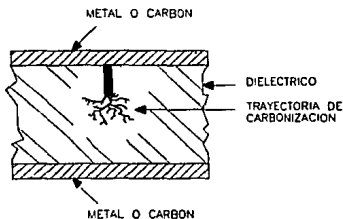


Figura 3.23

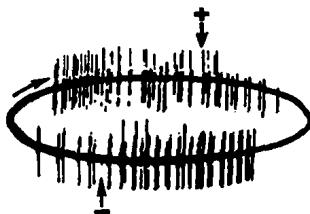


Figura 3.24

La localización y magnitud de las descargas a veces puede ser errática. El patrón puede tener resolución a voltajes bajos de prueba la cual se perderá rápidamente al incrementar el voltaje.

El voltaje de inyección es variable, con un nivel de extinción por debajo del de inyección. La magnitud se incrementa rápidamente con el voltaje, cambios grandes e irrepitible en magnitud pueden ocurrir particularmente a muy altos voltajes.

Sí el display aparece como en la figura 3.24 la magnitud permanecerá estable por algunos minutos o algo más. Sí el display aparece como en la figura 3.25, el patrón será errático con cambios de magnitud substanciales y rápidos en pocos minutos.



Figura 3.25



### 3.5.11 CASO XI

En el aislamiento orgánico contaminado, la presencia de descargas parciales originadas en una cavidad, que degeneraron en una trayectoria sin crecimiento activo como muestra la figura 3.27, resultará en un display como el que se muestra en la figura 3.26.

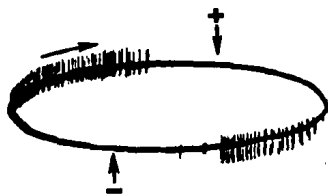


Figura 3.26

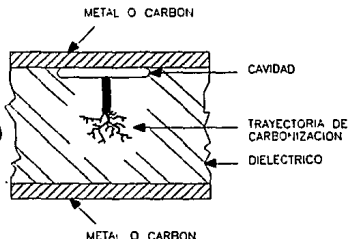


Figura 3.27

Las descargas son de la misma magnitud en ambas mitades del ciclo. Al incrementar el voltaje el patrón aparece sobre mayor parte de la forma de onda, pero con pequeños cambios en magnitud. La respuesta no es afectada por el tiempo de aplicación de voltaje.

### 3.6 Ejemplos de Muestras que presentaron Fallas

3.6.1.- La figura 3.28 muestra un ejemplo práctico del caso IV y se encontró su origen en una trayectoria en la superficie de las escobillas como se muestra. La magnitud era de 500pC, el patrón es estable y con resolución.

3.6.2.- El display que se muestra en la figura 3.29 tuvo como origen un circuito abierto en una derivación de escobillas que se había comenzado a erosionar, como muestra la figura 3.30. La magnitud era de 10,000pC con alta oscilación.

3.6.3.- El display asimétrico de la figura 3.31 llevó al descubrimiento de pequeños chisporroteos (pequeñas porciones) de aislamiento orgánico sobrecalentado como muestra la figura 3.32. La magnitud era de 500pC y el patrón era estable y con resolución.

3.6.4.- El chisporroteo de un núcleo de acero no aterrizado en el aceite que lo circundaba dentro de un transformador, resultó el display que se muestra en la figura 3.33.

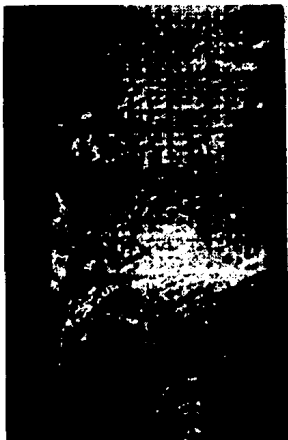


Figura 3.28



Figura 3.30



Figura 3.29

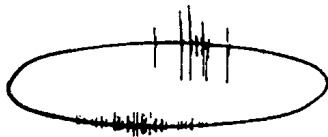


Figura 3.31



Figura 3.32

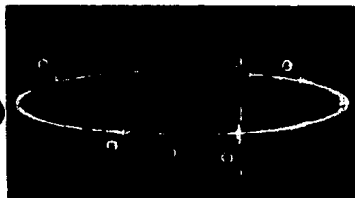


Figura 3.33

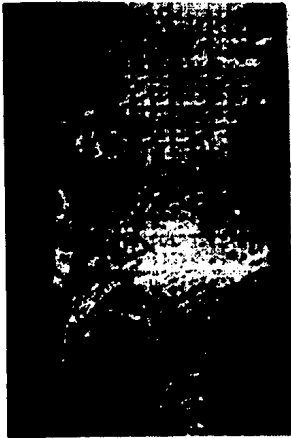


Figura 3.28



Figura 3.30



Figura 3.29

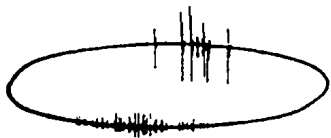


Figura 3.31



Figura 3.32

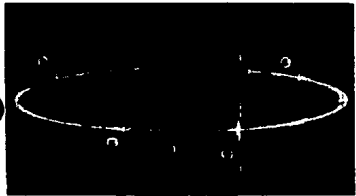


Figura 3.33

3.6.5.- Metal no aterrizado en un fuerte campo eléctrico, descarga en el aceite circundante resultando el patrón que se muestra en la figura 3.34. La magnitud fue de 4,800pC

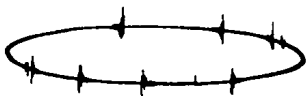


Figura 3.34

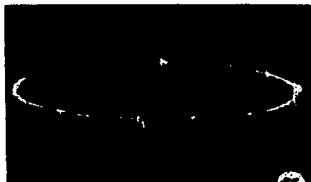


Figura 3.35

3.6.6.- El ejemplo de la figura 3.35 es una flecha de metal no aterrizada que se utilizaba para mover un mecanismo de cambio de derivación dentro de aceite. La magnitud medida fue de 7,200pC y al aterrizarse apropiadamente se redujo el nivel hasta el de ruido de fondo.

3.6.7.- Este último ejemplo es de movimiento mecánico de un electrodo bajo la influencia de un campo eléctrico, tal como en el caso de hojas metálicas en capacitores defectuosos. El display observado se muestra en las figuras 3.36 y 3.37.

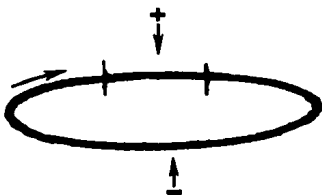


Figura 3.36

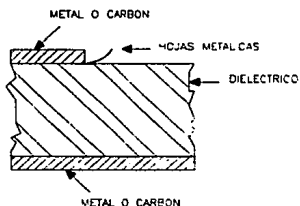


Figura 3.37

### 3.7 Patrones de Interferencia

Desafortunadamente en adición a las descargas parciales que se pueden observar, que nos pueden indicar debilidades estructurales, puede estar presente una interferencia generada que puede ser localizada y suprimida o eliminada.

Los siguiente ejemplos pueden ser de ayuda en este diagnóstico.

3.7.1.-"Ruido de contacto" debido a contactos imperfectosopantallas semiconductoras en cables. Otras causas pueden ser dentro de capacitores donde se usan insertos metálicos para hacer contactos con la hoja. En algunos casos dicho ruido puede eliminarse cargando el sistema para luego coticircuitarlo, lo cual soldará el contacto.

El display resultante está frecuentemente centrado cerca de los ceros de voltaje (ó máxima corriente) de la forma de onda como se muestra en la figura 3.38, la cual es típica de un problema de contacto. Al incrementar el voltaje se cubrirá una zona mayor el display. El despliegue será grueso y la respuesta puede desaparecer completamente a un nivel particular de voltaje y permanecer ausente para los voltajes por encima de ese nivel. Esto puede deberse a que los voltajes repentinamente se "funden" a cierto nivel de voltaje.



Figura 3.38

3.7.2.- Este ejemplo es indicativo de interferencia por armónicas. La fuente podría ser la saturación magnética del núcleo de acero de un transformador o reactor que operen a muy alta densidad de flujo en el circuito de prueba : transformador de prueba, transformador de aislamiento, regulador, reactor en serie, filtro, transformador de acoplamiento al detector de descargas parciales, etc.

También puede deberse a una acentuación de las armónicas causada por resonancia con la carga capacitiva o incluso por atenuación inadecuada provista por el detector de descargas hacia frecuencias por debajo del límite inferior del pasabandas.

Esta respuesta es como se muestra en la figura 3.39, con oscilaciones de baja frecuencia localizadas en los picos de voltaje.

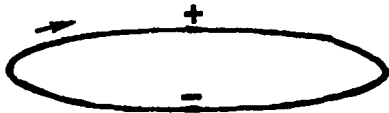


Figura 3.39

La respuesta crece con el voltaje y está ausente cuando éste se retira. El display es estable, reproducible y no se afecta por el tiempo de aplicación de voltaje.

3.7.3.- Este ejemplo es el efecto corona clásico o descarga en aire u otro gas desde un punto agudo con alto voltaje. Como se muestra en la figura 3.40, el patrón está bien definido y uniformemente distribuido alrededor del pico negativo de voltaje.



Figura 3.40

Sí el patrón se invierte, con las descargas alrededor del pico positivo es indicación de un extremo de metal con sobreesfuerzo o un punto potencial de tierra.

Al incrementarse el voltaje se incrementa el número de descargas y se alcanza un nivel suficientemente alto, es posible encontrar las descargas inicialmente alrededor del pico negativo seguidas por una inyección de descargas alrededor del pico positivo.

3.7.4.- Este caso es similar al ejemplo 3.7.3, pero la punta o extremo se encuentra en un líquido aislante en lugar de un medio gaseoso. En este caso el fenómeno se exhibe como se muestra en la figura 3.41. En este caso, las descargas más grandes aparecen primero al ir descendiendo el voltaje, la extinción coincide con la inyección.

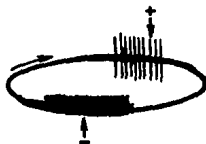


Figura 3.42

La inyección puede tomar unos pocos segundos para estabilizarse a partir de que se establece el voltaje. Después de esto no es afectada por el tiempo de aplicación del voltaje.

Puede haber un cambio en magnitud en el tiempo debido a la erosión causada por las descargas.

3.7.5.- Desafortunadamente estos patrones de interferencia pueden ser muy variados, pero aquí se presentan algunos ejemplos que pueden ser representativos de algunos problemas frecuentemente encontrados.

3.7.5.1. Los pulsos de disparo de rectificadores de arco de mercurio o tiristores pueden producir un alto nivel de interferencia. El patrón típico de un rectificador de arco de mercurio de válvulas se muestra en la figura 3.42. La figura 3.43 muestra el patrón real debido a la acción de tiristores.

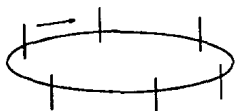


Figura 3.42

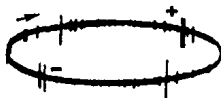


Figura 3.44

3.7.5.2 Lámparas fluorescentes que actúan como fuente de interferencia. Se puede observar el patrón en la figura 3.44.

3.7.5.3 Las máquinas asíncronas pueden causar considerable interferencia como se muestra en la figura 3.45.

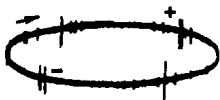


Figura 3.44



Figura 3.45

3.7.6.- Desafortunadamente algunas industrias o laboratorios están localizados cerca de generadores de alta frecuencia de algún tipo y sin que siempre se noten, esto puede crear un alto nivel de interferencia.

3.7.6.1 Recepción de transmisión de radio o radiación proveniente de un amplificador de potencia u oscilador. Figura 3.46

3.7.6.2 Transmisor de radio. Figura 3.47.



Figura 3.46



Figura 3.47

3.7.6.3 El tercero de este tipo puede ser equipo industrial de alta frecuencia, tal como calentadores de inducción y generadores ultrasónicos y puede producir una banda de interferencia como la que se muestra en la figura 3.48.



Figura 3.48

Estos patrones de respuesta no tienen relación con el voltaje aplicado y están presentes con el voltaje en cero. Es posible eliminarlos usando un filtro de sintonía muy fina en el circuito de entrada del detector de descargas o bien con un cuarto con una pantalla de alta calidad (Jaula de Faraday).



## **Capítulo IV**

### **Aspectos Prácticos de la Determinación de Descargas Parciales**

El objetivo de este capítulo es presentar información proporcionada por profesionales relacionados con la prueba de descargas parciales, con el fin de poder tener bases para juzgar la importancia y eficiencia de dicha prueba en la calidad de los equipos que se ven sometidos a ella.

La personas entrevistadas fueron: 41.6% de la industria del cable; un 25% de fabricantes de transformadores, tanto de potencia como de instrumentos; un 16.67% de consumidores de productos sometidos a la prueba; un 8.34% de investigadores, y un 8.34% de fabricantes de capacitores.

Los fabricantes de capacitores aclararon que la prueba de descargas parciales no es una prueba de rutina en este tipo de equipo, debido que al realizarla presenta mucha atenuación por lo que no es significativa. Únicamente se practica en modelos que se encuentran en la etapa de diseño, como una retroalimentación que permite optimizar el diseño. Es por esta razón que en la siguiente exposición no se especifica para capacitores.

Los usuarios de los equipos, así como los investigadores ampliaron con sus respuestas la información obtenida tanto por los fabricantes de cables como por los de transformadores. Esta es la razón por lo que los temas a tratar estarán divididos para estos dos tipos de equipo, complementándolo como ya lo hemos mencionado con las respuestas obtenidas por otros entrevistados.

#### **4.1 Obligatoriedad de la Prueba y Normativa Bajo la cual se realiza .**

##### *Cables.*

La prueba de descargas parciales es obligatoria para todos los cables de media y alta tensión de aislamiento sólido con pantalla metálica para 5KV o más. Sobre sistemas de cable y accesorios (empalmes y terminales) se realiza también de manera obligatoria para calificar los materiales y la técnica de aplicación de los accesorios.

Desde los años 60's se comenzó a hablar de este fenómeno, conociendo entonces la prueba como Nivel de Corona. En 1970 se hace obligatoria la prueba. En 1977 el fenómeno comenzó a recibir el nombre de descargas parciales.

Las primeras normas que hacían referencia a la prueba de descargas parciales fueron la IPCEA (ahora ICEA) y eran solicitadas por clientes como Comisión Federal de Electricidad (CFE) y Compañía de Luz y Fuerza del Centro (CLFC).

Actualmente las principales normas aplicables a la medición de descargas parciales en cables son las siguientes:

AIEC CS5,6 Y 7 (Association of Edison Illuminating Companies)

ICEA (Insulated Cable Engineers Association)

T-25-425

S-66-524

S-68-516

NOM-J-142 (Norma Oficial Mexicana)

Cabe aclarar que la ICEA-T-25-425, hace referencia a equipo para realizar la prueba mientras que las normas restantes se enfocan sobre el producto e incluyen métodos de prueba.

### *Transformadores*

De acuerdo con la información proporcionada, la prueba comenzó a realizarse en algunas empresas entre 1969 y 1979, debido básicamente a que constituía un requisito del cliente sin que existiera una especificación comúnmente aceptada.

En el caso de los transformadores de instrumentos en 1970 aparece una norma IEC (Comité Eléctrico Internacional), en que se describían métodos de medición pero sin especificar límites aceptables de descargas parciales. En 1980, otra especificación IEC menciona por primera vez los límites considerados como aceptables.

Sin embargo, el requisito normalizado continuó siendo menos estricto que los límites exigidos por los clientes y fue hasta 1987 en que ambos requisitos concordaron y se considero a la prueba como obligatoria.

Actualmente la prueba se considera obligatoria y de rutina para transformadores de potencia de tensiones nominales superiores a 115KV, asimismo es obligatoria para transformadores de instrumento de 15KV y mayores.

En algunas empresas esta prueba se realiza con criterios más estrictos que los de la norma, esto se debe básicamente al interés por mejorar y asegurar la calidad de sus productos. Sin embargo como se requiere de un equipo especial de alto costo, pocas son las empresas en las que se aplica esta política.

Las normas que se usan para transformadores son:

Para transformadores de potencia ANSI IEE C-5571290

Para transformadores de instrumento CEI publicación 270 subcláusula 4.2.

## **4.2 Datos Obtenidos en la Realización de la Prueba de Descargas Parciales y su Impacto en la mejora de Equipos.**

### *Cables.*

Esta prueba es un indicador de la integridad del aislamiento y de la calidad de los materiales y el proceso de fabricación. La ausencia de descargas parciales indica que el sistema de aislamiento del cable está libre de burbujas, imperfecciones, contaminaciones y daños mecánicos.

Los datos proporcionados por esta prueba han apoyado en la obtención de materiales con mejores características de pureza, compatibilidad, procesabilidad y tersura en las interfases. De igual manera es en este campo donde los procesos de fabricación han evolucionado más significativamente con el fin de evitar defectos que provoquen descargas parciales.

Los cambios efectuados tienen por objetivo principal mejorar la calidad del producto así como la eficiencia de operación del mismo.

Las normas han seguido este ritmo exigiendo niveles cada vez más bajos de descargas, mejores equipos e instalaciones para realizar la prueba.

### *Transformadores.*

Al igual que en cables la prueba aporta datos sobre la integridad del aislamiento; sin embargo este aislamiento es en realidad un conjunto complejo de aislamientos. En un transformador encontramos aceite, cartón y papel impregnado, resinas, boquillas, etc. La forma de evitar niveles perjudiciales de descargas parciales es cuidar cada uno de los aislamientos que intervienen en el sistema medido. Los fabricantes de transformadores de potencia, por ejemplo, aseguran niveles adecuados de descargas parciales exigiendo a sus proveedores de partes del equipo que intervienen en el sistema de aislamiento que presenten dentro del protocolo de pruebas de sus productos la prueba de descargas parciales.

La prueba en este caso no ha sido tan significativa, como en el caso de cables, para el desarrollo del proceso de fabricación, pero ha sido una valiosa retroalimentación en cuanto a la selección de materiales y diseños de los equipos.

Como ya se menciona en el punto 4.1 la normalización en el caso de transformadores es muy reciente y ha tenido poca atención, por lo cual los cambios que se han efectuado a las normas no han repercutido seriamente en los procesos de fabricación.

### **4.3 Seguimiento a Equipos en Operación e Incidencia de Fallos de Descargas Parciales.**

#### *Cables.*

En México no ha habido seguimiento formal a los cables en operación y a la correlación de las causas de falla, esto se debe a la enorme dificultad que representa la medición de descargas parciales en campo.

Existen factores que obstaculizan la medición en campo, tales como: la ionización atmosférica y los altos niveles de ruido, lo que haría difícil de definir el nivel de descargas y a problemas para conseguir la potencia requerida para el sistema de medición o adecuadas líneas de tierra.

Sin embargo hay equipos resonantes o de baja frecuencia (1Hz) que han permitido la realización de esta prueba en campo.

Cuando un cable ha superado la prueba de descargas parciales, la probabilidad de que falle es remota, debido a que los aislamientos extruidos una vez vulcanizados conservan sus características, salvo que sean dañados mecánicamente o sometidos a sobrecargas importantes.

Además el nivel de descargas parciales aceptable en cables al probarse es sumamente bajo (5 pC) para niveles de voltaje muy superiores a los que el cable operará normalmente.

En caso de que un cable en cuyo aislamiento haya alguna imperfección que provoque la aparición de descargas parciales, sea puesto en operación va a provocar la aparición de una trayectoria de falla hasta que se produzca el corto circuito entre conductor y tierra.

El análisis de estas fallas no permite determinar con seguridad si su origen fueron descargas parciales debidas a imperfecciones en el aislamiento, ya que el corto destruye también las zonas adyacentes a la falla.

En forma general no es fácil decir que el origen de la falla de un cable en operación fue causada por descargas parciales, sin embargo es muy cierto que en el inicio de la degradación de un aislamiento, siempre están presentes las descargas parciales, las cuales pueden ser causadas por envejecimiento natural o acelerado por anomalías en el aislamiento, y al crecer provocar una falla.

#### *Transformadores.*

En el caso de transformadores al igual que en cables no hay un seguimiento formal de los equipos en operación.

Para transformadores de potencia que acreditan satisfactoriamente la prueba y que operan en condiciones adecuadas de operación y mantenimiento es remoto el caso de que presenten descargas parciales, pero se puede decir que independientemente del tiempo de operación, la falla de un transformador depende básicamente de la degradación de su sistema de aislamiento.

Esta cuestión es lógica si se toma en cuenta que el núcleo está formado por acero eléctrico y el conductor por cobre o aluminio mientras que el aislamiento está formado por papel, cartón, aceite, resinas; dado que la temperatura de operación de estos últimos es mucho más baja que la del acero, el cobre o el aluminio, y tomando en cuenta que la operación del transformador y sobretodo si se somete a sobrecargas, produce elevación de temperatura, a la larga, lo primero que se dañan son los aislamientos.

Para los transformadores de instrumento los aislantes con los que se trabaja son básicamente dos: los sólidos y el papel impregnado.

En el caso de los aislamientos sólidos, se trata de resinas epóxicas con algún material catalizador. Si los equipos no superan la prueba de descargas parciales se deshechan totalmente. Este tipo de problemas se puede evitar con una preparación adecuada de las resinas, tratando de que el catalizador (que puede ser mica, cuarzo, etc.) se impregne perfectamente bien para evitar burbujas que puedan ocasionar descargas parciales.

En cuanto al papel-aceite, en caso de no aprobar satisfactoriamente la prueba de descargas parciales, se puede recuperar sometiendo al equipo a presión o calor, aunque éste no asegura 100% la eliminación de burbujas o fallas que ocasionen descargas. Una vez que se realiza un proceso de recuperación se vuelve a someter el equipo a la prueba, si vuelve a presentar niveles que rebasen el límite de medición también se deshecha este equipo.

Una vez que el equipo cumple con niveles satisfactorios de descargas parciales es poco probable que presente fallas a menos que hubiera de que hubiera derrames de aceite por alguna mala transportación o instalación.

Para ambos tipos de transformadores esto va a ser válido en los casos en los que los procesos de fabricación sean estrictamente supervisados y se trabaje con materiales de calidad. De la misma manera se debe contar con un equipo adecuado para la realización de la prueba.

El mencionar lo anterior se debe a que por declaraciones de investigadores y usuarios del equipo se han presentado casos de falla de los transformadores que son ocasionados por problemas de descargas parciales. Los casos más mencionados son los de aislamientos sólidos que presentan problemas de burbujas entre la resina y el catalizador y esto se debe a fallas en el proceso de

fabricación; estos problemas pueden llegar a provocar problemas tan graves como explosiones en el equipo.

#### **4.4 Tendencias y Expectativas de la Prueba de Descargas Parciales .**

##### *Cables.*

Actualmente la prueba es una de las más sofisticadas y confiables que se efectúa para verificar la calidad en cables, ya que se requiere de equipo confiable y de personal perfectamente capacitado que entienda el fenómeno, porque es fácil confundirse al momento de la medición con ruido o descargas ajenas al equipo que se está midiendo.

La normativa que impera en la prueba para cables ya es estricta hoy en día, pero la tendencia es que será revisada y optimizada con el fin de lograr materiales y productos más confiables.

En caso de que las normas sean modificadas en el futuro, los cambios deben basarse en investigaciones profundas que incluyan estudios de campo.

##### *Transformadores.*

Como ya ha sido mencionado hasta ahora la normativa para transformadores no ha sido tan desarrollada como en el caso de cables, como ya se ha explicado es debido a que los transformadores son equipos mucho más complejos que los cables. Además la prueba de descargas parciales, aún cuando es una de las más importantes para verificar la calidad de un transformador, no es tan significativa como en el caso de cables.

Por estas causas podemos decir que los límites aceptables, equipo de prueba, el ancho de banda con el que se realiza la prueba son puntos en los que se debe trabajar para normalizarlos lo más óptimamente posible basándose en investigaciones y experiencia en campo.

Sin embargo este punto se enfrenta a problemas, las normas se hacen en colaboración de fabricantes, consumidores e investigadores y existe un porcentaje elevado de fabricantes que no cuentan ni con el equipo para realizar la prueba ni con los procesos de fabricación óptimos para evitar defectos que originen descargas parciales. Este porcentaje frena el desarrollo de las normas y por ende el de la prueba.

La tendencia actual es dirigirse a un método de medición de banda ancha. En cuanto a los límites fijados como aceptables por la prueba no se cuenta con la experiencia suficiente para determinar si los actuales son los mejores que podría haber.

#### **4.5 Otros Datos Aportados por la Determonación de Descargas Parciales**

Dentro de los avances en el campo de la medición de descargas parciales es el hecho de utilizar la medición de las mismas como una prueba de diagnóstico para máquinas rotatorias eléctricas. Obviamente la prueba se aplica en conjunto con otras, de tal manera que se pueda obtener como resultado el estado en el que se encuentra el equipo.

Los resultados aportan información acerca del estado del sistema de aislamiento, siendo los límites aceptables de entre 50 y 100pC.

Este conjunto de mediciones permite localizar la zona donde se presenta la falla y por ende ofrece la posibilidad de repararla.



## **CONCLUSIONES**

## **CONCLUSIONES**

Existen varios aspectos que son dignos de mencionarse como conclusión de este trabajo:

1. Si bien todos los sistemas de aislamiento después de cierto período en operación se degradan y provocan la aparición de trayectorias de falla debidas a la ionización, la detección en fábrica de niveles de ionización (descargas parciales) superiores a los límites considerados satisfactorios, permite asegurar que el equipo tenga la vida útil para la cual fue diseñado.

2. A pesar de que la determinación de descargas parciales permite identificar defectos en el sistema de aislamiento que desembocarán en una falla del equipo al paso del tiempo, el fenómeno de descargas parciales, así como los instrumentos de detección y los requisitos a superar son poco conocidas. En general, únicamente los fabricantes de equipo eléctrico están familiarizados con la prueba.

De acuerdo con la opinión de algunos expertos, este desconocimiento por parte de algunos usuarios de los equipos eléctricos, ha provocado retrasos en la normalización de la prueba y en el incremento de la exigencia en los niveles de descarga considerados satisfactorios.

3. A pesar de la falta de seguimiento formal al impacto del fenómeno de descargas parciales en la operación y vida útil de los equipos eléctricos, y a la dificultad de efectuar esta medición en campo, los datos aportados por esta prueba han determinado avances tecnológicos muy importantes.

Existen en el mundo diversos centros de investigación que han profundizado en el estudio y medición del fenómeno de descargas parciales, lo cual ha tenido como resultado el desarrollo de equipos de medición muy sofisticados y sensibles y el desarrollo de maquinaria de fabricación y materiales aislantes que permitan obtener equipos eléctricos con mayor expectativa de vida.

Este avance ha sido particularmente notorio en la industria de los cables, en donde se ha conseguido reducir sensiblemente la incidencia de fallas en operación e incrementar la vida útil de los mismos hasta en un 100%.

4. En México la práctica de esta prueba y las mejoras en su realización han estado fuertemente influenciadas por las empresas transnacionales que proporcionan la tecnología de fabricación y prueba, a las empresas mexicanas.

Sin embargo, existen en nuestro país instituciones como IIE (Instituto de Investigaciones Eléctricas) y el Laboratorio de Pruebas de Equipos y Materiales de CFE que cuentan con investigadores altamente capacitados que se esfuerzan por generar trabajos propios.

5. Dado el alto costo de los sistemas eléctricos y la importancia de los servicios que dependen de este suministro, es indispensable asegurar la confiabilidad de los sistemas de aislamiento y una expectativa de vida que resulte económicamente rentable.

La determinación de las descargas parciales ha probado ser un factor importante en la consecución de estos objetivos.

## **BIBLIOGRAFIA**

## BIBLIOGRAFIA

1. Kreuger F.H.  
*Discharge Detection in High Voltage Equipment.*  
A Heywood Book. Temple Press Books LT.  
London 1964.
2. Natrass David A.  
*Partial Discharge Measurement and Interpretation.*  
IEEE Electrical Insulation Magazine.  
Mayo/Junio 1988 - Vol.4, No. 3, Págs. 10-23.
3. Bilodeau, T.M.; FitzPatrick ,G.J.; Sarjeant ,W.J.; Shea J.J.  
*A Critical Evaluation Of Conventional Partial Discharge Measurement Techniques for Discrete Capacitors.*  
IEEE Electrical Insulation Magazine.  
Julio 1987 - Vol.3, No. 4, Págs. 10-17
4. Bilodeau, T.M.; Dunbar, W.G.; Sarjeant, W.J.  
*High-Voltage and Partial Discharge Testing Techniques for Space Power Systems.*  
IEEE Electrical Insulation Magazine.  
Marzo/Abril 1989 - Vol.5, No. 2, Págs. 12-20
5. Méndez Albores Raúl.  
*Análisis de las Técnicas de Medición de Descargas Parciales en Transformadores.*  
Foro de Colaboradores Boletín IIE.  
Enero/Febrero 1988, Págs. 35-47.
6. *The Volta Colloquium of Partial Discharge Measurements.*  
IEEE Transactions on Electrical Insulation.  
Vol.27 No. 1, Febrero de 1992.
7. Avila Molina, R.; Calderón G., F.; Espinosa Hernández J.  
*Técnicas de Medición y Localización de Descargas Parciales en Transformadores con Ayuda de la Computadora Digital.*  
Publicación de Laboratorio de Pruebas de Equipos y Materiales de C.F.E.
8. Raimond Ashton.  
*Descargas Parciales. Nacional de Conductores Eléctricos.*  
Grupo CONDUMEX (Publicación Interna).

**9. Pruebas en Transformadores de Medición.**  
Electrotecnia Baiteau (Publicación Interna)

**10. Wilkens, William D.**  
**Causes for Low Apparent Discharge Characteristics in Medium Voltage Power Cables.**  
Engineering and Operation Division Conference of the Southeastern Electric Exchange.  
1972.

**10. Transformateurs de Mesure (Quatrième partie: Mesure des décharges partielles).**  
Publicación 44-4, Primera Edición.  
Commission Electrotechnique Internationale, Norme de la CEI.  
Gêneve, Suisse 1980.

**11. Guide for Partial-Discharge Test Procedure.**  
Publicación T-24- 380 .  
Insulated Cable Engineers Association, Inc.  
Revisión Diciembre 1980.