



2 Gen. 72

Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE INGENIERIA

**“ Prueba de Descargas Parciales en
Equipo Eléctrico ”**

TESIS PROFESIONAL

Que para obtener el Título de
Ingeniero Mecánico Electricista

presentan

**IRAI S MIRANDA MIRANDA
FRANCISCO VAZQUEZ CORONADO
MANUEL GUERRERO MARTINEZ
GUSTAVO GARCIA GUZMAN
DANTE GONZALEZ LAGUNES**

MEXICO, D. F.

1982



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 esta 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.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

I N D I C E

I. INTRODUCCION GENERAL.

I.1	Antecedentes	1
I.2	Breve reseña historica del estudio de las descargas parciales	4
I.3	Objeto de las descargas parciales en equipo eléctrico	5
I.4	Clasificación de las descargas parciales	6
I.4.1	Descargas parciales internas	8
I.4.2	Características geométricas de las cavidades.	9
I.4.3	Estudios sobre el comportamiento de las descargas parciales.	11
I.4.4	Descargas parciales superficiales.	15
I.5	Proceso físico de una descarga interna	16
I.6	Vida de los aislamientos en equipo eléctrico bajo descargas parciales	20
I.7	Análisis teórico de la energía de las descargas parciales.	24

II. CIRCUITOS ELECTRICOS PARA PRUEBA DE DESCARGAS PARCIALES

II.1	Introducción	29
II.2	Métodos de detección no eléctricos	31
II.3	Métodos de detección eléctricos.	32
II.4	Circuito básico	33
II.4.1	Impedancia resistiva	33
II.4.2	Impedancia inductiva	36
II.5	Circuitos detectores de descargas parciales.	39
II.6	Calibración de los circuitos detectores de descargas parciales	46

III. INTERFERENCIAS

III.1	Introducción.	50
III.2	Tipo de interferencias.	51

III.3	Identificación de interferencias	52
III.4	Formas de penetración de interferencias en las partes fundamentales del circuito de prueba. . .	59
III.5	Medios para optimizar la medición de descargas parciales	64
III.5.1	Precauciones primarias que evitan la interferencia	64
III.5.2	Medios fundamentales que evitan la interferencia en el circuito de prueba	70
IV	PRUEBA DE DESCARGAS PARCIALES A TRANSFORMADORES DE MEDICIÓN.	
IV.1	Introducción	80
IV.2	Equipo de prueba para transformadores de medición.	84
IV.3	Criterio de aceptación del equipo bajo prueba(A.T)	87
IV.4	Procedimiento de prueba.	88
IV.5	Conexiones de los transformadores.	90
IV.6	Pruebas a transformadores de mediana tensión . .	92
IV.7	Pruebas a transformadores de medición de A.T. . .	96
V	PRUEBA DE DESCARGAS PARCIALES A GABLES DE POTENCIA	
V.1	Introducción	105
V.2	Dos circuitos de prueba	107
V.3	Calibración	112
V.4	Normas utilizadas	113
V.5	Resultados	117
VI	PRUEBA DE DESCARGAS PARCIALES A TRANSFORMADORES DE POTENCIA.	
VI.1	Antecedentes	118
VI.2	Métodos de medición de descargas parciales . . .	120
VI.3	Circuito utilizado en la prueba de laboratorio .	122
VI.4	Realización de la prueba	123
VI.5	Resultados de las pruebas a transformadores de potencia	127

VII	PRUEBA DE DESCARGAS PARCIALES A CAPACITORES DE ALTA TENSION.	
VII.1	Antecedentes	134
VII.2	Descargas parciales en capacitores	135
VII.3	Circuito de prueba	139
VIII	PRUEBA DE DESCARGAS PARCIALES A OTROS EQUIPOS.	
VIII.2	Detección de descargas parciales en boquillas	140
VIII.3	Detección de descargas parciales a terminales de cables	143
VIII.4	Detección de descargas parciales en máquinas rotatorias de alta tensión.	143
IX	LOCALIZACION DE DESCARGAS PARCIALES.	
IX.1	Introducción	145
IX.2	Localización por patrones de descargas.	145
IX.3	Localización por eliminación	145
IX.4	Localización por rayos X	146
IX.5	Localización acustica	146
IX.6	Localización por demolición	146
IX.7	Localización por el método de Scanning.	149
X	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	150
	APENDICE "A"	155
	APENDICE "B"	163
	APENDICE "C"	176
	BIBLIOGRAFIA	178

3 . 2 1 1 0 7
TRENDS KOBLENZ

I.1 ANTECEDENTES.-

Aunque ya hace medio siglo que se conocen las Descargas Parciales como causa del deterioro de los aislantes, éste fenómeno había recibido poca atención porque entonces el deterioro era muy lento debido a que los materiales aislantes trabajaban a esfuerzos eléctricos bastante débiles y el diseño y la concepción de los aparatos, eran tales que muy raramente había posibilidades de encontrar estas descargas en un lugar realmente de peligro. Además, en el caso de que las descargas fueran peligrosas efectivamente, éstas aparecían con una magnitud tan fuerte que se podían detectar por los medios clásicos, bien por el oído, o bien por la medición de las pérdidas generadas por ellas (ver apéndice A y página 44).

Un poco antes de la segunda guerra mundial, aparecieron métodos de detección más avanzados, debido a "las perturbaciones radiofónicas", producidas por los eflubios (aire ionizado color azul), descargas e ionizaciones diversas; ellas dieron lugar a las recomendaciones publicadas en 1940, en los Estados Unidos por un Comité de Coordinación de representantes de Edison Electric Institute (EEI), National Electric Manufactures Association (NEMA), y la Radio Manufactures Association (RMA).

El constante desarrollo de materiales dieléctricos o aislantes (madera, papel impregnado, polietileno, resinas, porcelana, aceites, etc.) creó problemas de homogeneidad, tales como la posible existencia de pequeñas cavidades (burbujas en el aislamiento). Dichas cavidades (ver fig. 1.1) no dan lugar a pérdidas apreciables y fácilmente medibles (del orden de microjoules), sin embargo con el paso del tiempo conducen a la degradación (envejecimiento)-

paulatina de dichos aislamientos, los defectos al detectarse y eliminarse disminuyen la probabilidad de una falla mayor en el equipo eléctrico, garantizándose la continuidad del servicio y evitando así las pérdidas económicas que ocasionaría; sólo un buen método permite la medición de éstas pequeñas descargas y a dado lugar al estudio y desarrollo de los diversos aparatos actualmente utilizados; éstos métodos de medición perfeccionan, permitiendo el control de las cualidades de tratamiento a que son sometidos los aislamientos para poder utilizar al máximo sus propiedades dieléctricas; ésto es, aumentar su calidad y contribuir al aumento de la potencia útil por unidad de volumen en todo el equipo eléctrico de alta tensión como son transformadores de potencia y de instrumentación, capacitores, cables, etc.; este constante desarrollo a dado la necesidad de crear nuevas técnicas de prueba para evaluar dichos equipos. Entre ellos se encuentra la prueba no destructiva de Descargas Parciales, que consiste en la ruptura parcial en el aislante entre electrodos o en otras palabras, se entiende normalmente como --- cualquier descarga eléctrica que ocurre en un medio aislante, restringiendo solamente a una porción del dieléctrico bajo prueba y de éste modo solo se puentea parcialmente el dieléctrico entre los electrodos.

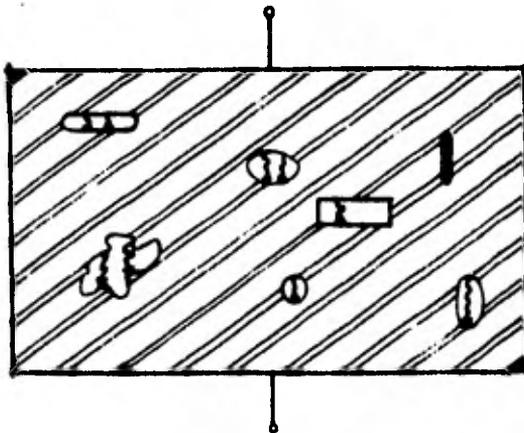


FIG.1.1 DIFERENTES FORMAS DE CAVIDADES EN UN MEDIO AISLANTE

Ahora bien, las pruebas tienen por objeto evaluar el nivel de descargas parciales al someter el equipo eléctrico a sobretensiones que van desde cero volts hasta varias veces el valor de tensión nominal, ya que dentro de estos rangos de tensiones están los valores más comunes a los que pueden someterse.

Las unidades en que se miden las descargas parciales pueden ser: pico Coulms, micro volts y decibeles dependiendo del método que se utilice para su medición, como veremos después.

En México algunas industrias empiezan a manifestar un marcado interés por realizar éstas pruebas a equipo eléctrico con aislamientos internos (recuperables y no recuperables), y sobre todo a ésta precisamente, no solo con un interés de su control de calidad, sino como un dato importante en el campo de la investigación; como es el de tratar de encontrar una relación entre el nivel de descargas y la vida útil del equipo. Hasta ahora sabemos que se puede medir con relativa facilidad y precisión, más no su interpretación porque ello es motivo de discusiones, estudios e investigaciones más profundas.

Estas pruebas se efectúan de acuerdo a la realidad de los fenómenos eléctricos, o sea, si un equipo determinado trabaja con C.D., la prueba de Descargas Parciales se le realiza con C.D.; mientras que un equipo que trabaja con C.A. se le realiza la prueba con C.A. y a su frecuencia industrial.

Es importante mencionar que las normas internacionales que hasta ahora existen están tomando en cuenta las pruebas de Descargas Parciales en casi todos los equipos eléctricos con aislamiento interno, ya sea como prueba de aceptación ó de prototipo y que dicha información es

indispensable para mejorar la confiabilidad de los equipos eléctricos, siendo éste de mucha importancia en un país en constante desarrollo.

1.2 Breve reseña histórica del estudio de las Descargas Parciales.

El fenómeno de las Descargas Parciales fué estudiado en el siglo XIX, por los hombres de ciencia de aquél entonces como Rue, Muller. Los primeros estudios se basaron primeramente en descargas en gases, demostrando que la tensión de ruptura dieléctrica en aire "Vg" a una presión "P", con cierta distancia entre los electrodos "d" variaba con el producto "Pd". Esto fué confirmado por Paschen en 1889, quien utilizó aire y otros gases como el hidrógeno y Bióxido de Carbono en un campo eléctrico uniforme teniendo que $V_g = f(Pd)$ ó sea que el variar "P" ó "d" se tiene una tensión de ruptura dieléctrica "Vg" diferente - ver la figura 1.2

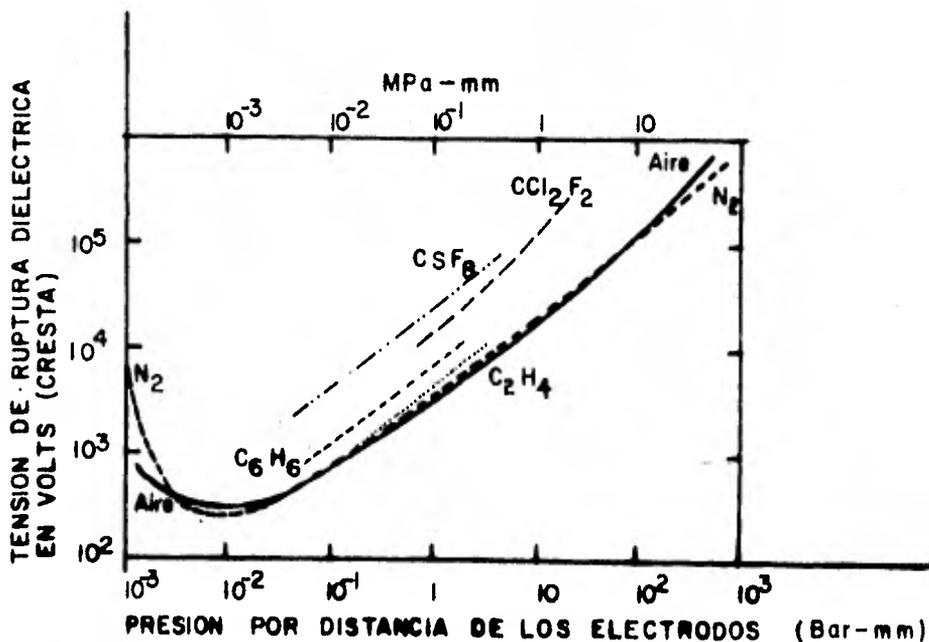


FIG.12 VARIACION DE TENSION DE RUPTURA DIELECTRICA CON EL PRODUCTO (PRESION, DISTANCIA ENTRE ELECTRODOS) PARA AIRE, N₂, C₂H₄, C₆H₆, CCl₂F₂ Y CSF₈.

Esta teoría fué desarrollada posteriormente por el doctor Dakin y recientemente por Geballe, Pening, Towsend y otros más, pues éste fenómeno tiene gran importancia por los efectos de deterioro y falla que causa en los materiales y equipos eléctricos.

I.3 Objeto de las Descargas Parciales en equipo eléctrico.

Básicamente la prueba de Descargas Parciales nos es útil porque nos puede proporcionar una información valiosa sobre los defectos incipientes antes mencionados, como son las cavidades y la inhonogeneidad en los aislamientos internos principalmente, los que forman parte de un equipo eléctrico.

Como sabemos, en la actualidad resulta indispensable el uso de nuevas y mejores pruebas a equipo eléctrico para evaluar la calidad y el comportamiento de sus aislamientos dado que los aislantes que se utilizan están cambiando constantemente debido al avance de la Ingeniería Eléctrica.

La prueba de Descargas Parciales es realizada en gran cantidad de equipos eléctricos, como son:

- Transformadores de Potencia
- Transformadores de Instrumento
- Boquillas (Bushings).
- Cables.
- Capacitores
- Reguladores de Tensión
- Devanados de Máquinas Rotatorias.
- Papel Impregnado en aceite
- Aceite Aislante
- Polietileno

- Polipropileno
- Madera, etc.

A manera de ejemplo podemos afirmar que si un equipo eléctrico, un transformador, tiene descargas parciales, se -- pueden deber a:

- Presencia de humedad de sus devanados
- Presencia de burbujas en su aceite.
- Cavidades de gas en sus arrollamientos de papel.
- Mala distribución del campo eléctrico en el núcleo.
- Mala calidad de los aislamientos.
- Constante sobrecarga.

Cabe señalar que mientras más usado esté un equipo, más - probabilidades hay de que se presenten Descargas Parciales.

Entonces podemos concluir que la prueba de las descargas - parciales nos sirve para analizar, por un lado, una diversidad de equipos eléctricos, podemos saber las condiciones en que se encuentran sus aislamientos y nos dice por lo - tanto las condiciones de operación de dicho equipo, porque solo de este modo podemos estar seguros de la buena cali - dad del producto evitando a la postrer pérdidas económi - cas.

I.4 . Clasificación de las Descargas Parciales.

Las Descargas Parciales como se dijo anteriormente, son - descargas eléctricas que suceden dentro de un medio ais - lante, restringido solamente a una parte del objeto bajo - prueba y de ésta manera solamente puentea el aislamiento - entre electrodos, éstas descargas son debidas a la ioniza -

IV.3 Criterio de Aceptación del Equipo bajo Prueba (A.T.)

Al realizar la prueba de las descargas parciales se persigue que los transformadores o las boquillas no presenten descargas a la tensión nominal con una sensibilidad de 10 pC.

Por otro lado, las normas en vigor siguen exigiendo las pruebas de tensión aplicada e inducida siendo necesario comprobar que éstas no han causado daño al transformador. Además el equipo puede estar sometido a sobretensiones momentáneas, a transitorios debidos a maniobras de desconexión o a descargas atmosféricas que pueden ser motivo de la iniciación de descargas parciales, pudiendo permanecer aún después de haber desaparecido el disturbio.

Por este motivo es necesario garantizar que el transformador no tenga descargas superiores a 10 pC, a una tensión superior a la nominal (un valor adecuado es de 1.1 veces la tensión de servicio). A partir de este valor mínimo de aparición se recomienda subir hasta un valor máximo, mantener la tensión durante 15 ó 30 seg. Si han aparecido descargas mayores a 10 pC, la tensión de extinción debe ser mayor a la tensión de operación (se recomienda que sea 0.7 la tensión de servicio), con lo cual se garantiza que el equipo operará sin descargas en condiciones normales de operación.

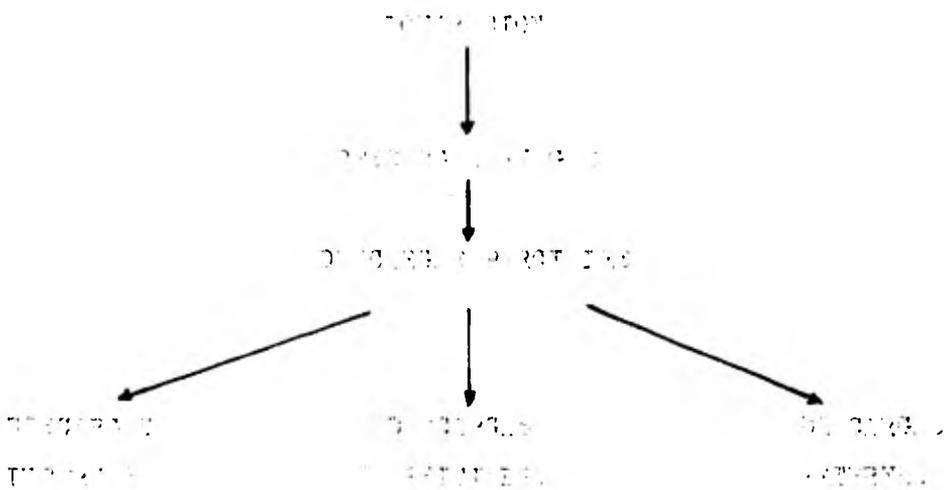
Solo mediante esta prueba es posible garantizar el buen funcionamiento de los transformadores de medición de tensiones nominales o superiores a 34.5 KV.

ción de los gases que se encuentran dentro del aislante - sometido a altas tensiones; éstas descargas se pueden deber también a la alta concentración de campos eléctricos - en un punto que sufre esfuerzos y con ello deformaciones - y la falla.

Las Descargas Parciales pertenecen al grupo de descargas en gases, las cuales son a su vez una forma de ionización incluso se ha llegado a incurrir en el error de nombrar - descargas parciales en lugar de ionización, que es un término más general. Ionización: es un proceso por el cuál - un átomo llega a cargarse debido a la pérdida o ganancia - de uno o más electrones.

En una descarga en gases, las moléculas son ionizadas por el impacto de electrones, los iones formados ganan velocidad en el campo eléctrico, ionizan más átomos de tal manera que se produce un alud de electrones, éste y los iones producidos se desplazan hacia los electrodos, formando por consiguiente un camino para la corriente a través del gas.

Con el fin de definir las diferentes maneras de presentarse en los diferentes aparatos eléctricos que están sometidos a altos voltajes haremos la siguiente clasificación - de las descargas parciales.



Descargas Parciales Internas.

Son las descargas que se presentan en el seno del dieléctrico, ya sea por cavidades en los sólidos o bien por burbujas en los líquidos. En los materiales sólidos muchas veces su constitución es inhomogénea, consecuentemente su rigidez dieléctrica disminuye propiciando las ionizaciones en las cavidades y con ello la destrucción paulatina del dieléctrico hasta su falla total.

Como podremos imaginar, las cavidades tienen diferentes formas geométricas y diferentes tamaños como se vió en la figura 1.1 (en 1.4.2 haremos un breve análisis de sus características), la descarga ocurre precisamente cuando la intensidad de campo eléctrico que atraviesa dicha cavidad excede su valor crítico correspondiente E_i , su gradiente de potencial depende de la presión, la temperatura y de la geometría de la cavidad, esto conduce a que haya diferentes voltajes de ruptura, como veremos después. En la figura I.3 se pueden ver las descargas parciales internas.

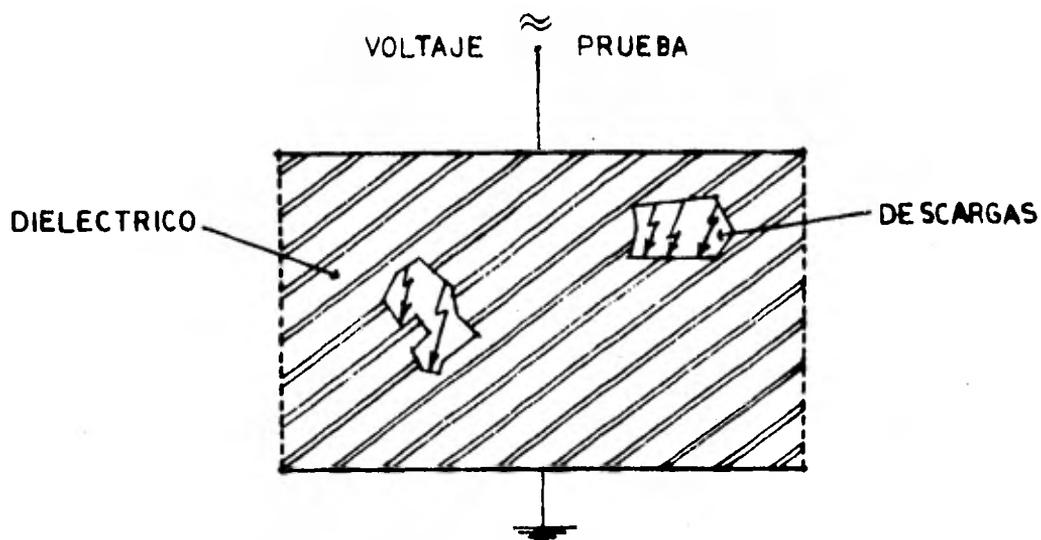


FIG.13 DESCARGAS PARCIALES INTERNAS (cavidad irregular)

I.4.2 Características Geométricas de las Cavidades.

De acuerdo a análisis lógico y a la experiencia, presentamos a continuación un breve análisis de las características de las cavidades, en cuanto a su tamaño y geometría para ello diremos que hay 5 geometrías básicas - (ver figura 1.5).

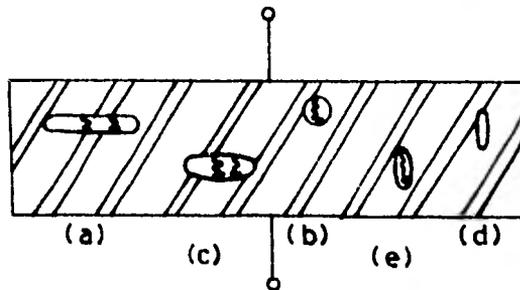


Fig.1.5 Diferentes Formas de Cavidades en Aislamientos.

- a) Cavidad alargada. Esta es sumamente peligrosa, que puede provocar fácilmente una falla debido a que la descarga se presenta a un gradiente de potencial bajo y por lo tanto la magnitud de las descargas es alta (100 pC ó más) esto es debido a que la superficie de los electrodos es mayor y están más cercanos.
- b) Cavidad Esférica. La magnitud de sus descargas se calcula en 10 pC, no son tan peligrosas, pues su gradiente de potencial al que se presentan las descargas es más alto que las cavidades del caso anterior.
- c) Está entre la a y la b y la magnitud de sus descargas no es alta (10 pC), su tamaño es de aproxima-

damente 1 x 3mm. aunque su voltaje de ruptura disminuye.

- d) Estas cavidades tienen des cargas menores a los -- 10 pC, son difíciles de detectar, su gradiente de ruptura es alto 3 KV/mm. no son peligrosas aunque se presenten a voltajes de trabajo.
- e) Son similares a, b y d éstas cavidades son poco peligrosas.

Para las especificaciones anteriores, las condiciones de la prueba de descargas parciales son las siguientes: El dieléctrico se llama libre de descargas parciales arriba de un esfuerzo de 2 KV/mm. y medido a una sensibilidad de 10 a 30 pC. Si el esfuerzo de trabajo es de 3 KV/mm. y la profundidad de la cavidad es de 1-4 mm. la magnitud de las descargas esperadas en cada caso es:

- a) En cavidades planas 10 pC ó más con un voltaje de iniciación de 2 KV/mm.
- b) En cavidades esféricas alrededor de 1 pC a esfuerzos mayores de 2.2 KV/mm.
- c) En cavidades entre a y b pueden ser peligrosas - y no son permisibles descargas mayores a 1 pC.
- d) Las cavidades alargadas verticales no son peligrosas aún a esfuerzos de trabajo de 3 KV/mm.

I.4.3 Estudios sobre el comportamiento de las Descargas Parciales.

En tiempos recientes, basándose en la experiencia de trabajar con distintos materiales de Dr. F.Kreuger resume una gráfica de los valores de ruptura de materiales aislantes la gráfica es la de la figura 1.6

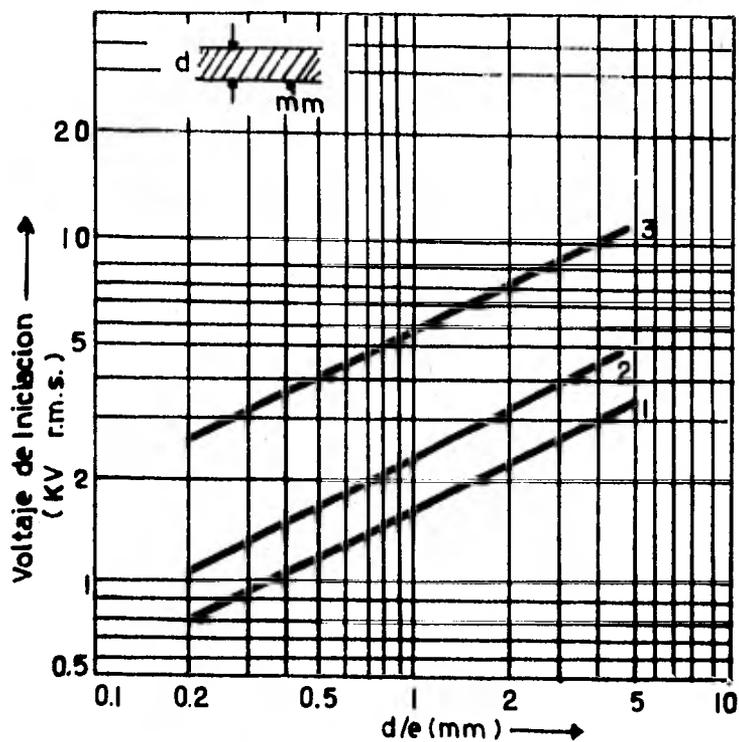


Fig.1.6 Voltaje de Iniciación en el centro de un capacitor con huecos.

CURVA No.1 $d=1$ mm.

CURVA No.2 $d=2$ mm.

CURVA No.3 $d=3$ mm.

e =Constante Dielectrica del Material

Así fué como se dieron a la búsqueda de métodos o normas para saber algunas de las características principales que nos explicarán el comportamiento de las Descargas Parciales, Kreuger realizó experimentos para analizar la probabilidad de falla de un dieléctrico dependiendo de la profundidad de las cavidades que contuviera, el material es PVC y concluyó que la vida del aislamiento disminuye si las cavidades son más profundas, con esto quiere decir más cercanas al conductor, el resultado se ve en la siguiente figura:

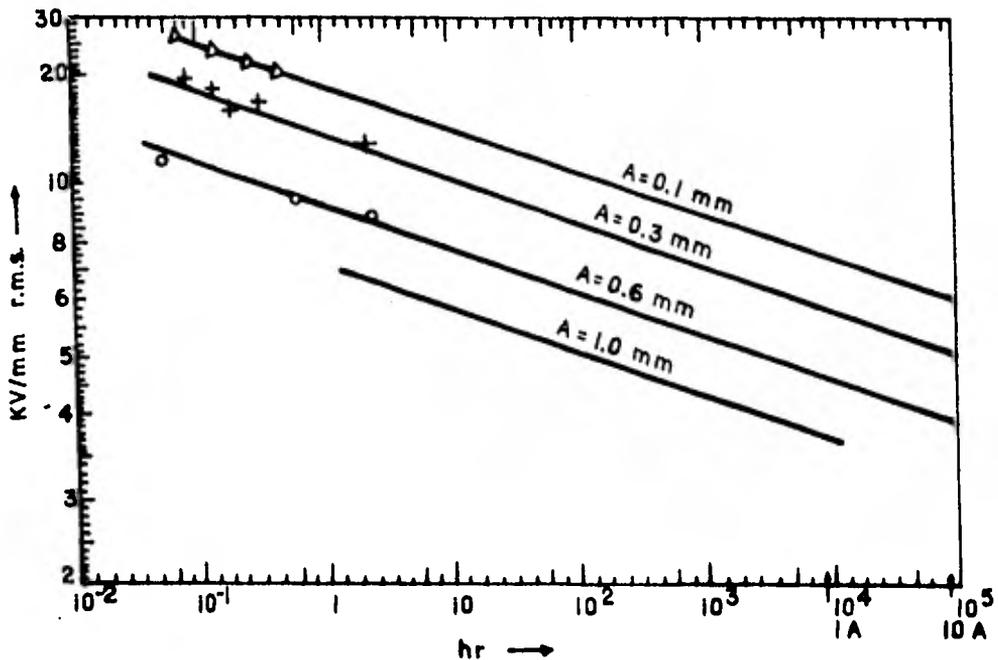


Fig. 1.7 Muestra la relación vida del dielectrico (en horas) contra gradiente de potencial de prueba (KV/mm), en función de la profundidad de la burbuja (mm).

La gráfica de la figura 1.6 nos dá una idea de los valores de resistencia a la ruptura dependiendo del material aislante, así también diremos que la mica y el vidrio son conocidos como buenos resistentes a las descargas, polietileno PVC y polipropileno tienen baja resistencia; así como el hule y el tetrafluoroetileno son fáciles presas de las mismas. Con la finalidad de determinar los valores de las resistencias se tuvieron que diseñar nuevos métodos para su medición, aunque hasta ahora no han sido completamente satisfactorios.

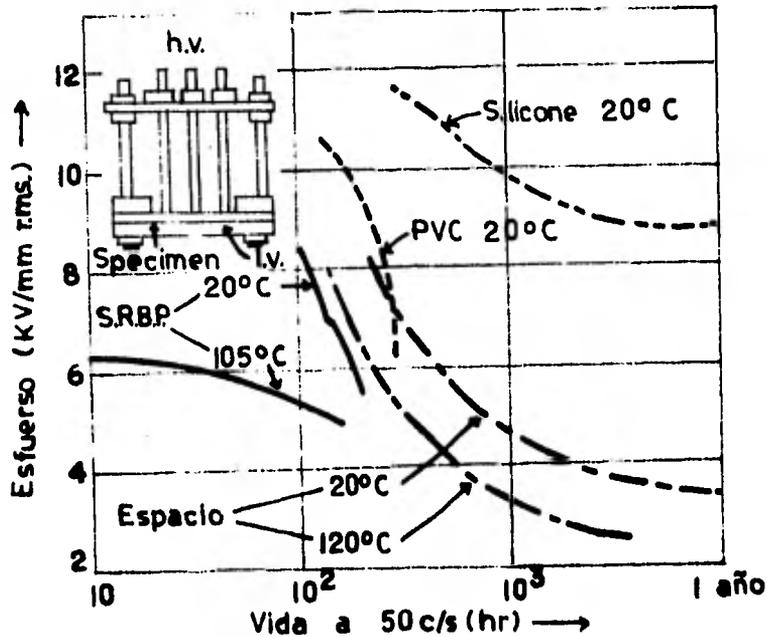


Fig.1.8 Resistencia de la Lamina de Aislamiento a las Descargas Superficiales de Acuerdo MASON.

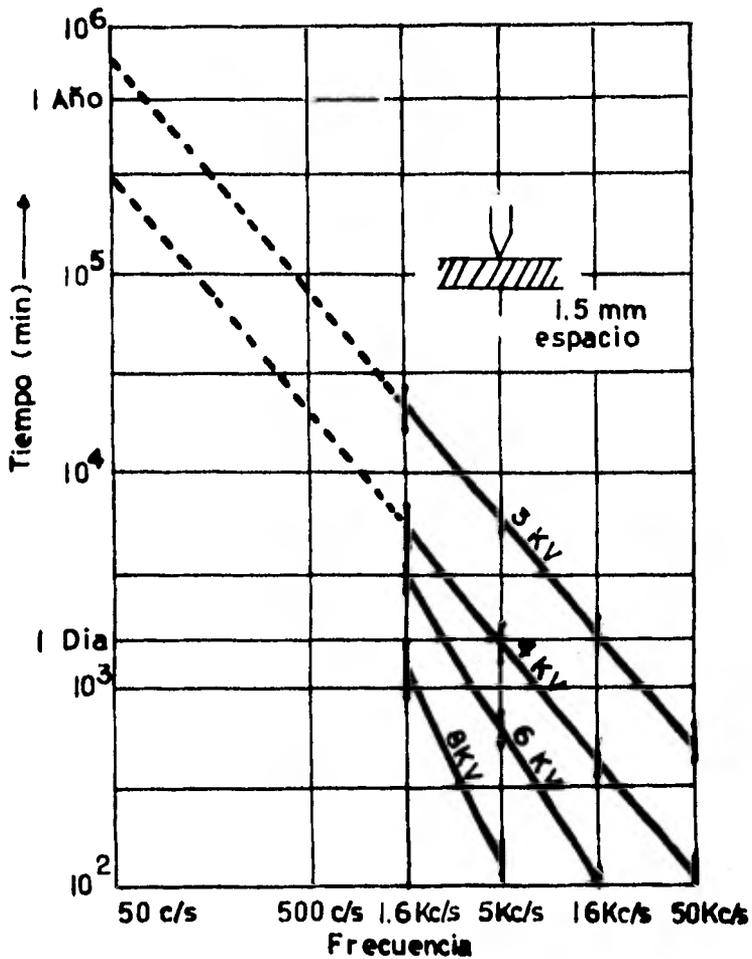


Fig. 1.9 Aceleración de la falla al Aumentar la Frecuencia de la tensión de funcionamiento.

La figura 1.9 nos dá la relación vida del dieléctrico - (minuto), contra frecuencia de la alimentación (ciclos/segundos), en función de la tensión de prueba (KV). La gráfica nos muestra sólo para 3 KV. de prueba 4KV, 6 KV, y 8 KV.

Todas las pruebas para un dieléctrico de 1.5mm. de espesor.

I.4.4 Descargas Parciales Superficiales.

Estas descargas pueden ocurrir en la superficie de un dieléctrico que está sometido a una alta tensión (también se presenta en la superficie de conductores), ó también se presenta entre la superficie de contacto de dos electrodos, ver figura 1.10

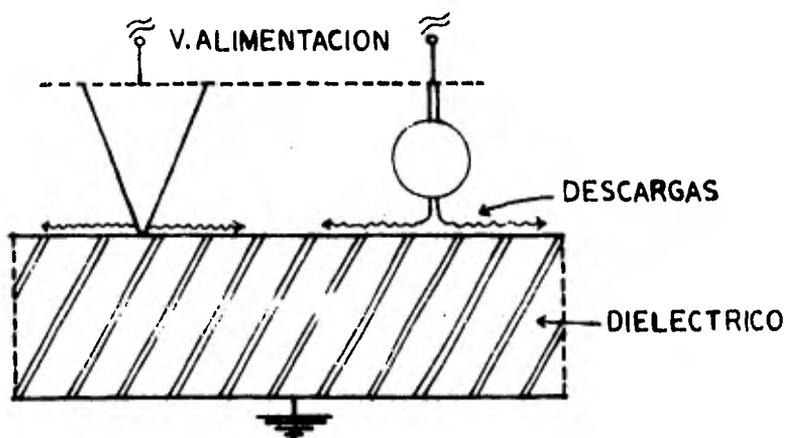


FIG. 1.10 DESCARGAS SUPERFICIALES

Estas descargas se presentan cuando un conductor que está alimentado por alto voltaje, el gradiente de potencial excedido y vence la rigidez dieléctrica del aire.

Estas se presentan principalmente en conductores y en equipos eléctricos de alto voltaje, tales descargas son las causantes además de las pérdidas, interferencias de radio (Ver figura 1.11).

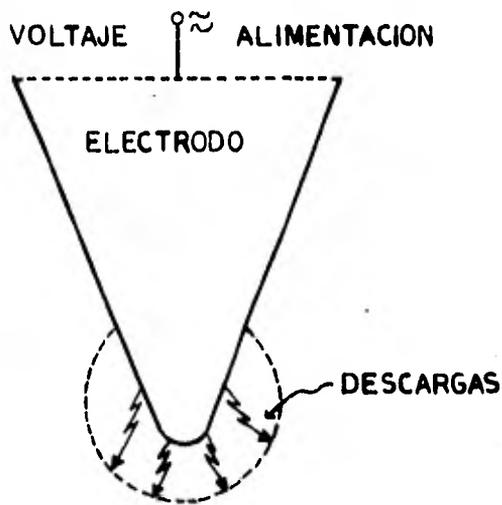


FIG. 1.11 DESCARGAS PARCIALES POR CORONA O EXTERNAS.

I.5 Proceso Físico de una Descarga Interna.

El proceso físico de una descarga interna en corriente alterna puede ser descrito convenientemente con un circuito-analogía como el de la figura 1.12.

Consideramos el caso ideal en el cual existe una sola cavidad en el seno de el dieléctrico y supongamos que podemos simular esta cavidad con un capacitor de aire (c), la capacitancia del resto de el dieléctrico bajo la cavidad con el capacitor (b) en serie con c. El resto de la muestra formará una capacitancia perfecta entre los electrodos bajo tensión y lo podemos representar con el capacitor a.

Recomendamos ver la figura 1.13.

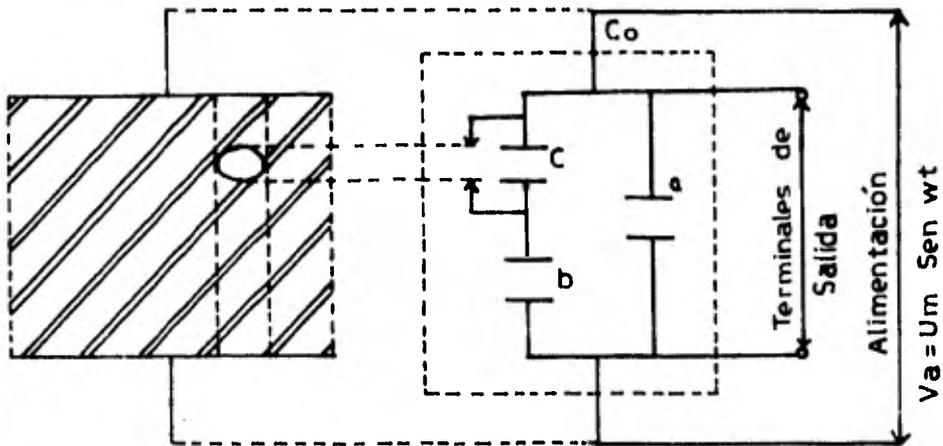


FIG.1.12 CIRCUITO ANALOGO PARA LA DESCRIPCION DE UN PROCESO FISICO DE UNA DESCARGA INTERNA

U_m = Voltaje de cresta aplicado
 C = Capacitancia de la cavidad
 b = Capacitancia del dielectrico en serie en la cavidad
 a = Capacitancia perfecta entre los electrodos bajo tension
 C_o = Capacitancia total del objeto bajo prueba

Aplicamos al conjunto una tensión de prueba V_a , entonces la tensión a través de la cavidad (c) sería idealmente V_c . si es que fuera capaz de soportar dicha tensión sin descargas.

Supongamos ahora que la cavidad está llena de un gas a una presión tal que la descarga se produce a una tensión U_+ (en el capacitor c); con ésta pequeña descarga (corto circuito), la tensión dentro de la cavidad cae a V_+ (Voltaje de extinción) usualmente menor que 100 volts. La descarga produce en menos de 10^{-7} segundos, la cuál es muy corta si la comparamos con la frecuencia de la alimentación V_a (60 Hz) enseguida la tensión vuelve a aumentar cuando se extingue la descarga hasta el valor de U_+ voltaje al que se vuelve a producir la descarga (ver figura 1.13). Como se dijo éstas descargas son tan rápidas que forman una tensión escalonada (V_c).

Esta tensión es determinada por la superposición del campo eléctrico principal y del campo de las cargas superficiales que han quedado después de la última descarga en las paredes de la cavidad.

Esta tensión es determinada por la superposición del campo eléctrico principal y del campo de las cargas superficiales que han quedado después de la última descarga en las paredes de la cavidad.

El fenómeno se repite varias veces hasta que la tensión V_a no es capaz de producir otra ruptura de la rigidez dieléctrica del gas dentro de la cavidad.

Las descargas aparecen nuevamente del lado negativo en el momento en que la tensión llega a U^- tensión de ruptura de el gas. La descarga produce una disminución de la tensión dentro de la cavidad a V^- de manera análoga al seno-positivo. La magnitud de U^+ y V^+ pueden ser diferentes de U^- y V^- , De ésta manera se encontrarán grupo de descargas regularmente recurrentes.

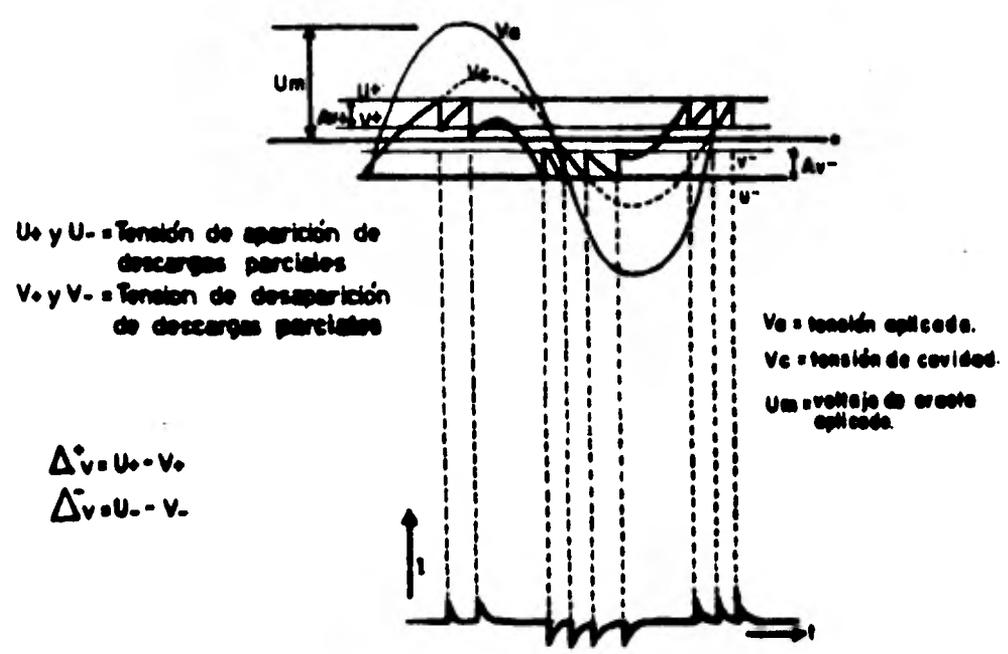


FIG. 109 COMPORTAMIENTO DE LAS ONDAS DE TENSION Y CORRIENTE EN UN MATERIAL DIELECTRICO.

Las descargas causan impulsos de corriente en las terminales de la muestra, éstos impulsos podemos verlos en la parte inferior de la figura 1.13. Ha sido demostrado que si las caídas de tensión en ambos semiciclos son iguales en magnitud o sea $V+ = V-$ los impulsos darán una figura estacionaria en la pantalla de un 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 dá el nombre de TENSION DE APARICION de descargas parciales a la tensión más baja a la cuál las descargas rebasan una amplitud determinada observándose bajo condiciones específicas y cuando la tensión aplicada a la muestra es aplicada progresivamente a partir de un valor inferior al que tales descargas son detectadas.

LA TENSION DE DESAPARICION o EXTINCION, es la tensión a la cuál las descargas parciales rebasan una amplitud determinada bajo condiciones específicas y cuando la tensión a disminuido 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, Esto se debe a que dentro de la cavidad existen aún algunos iones que facilitan más la des carga en baja tensión.

1.6 Vida de los Aislamientos en Equipo Eléctrico bajo Descargas Parciales.

Se ha dicho que las descargas internas son la causa del deterioro de los dieléctricos, el daño puede ser causado por varios fenómenos, tales como:

- a) Bombardeo de iones y electrones que causan calentamiento en el ánodo y cátodo, erosión de sus superficies y procesos químicos en la superficie como polimerización, arrastre y formación de gases.
- b) Formación de productos químicos en los gases ionizados como ácido nítrico y ozono.
- c) Rayos ultravioleta o rayos X débiles.

Las causas difieren para cada caso y dependen fuertemente de la clase de dieléctrico.

En el deterioro de plásticos como poliestireno y polibuteno se distinguen tres etapas. Se inicia como una erosión superficial uniforme. Esta erosión puede ser causada por degradación térmica ó emisión de rayos ultravioleta y rayos X débiles.

En la segunda etapa las descargas llegan a concentrarse cerca de la superficie de la cavidad.

No se ha aclarado porque ocurre esta concentración, pero de cualquier manera, al concentrarse las descargas se forman hoyos en la periferia, cuando el tamaño de los mismos crece la energía de las descargas aumenta y, en algunos casos se presenta carbonización de ellos. Al formarse

estos hoyos en la periferia se inicia la tercera etapa.

El esfuerzo en su cima se aproxima a la resistencia dieléctrica del material, lo hace fallar creándose un nuevo hoyo, la concentración del campo eléctrico se cambia a este nuevo hoyo y por canales estrechos se propaga la falla total. Dichos canales tienen la forma de un árbol (Ver figura 1.14).

Las dos primeras etapas pueden durar desde algunas horas a altos esfuerzos eléctricos, por ejemplo de 10 a 20KV/mm. hasta varios años a bajos esfuerzos eléctricos, por ejemplo de 2 a 5 KV/mm.

La tercera etapa, o sea la propagación de los canales puede tomar solamente algunos ciclos para producir la falla completa.

El deterioro por descargas en aislamientos con papel impregnado en aceite ha sido estudiado por D.M. Robinson. Las descargas en huecos adyacentes al conductor atacan al aislamiento y penetran al cabo de un cierto tiempo en la primera capa del papel; como en el caso de los aislamientos plásticos, la penetración ocurre en la esquina del hueco, después de atacar el seno de las primeras capas de aislamiento se producen descargas superficiales a lo largo de las capas y se forman árboles y carbonización, los caminos ocurren en los puntos más débiles del aislamiento, por ejemplo en las uniones entre las cintas del papel, ver figura 1.15

Al pie del árbol se producen calentamientos locales que causan finalmente la falla total.

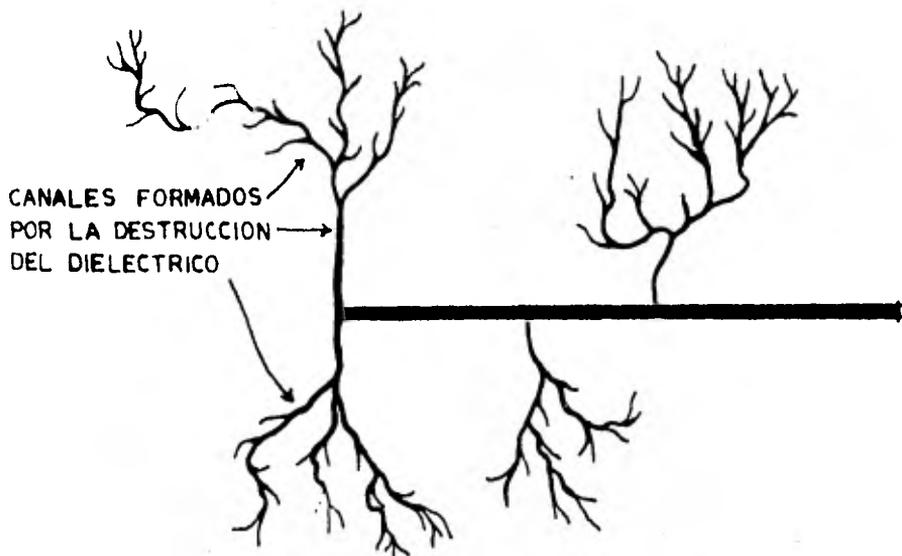


FIG.1.14 PROPAGACION DE LA FALLA TOTAL EN FORMA DE ARBOL

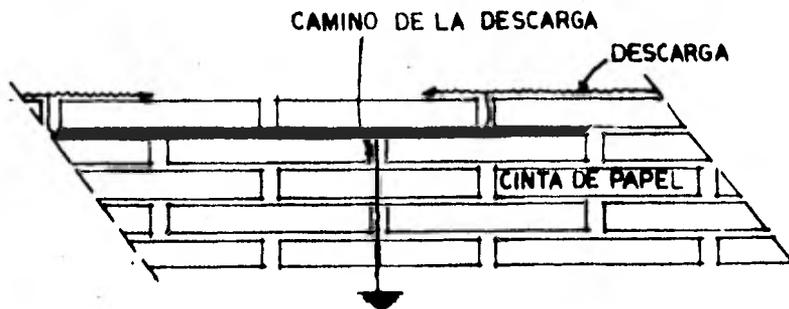


FIG.1.15 TRAYECTORIAS COMUNES DEBIDO A DESCARGAS PARCIALES EN AISLANTES, FORMADA POR CAPAS.

A continuación mostramos las figuras 1.12 y 1.16 para mayor facilidad en la explicación del análisis energético de las cavidades con descargas parciales.

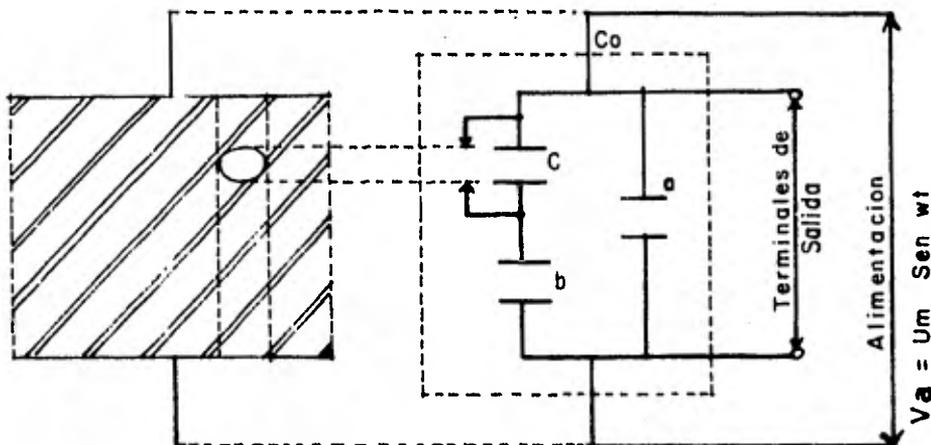
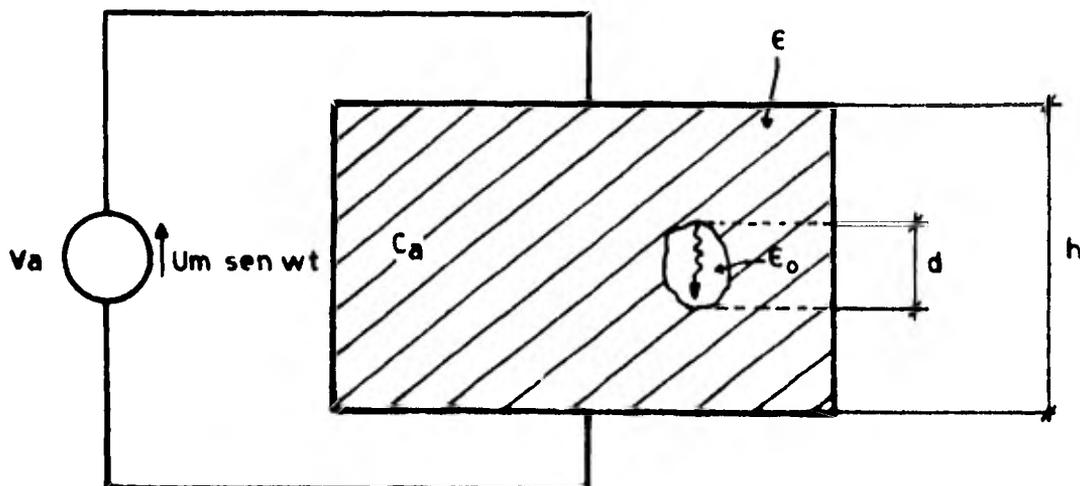


FIG.112 CIRCUITO ANALOGO PARA LA DESCRIPCION DE UN PROCESO FISICO DE UNA DESCARGA INTERNA.

U_m = Voltaje de cresta aplicado.
 C = Capacitancia de la cavidad.
 b = Capacitancia del dielectrico en serie en la cavidad.

a = Capacitancia perfecta, entre los electrodos bajo tension.
 C_o = Capacitanci total del objeto bajo prueba.



d = Diámetro de la Burbuja E = Permitividad del Dielectrico
 h = Ancho del Dielectrico E_o = Permitividad del Vacio

Fig. 1.16 Dielectrico con una Burbuja de Permitividad E_o

I.7 Análisis teórico de la Energía de las Descargas Parciales.

Si regresamos a la figura 1.12 en la que se analiza una - porción de un dieléctrico con una cavidad a través de un - circuito analogía con capacitancias, en él:

U_m es el voltaje de cresta aplicado.

C es la capacitancia de la cavidad $C \cong E_0 \frac{s}{d}$

b es la capacitancia del dieléctrico en serie con la cavi-
dad.

$b \cong E \frac{s}{d}$ ó sea C es mayor que b

C_0 es la capacitancia total del objeto bajo prueba

E_0 es la permitibilidad del vacío.

E es la permitibilidad del dieléctrico

Deseamos obtener una ecuación que nos de una idea de la - energía que se consume a través de una cavidad. Si recor-
damos la ecuación:

Carga = Voltaje X capacitancia.

Entonces en nuestro caso, la carga real a través de la - cavidad gaseosa está dada por la relación siguiente:

$$q_s = (U_m \frac{b}{b + c}). C \quad 1$$

Teniendo en cuenta que $c \gg b$

$$q_s = U_m \cdot b \quad 2$$

$U_m \cdot \frac{b}{b + c}$ es la diferencia de potencial a través de la
cavidad.

La ecuación 2 nos dá la carga directa en la cavidad, pero sabemos que ésta cantidad no la podemos medir directamente debido a que no sabemos a que distancia de la superficie está sucediendo la descarga parcial, por lo tanto necesitamos una ecuación que nos de una carga que podemos medir directamente.

$$U = \left(\frac{U_m \cdot b}{b + c} \right) \left(\frac{b}{b + Co} \right) \quad 3$$

Sabiendo que Co es mayor que b obtendremos la ecuación que nos dá la carga aparente de la siguiente manera:

$$U = \frac{U_m}{c} \cdot \frac{b}{Co} \quad 4$$

$$q = U (b + Co) \quad 5$$

sustituyendo 3 en la ecuación 5

$$q = \frac{U_m \cdot b}{c} \cdot \frac{b}{Co} \cdot (b + Co) \quad 6$$

teniendo presente que Co es mayor que b

$$q = \frac{U_m \cdot b}{c} \cdot \frac{b}{Co} \cdot Co = \frac{U_m \cdot b^2}{c} \quad 7$$

La ecuación anterior nos dá la carga aparente que es la carga que podemos medir en el aislamiento.

Una relación entre las dos cargas es:

$$q/q^s = U_m \cdot b^2 / U_m \cdot b \cdot c = \frac{b}{c} = E \cdot d / E_o \cdot h \quad 8$$

Si analizamos la ecuación anterior nos damos cuenta que - para la misma carga real q^S la carga aparente se incrementa con el espesor de la cavidad.

$$q = \frac{Ed}{E_0} \frac{q^S}{h} \quad 9$$

y con el aumento de la permitividad del dieléctrico, con el aumento del espesor del aislamiento con respecto al - de la cavidad disminuye "q". De lo anterior se deducir - que deben ponerse limitantes a la carga aparente dado que varía en función del tipo del material aislante.

Pero la energía que buscamos se produce al realizarse la descarga parcial; aunque dicha energía es pequeña se va -- acumulando hasta que se llega a la falla del aislamiento.

Sabemos que la energía (W) es directamente proporcional a un medio de la carga por el voltaje (V)

$$W = \frac{1}{2} Q \cdot V \quad (\text{Joules}) \quad 10$$

para el caso que analizamos, la carga es q y el voltaje es V_i voltaje de inicio de la descarga parcial.

Refiriéndonos nuevamente a la figura 1.12 vemos que la - carga puesta en juego en cada descarga, si consideramos - que b y c son pequeñas en capacitancia con respecto a - "a" es:

$$q_c = \left(c + \frac{a \cdot b}{a + b} \right) \cdot \Delta V \quad (\text{Coulombs}) \quad 11$$

$$q_c = (B + c) \cdot \Delta V \quad (\text{Coulombs}) \quad 12$$

Pero sucede que este valor no puede ser medido directamente por que no se conocen ni c ni b , sin embargo si suponemos que:

a es mucho mayor que b y sustituimos en el valor de q_c en la ecuación 10 de la energía.

$$W = \frac{1}{2} (b + c) (U^+)^2 - (V^+)^2 \quad (13)$$

$$W = \frac{1}{2} (b + c) (U^+ - V^+) (U^+ + V^+) \quad (14)$$

$$W = \frac{1}{2} (b + c) \cdot \Delta V \cdot (U^+ + V^+) \quad (15)$$

si despreciamos la magnitud de V^+ en comparación con U^+

$$W = \frac{1}{2} (b + c) \cdot \Delta V \cdot U^+ \quad (16)$$

cuando sucede el primer rompimiento de la cavidad, carga residual tiene presencia, por lo tanto podemos afirmar que:

$$U^+ = \frac{b}{b+c} V_i \quad (17)$$

donde V_i es el voltaje de inicio, por lo tanto:

$$W = \frac{1}{2} (b + c) \Delta V \cdot \frac{b}{c + b} \cdot V_i \quad (18)$$

reduciendo:

$$W = \frac{b}{c} \Delta V \cdot V_i \quad (19)$$

sabemos que: $q = b \cdot V$ es la carga aparente a través de la cavidad.

$$W = \frac{1}{2} q V_i \quad \text{que es la ecuación indicada}$$

si V_i está en valor eficaz

$$W = \frac{\sqrt{2}}{2} q v_i = 0.7 q \cdot v_i \quad (20)$$

La ecuación anterior prueba que la magnitud de las descargas parciales (expresadas generalmente en pC), está en relación directa con la energía disipada en las cavidades - en la aparición de las descargas.

Otro método de la evaluación de éstas pérdidas es por medio del Puente de Schering (t_g), pero es necesario que las descargas sean lo suficientemente numerosas y fuertes, lo que no sucede frecuentemente y no en cualquier dieléctrico, como comentamos en su oportunidad.

hace distinción entre las descargas de tipo corona y las descargas de tipo arco.

C A P I T U L O I I

CIRCUITOS ELECTRICOS DE PRUEBA PARA DESCARGAS PARCIALES

C A P I T U L O I I

CIRCUITOS ELECTRICOS DE PRUEBA PARA DESCARGAS PARCIALES

II.1 INTRODUCCION.

Las descargas Parciales dan origen a muchos fenómenos que pueden ser:

- Fenómenos Eléctricos
- Radiación Electromagnética
- Luz
- Calentamiento
- Ruido
- Gases a presión
- Transformaciones Químicas

Existen dos métodos de detección de Descargas Parciales.

Método de detección Eléctricos

Métodos de detección no Eléctricos

Los métodos de detección eléctrica son los más utilizados. Los métodos de detección no eléctricos no son muy usados debido a su baja sensibilidad. Antes de continuar damos algunas definiciones.

Detección: Comprende la determinación de la existencia de las descargas parciales, el voltaje al que aparecen es medido y anotado.

Medición: La magnitud de las descargas puede ser medida por diferentes medios.

Localización: Comprende el establecer el lugar en que hay descargas. El método elegido depende principalmente de la naturaleza del objeto a investigar. El ruido y la luz producida pueden ser algunas veces usadas.

Evaluación: Comprende la evaluación de la magnitud del peligro que envuelve la descarga. Este es un paso algo difícil e importante. Por lo general, la magnitud y la localización de las descargas son características finalmente conocidas, es difícil predecir la vida del dieléctrico bajo esas descargas.

II.2 Método de Detección no Eléctricos.

Como estos métodos tienen muy poca aplicación en la actualidad, solo mencionaremos brevemente algunas:

- Método Luminoso.

Este método tiene su aplicación básicamente en la medición de descargas parciales externas y superficiales en materiales translúcidos.

Es poca sensibilidad no mayor de 50 pC. las descargas superficiales son detectadas por medio de fotografías, en el caso de internas solo después de las pruebas.

- Método Calorífico.

Este método es de mucha antigüedad cuya sensibilidad por ejemplo tiene la orden de 20 a 80 pC para descargas superficiales en boquillas.

Este método cuenta con un transductor ultrasónico que se introduce en el aceite de un transformador de potencia para detectar la presencia de Descargas Parciales; no es muy sensitivo, debido al ruido ultrasónico originado por el núcleo, sin embargo tiene la ventaja que la medición no se ve afectada por corona o descargas fuera del objetivo, además en la actualidad ha adquirido importancia principalmente en la localización de las descargas:

- Método por la presión en el gas.

Este método consiste en medir el cambio de presión en el tanque por medio de un barómetro diferencial, entre conductor y aislante. Tiene poca sensibilidad, en sí es muy restringido.

- Método de Transformación Química.

Este método se emplea para la detección de descargas - empleando productos químicos como gases, carbón, cera, - etc. originados por las mismas descargas. Es un método - no muy sensible.

II.3 Métodos de Detección Eléctricos.

- Método por Impulsos Eléctricos.

Aunque las descargas no se pueden detectar en el lugar - mismo en que se producen, al propagarse a través del - aislamiento crean una señal en las terminales del objeto bajo prueba, que es proporcional al impulso, éste método consiste básicamente es filtrar esta señal, amplifi - carla y visualizarla sobre la pantalla de un osciloscopio. La señal que se obtiene en las terminales del - objeto bajo prueba. Puede expresarse en términos de carga aparente, que se define como la carga que inyecta -- instantáneamente la tensión entre dichas terminales, en la misma cantidad que lo haría la descarga misma, su - unidad está dada en pC

- Método por Radiación Electromagnética.

Este método tiene su aplicación en la detección de des - cargas parciales externas (corona) que son en el aire.

De los métodos más mencionados hasta aquí, el que usa - remos sólo es el método por impulsos en todo el trabajo.

II:4 Circuito Básico.

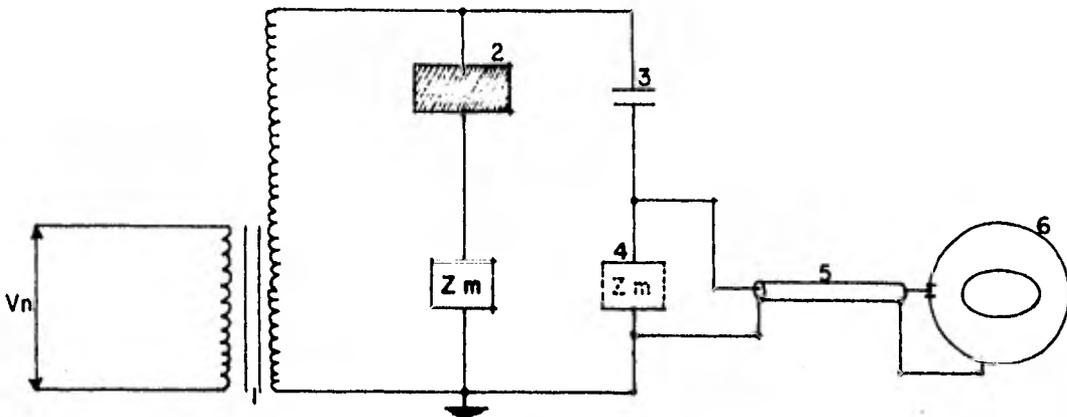
La prueba de descargas parciales consiste básicamente en aplicar una diferencia de tensión de corriente alterna al objeto bajo prueba (se dice que también en C.D. existen descargas parciales, en este trabajo sólo trataremos las que existen en C.A.) En seguida se registra la diferencia de potencial provocada por la descarga en el aislamiento a través de la impedancia de medición " Z_m ", pudiéndose conectar ésta tanto en paralelo con el objeto bajo prueba " C_o " ó en serie con el capacitor de acoplamiento " C_a ", el cuál tiene la función de bloquear tensión aplicada a frecuencia industrial y constituir una trayectoria preferente para la corriente transitoria asociada durante las descargas parciales. Además el circuito contiene un circuito elevador que por medio de un regulador es posible suministrar tensión regulada al objeto bajo prueba, cables coaxiales de acoplamiento y un detector de descargas parciales en el cuál se pueden cuantificar las descargas parciales. Estos aspectos se profundizarán en los puntos siguientes, ver figura 2.1

Si hablamos de impedancias de medición, existen principalmente dos tipos:

- a) Impedancia Resistiva
- b) Impedancia Inductiva

II.4.1 Impedancia Resistiva

La impedancia resistiva (R), se encuentra en paralelo con una capacitancia parásita que puede ser del cable coaxial.



- 1.-TRANSFORMADOR ELEVADOR.
- 2.-OBJETO BAJO PRUEBA.
- 3.-CAPACITOR DE ACOPLAMIENTO.
- 4.-IMPEDANCIA DE MEDICION.
- 5.-CABLE COAXIAL.
- 6.-DETECTOR DE DESCARGAS PARCIALES.

FIG.21 CIRCUITO BASICO PARA LA MEDICION DE DESCARGAS PARCIALES.

de medición o el tap capacitivo de la boquilla de transformador que se mide por el método del tap capacitivo - del cuál hablaremos en el capítulo de Pruebas a Transformadores de potencia, como se puede apreciar en la - figura 2.2

En el circuito mencionado el voltaje (V_R) que aparece - a través de la impedancia de medición, tiene una forma - exponencial (no periódica), siendo el valor de cresta - proporcional a la carga aparente y se puede expresar en - la ecuación siguiente:

$$V_R = \frac{q}{C_o (1 + C) + C} e^{-t/(C + C_o)} \text{ (volts)} \quad 2.1$$

Ca - capacitor de acoplamiento
 R - impedancia resistiva

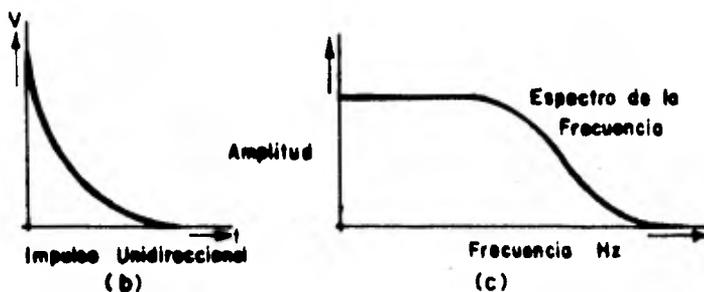
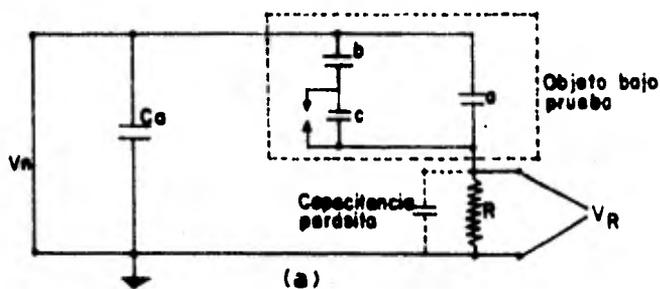


FIG.2.2 IMPEDANCIA DE MEDICION TIPO RESISTIVA.

- (a) Circuito de Medicion con Impedancia Resistiva.
- (b) Respuesta de la impedancia en el Tiempo a un Impulso de Corriente.
- (c) Respuesta de la Impedancia en la Frecuencia a un Impulso de Corriente.

donde:

$$C_a = \frac{C_o \times C_a}{C_o + C_a} \quad (\text{pF})$$

De la ecuación anterior se deduce que si se tiene un valor elevado de capacitancia parásita (C), con respecto a la capacitancia del capacitor de acoplamiento (Ca), y del objeto bajo prueba (Co), hace disminuir la sensibilidad de medición y puede deberse a razones principalmente, por ejemplo

- a) Por presencia de cables coaxiales de gran longitud (en la práctica se tienen valores de capacitancia de 70 a 100 pF/m) entre la terminal de tierra del capacitor de acoplamiento y la impedancia de medición. Por lo general dicho capacitor es colocado cerca del instrumento de medición.
- b) Cuando se usa el método del tap capacitivo para probar transformadores de potencia.

De lo anterior se puede deducir que para la medición de descargas parciales se requiere que la capacitancia del capacitor de acoplamiento (Ca) sea suficientemente grande en comparación con la capacitancia parásita (C).

II.4.2 Impedancia Inductiva.

Esta impedancia es del tipo RLC, que contiene la capacitancia parásita en paralelo con la resistencia y la inductancia. Esto se observa en la siguiente figura - 2.3

En la que, el impulso es una oscilación atenuada con el mismo voltaje de cresta que la impedancia resistiva y se expresa con la siguiente ecuación:

Ca - capacitor de acoplamiento

C - capacitancia parasita

L R - impedancia inductiva

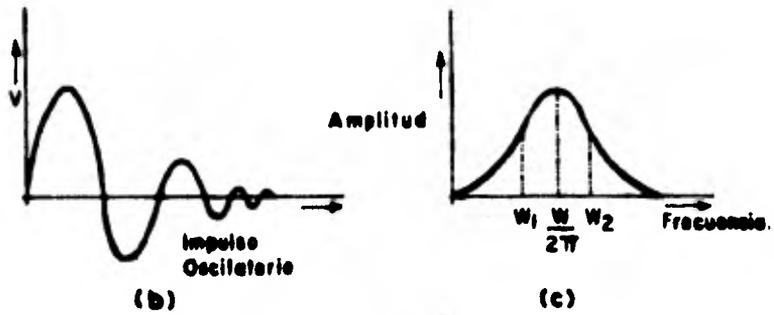
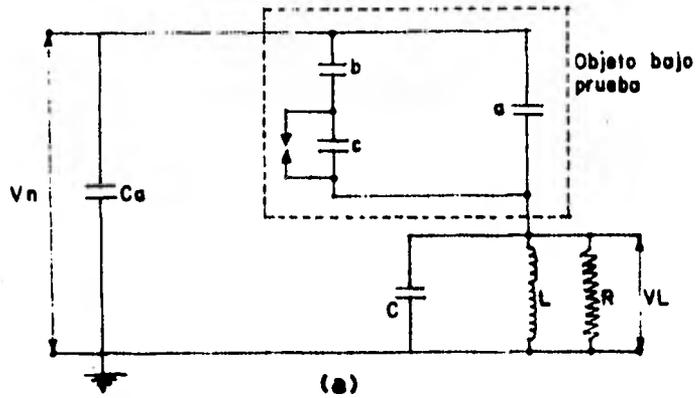


FIG. 23 IMPEDANCIA DE MEDICION TIPO INDUCTIVA.

- (a) Circuito de Medicion con Impedancia Inductiva.
- (b) Respuesta de la Impedancia Inductiva en el Tiempo a un Impulso de Corriente.
- (c) Respuesta de la Impedancia Inductiva en la Frecuencia a un Impulso de Corriente.

$$V_L = \frac{P}{C_0 (1 + C/C_a) + C} (e^{-t/2R(C+C_s)}) \cos \omega_1 t \quad 2.2$$

donde:

Cs es la misma de la ecuación 2.1

$$\omega_1 = \frac{1}{L(C+C_a)} - \frac{1}{aR(C+C_a)} 1/2$$

Es importante señalar la impedancia de medición del circuito de oscilación RLC, debido a que se obtiene una mayor sensibilidad. Pero se presenta ruido externo al efectuarse la prueba, para este caso se tiene la necesidad de eliminarlo con filtros extras, transformadores de aislamiento y otros accesorios t arreglos así como también efectuar la prueba en "jaula de Faraday", habla remos en el capítulo III.

Para lograr buena sensibilidad en ambos casos es recomendable utilizar un capacitor de acoplamiento igual a 2nF. Sin embargo, a veces la fuente de corriente alterna no es lo suficientemente grande, para estos casos es necesario hacer un compromiso entre la máxima capacitancia del objeto a probar y la sensibilidad de la medición; si utilizamos un capacitor de acoplamiento grande (Ca), mejoraremos la sensibilidad de la medición pero necesitamos una fuente más potente para alimentar al circuito, esto es costoso, por ello se usa un capacitor de acoplamiento chico sacrificando un poco la sensibilidad de la medición.

II.5 Circuitos Detectores de Descargas Parciales.

Existen varios tipos de detectores de descargas parciales los cuales pueden medir la carga aparente, tal que con -
vierte el voltaje aplicado a través de la impedancia de -
medición en un registro proporcional a la carga aparente -
ó lectura.

Principalmente se tienen dos tipos de detectores de carga
máxima aparente:

- a) Dectector no-balanceado
- b) Detector balanceado

Estos dos tipos de detectores tienen sus ventajas como -
desventajas, a continuación mencionamos algunas.

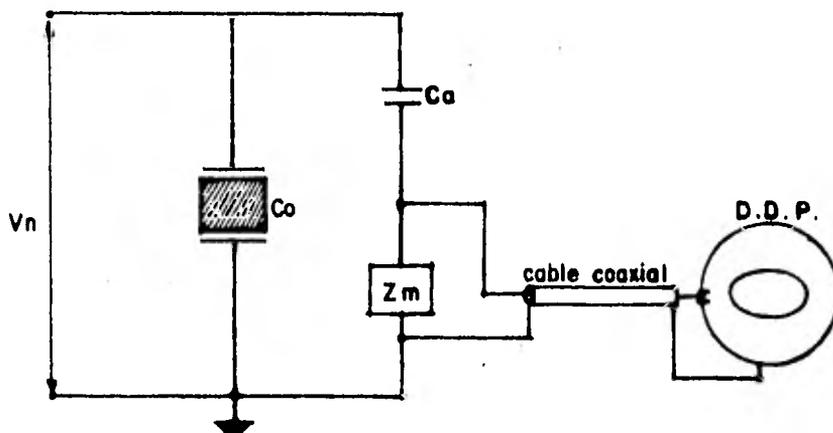
El detector no balanceado (40 a 200 KHz, banda ancha), -
presenta la desventaja de no rechazar los disturbios esto
es debido, por una parte al tipo de impedancia de medición
que se utilice, pues, como se dijo, la impedancia RLC pre-
senta una mayor sensibilidad que la RC, ahora bien, dicha-
sensibilidad también varía en función de la capacitancia -
del objeto bajo prueba, puesto que el ser muy grande su -
capacitancia comparada con la del capacitor de acoplamiento
disminuye la sensibilidad presentándose un factor de -
error en la medición, además del ruido que puede presentar
el amplificador y el circuito de prueba. Esto nos conduce-
a que en la práctica una alta sensibilidad no es fácil de
lograr, haciéndose más crítica ésta situación para altas-
tensiones en la cuales los disturbios de origen externo -
(ondas electromagnéticas, ruido ocasionado por pruebas -
de alta tensión adyacente, ruido proveniente de la fuente
de alimentación etc., de éstas interferencias hablaremos
en el próximo capítulo.

Otra característica importante en el detector es su respuesta en la medición (resolución, o sea los pulsos que tienen lugar en un cuadrante de la onda senoidal de 60 Hz ya que ésta característica depende de tres factores.

- a) Resolución del osciloscopio. Esto es, el número de pulsos que tienen lugar en un cuadrante.
- b) La constante de tiempo del circuito de prueba.
- c) El ancho de banda del amplificador

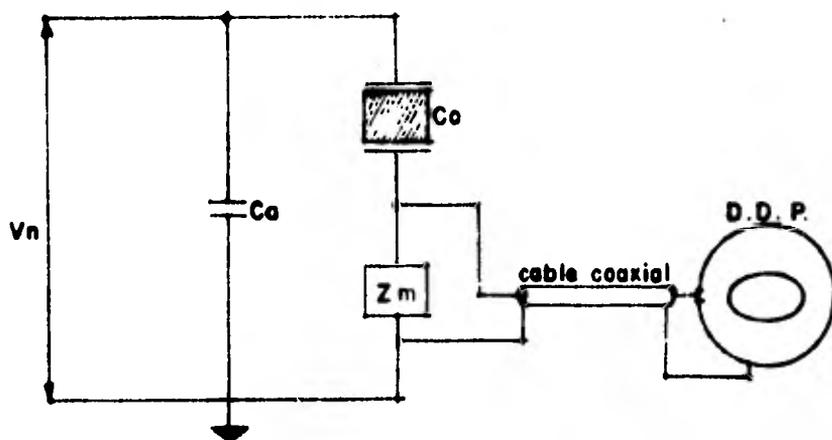
Se observa que estas características son de gran interés para una mejor detección y medición de las descargas, logrando así que dicho circuito presente respuestas positivas.

Este tipo de circuito de medición se observa en la figura 2.4 con dos variantes en la conexión de impedancia de medición " Z_m ". La desventaja de colocar Z_m en serie con el objeto bajo prueba es que puede fallar dicho objeto y como consecuencia dañar la impedancia de medición.



C_o = OBJETO BAJO PRUEBA.
 C_a = CAPACITOR DE ACOPLAMIENTO.
 Z_m = IMPEDANCIA DE MEDICION.
 D.D.P.= DETECTOR DE DESCARGAS PARCIALES.

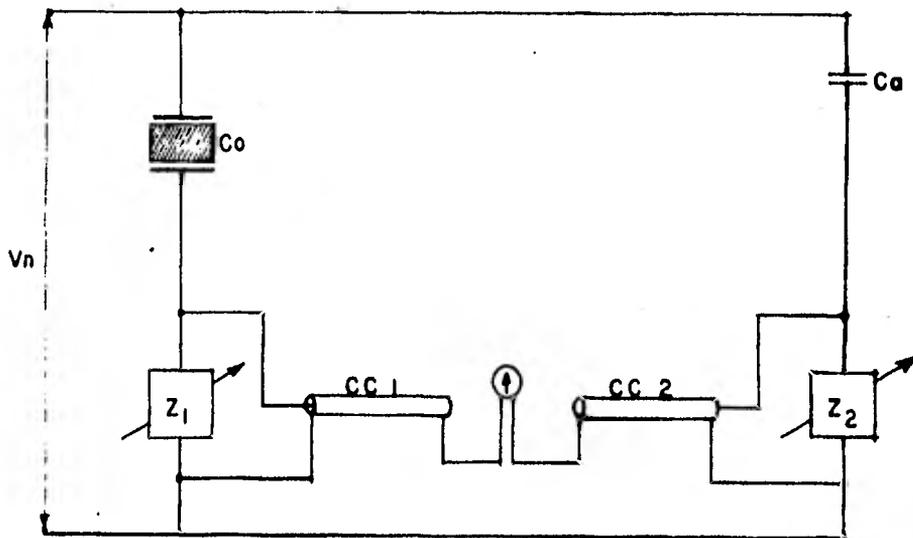
fig.2.4a CIRCUITO DETECTOR DE DESCARGAS PARCIALES NO-BALANCEADO, CON Z_m CONECTADA EN SERIE CON EL CAPACITOR DE ACOPLAMIENTO.



C_o = OBJETO BAJO PRUEBA.
 C_a = CAPACITOR DE ACOPLAMIENTO
 Z_m = IMPEDANCIA DE MEDICION
 D.D.P.= DETECTOR DE DESCARGAS PARCIALES.

fig.2.4b CIRCUITO DETECTOR DE DESCARGAS PARCIALES NO-BALANCEADO, CON Z_m CONECTADA EN SERIE CON EL OBJETO BAJO PRUEBA.

El detector balanceado presenta ventajas sobre el no balanceado, una de éstas particularmente es la de rechazar los disturbios de origen externo, puesto que las características de sensibilidad y de resolución se mejoran, de aquí se deduce su utilidad. El circuito de medición presenta un arreglo más complejo ya que cuenta con dos impedancias de medición variables (Z_1 , Z_2), conectadas cada una en serie con el capacitor de acoplamiento y objeto bajo prueba, por consiguiente los cables coaxiales (CC_1 , CC_2). Así que se tiene que dicho circuito presenta un mejor control a los disturbios externos, pues estos causan muchas veces malas detecciones, errores en la medición, etc., para dar una idea más clara se presenta la figura 2.5



Z_1 Y Z_2 = IMPEDANCIA DE MEDICION.

CC_1 Y CC_2 = CABLES COAXIALES.

fig.25 CIRCUITO DETECTOR DE DESCARGAS PARCIALES BALANCEADO.

Los dos tipos de detectores anteriores deberán tener los elementos necesarios para la prueba (transformador elevador de tensión, capacitor de acoplamiento, impedancia de medición, objeto bajo prueba, etc.) particularmente el osciloscopio que, como se dijo antes es de gran importancia para la buena detección y medición, así como también las interferencias y poderlas diferenciar con las descargas parciales. Tal es la razón de que se tengan todos los elementos adecuados en el circuito de prueba.

Existen otros circuitos de pruebas dieléctricas para detección y medición de descargas parciales aunque no muy utilizadas, entre ellos figura la utilización de circuitos puente particularmente el "Puente de Schering". En éste método se hace un diagrama en el cuál la tangente de pérdidas ($tg\delta$) se traza en función de la tensión aplicada, figura 2.6 en la que U_i un cambio rápido en la tangente delta muchas veces se atribuye a las descargas parciales, U_i se le llama voltaje de aparición de descargas parciales.

Generalmente son necesarias muchas descargas para tener un aumento notorio en la $tg\delta$; en una muestra de 1000 pF la descarga menor detectable es de orden de 50 pC por lo cuál aún usando los mejores puentes resulta bastante insensible. Sin embargo hay quien tiene bastante confianza en este puente para la medición de descargas, se le llama también factor de disipación, en el capítulo 4 y en el apéndice a hablamos más sobre este punto. La incertidumbre de este método consiste en que si un equipo tiene alto valor de $tg\delta$ no necesariamente tiene descargas pueden existir otras causas.

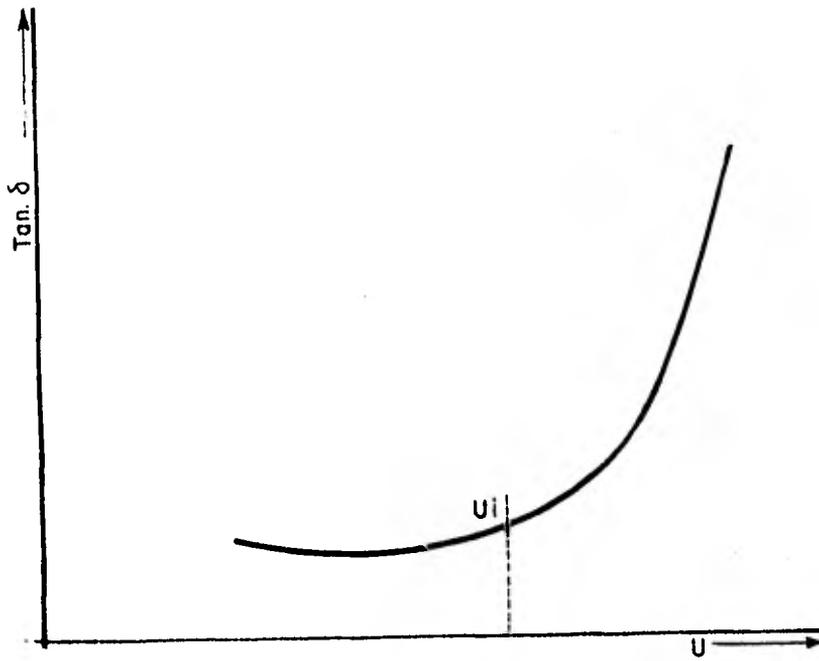


FIG.26 VARIACION DE LA $Tg. \delta$ EN FUNCION DEL VOLTAJE APLICADO.
 U_i =Voltaje de Iniciación de Descargas Parciales.

El puente de Schering es muy utilizado para saber las condiciones generales del dieléctrico. En el apéndice A hablamos de su aplicación en TCs y su relación con las descargas parciales.

Otro método empleado para la detección de descargas por medio de las pérdidas es el que emplea un dispositivo electrónico que integra los impulsos y estos son medidos en combinación con la tensión aplicada a la muestra por medio de un watorímetro, se muestra en la figura 2.7

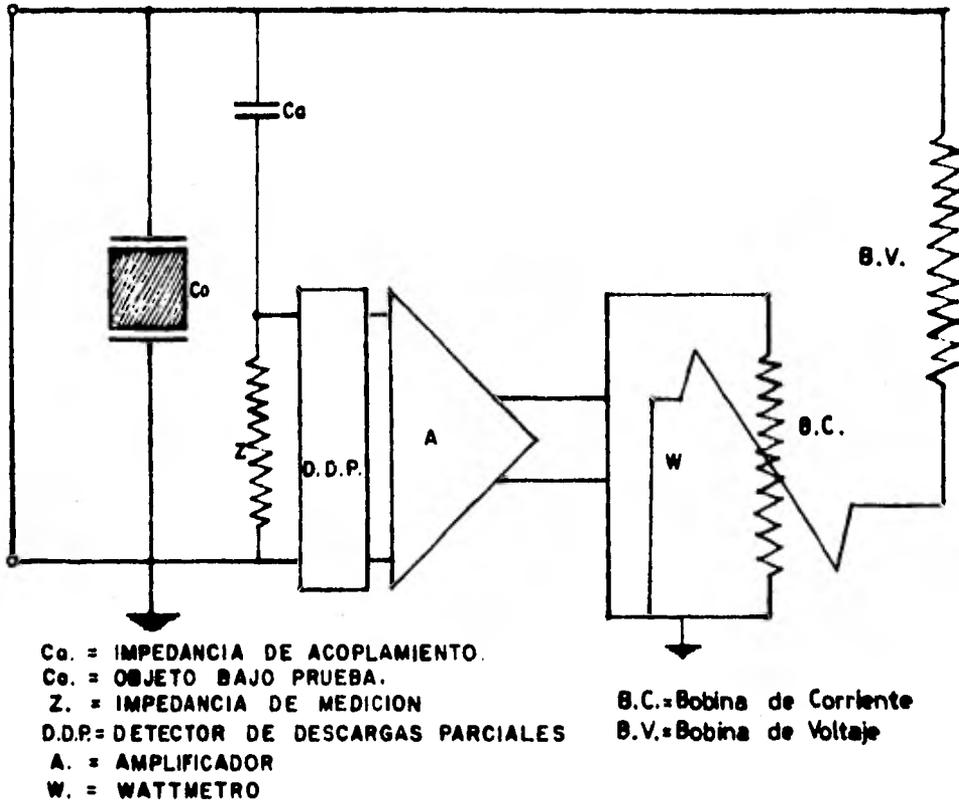


FIG.27 CIRCUITO DE PRUEBA DE DESCARGAS PARCIALES EMPLEANDO DISPOSITVOS ELECTRONICOS.

II.6 Calibración de los circuitos detectores de descargas parciales.

Dado que en la práctica se desconocen los valores de los parámetros involucrados en la medición de descargas parciales para encontrar su comportamiento matemático; se hace necesario la calibración de la medición, inyectando al circuito un valor de carga conocida y registrando la lectura en el instrumento.

La calibración de un circuito de detección de descargas consiste en determinar el coeficiente de atenuación o sea el factor que da la relación entre la amplitud medida y la magnitud de la descarga en el objeto de prueba en las condiciones de prueba. Además tiene por objeto determinar la sensibilidad del circuito o sea establecer la mínima descarga que puede ser medida. La mínima descarga detectable depende también del nivel de las interferencias.

La calibración debe efectuarse en forma rutinaria para cada medición o al menos después de cualquier cambio en el circuito de medición. Además es necesario verificar en forma completa las características del detector de descargas parciales e intervalos de tiempo que no excedan de un año.

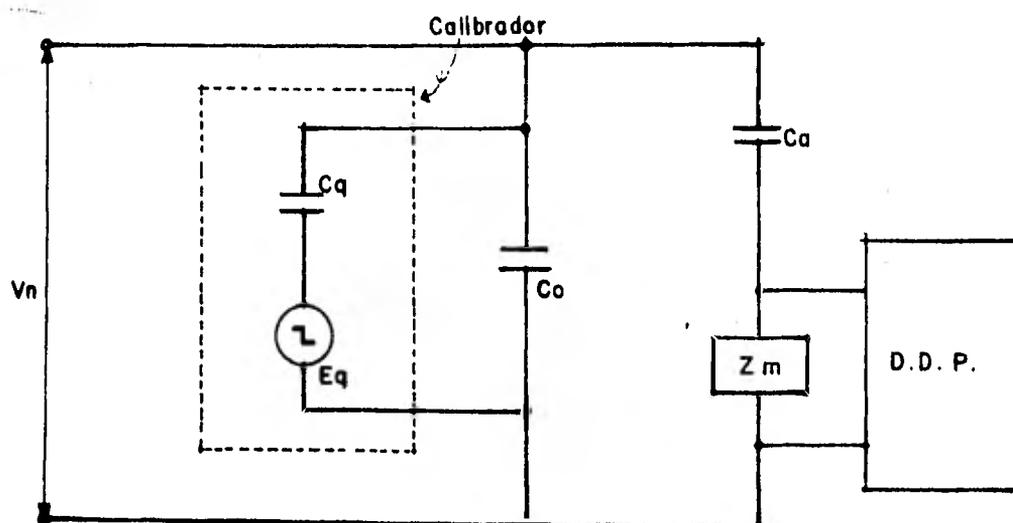
Para la calibración del detector de descargas parciales se requiere un generador de pulsos patrón (calibrador), el cual emite pulsos rectangulares, en serie con una capacitancia pequeña, ($C_c \leq 0.1$ de la capacitancia del objeto de prueba). Dichos pulsos patrón presentan características, como son su forma (escalón o rectangular), los tiempos de frente y cola, esto nos quiere decir que un pulso de calibración (escalón) óptimo o ideal debe presentar un frente con un tiempo de duración cero y cola con un tiempo de duración infinito, tales características hacen-

necesario especificar el tiempo máximo de duración del frente del pulso, el tiempo mínimo de duración de la cola así también la máxima frecuencia propia del detector y un cierto grado de error en la medición.

Hay dos métodos de calibración rutinaria, los cuales son:

Método directo.

Consiste en inyectar entre las terminales del objeto bajo prueba un valor de carga conocido. El circuito se muestra en la figura 2.8



E_q = GENERADOR DE PULSOS PATRON.
 C_q = CAPACITANCIA DE CALIBRACION.
 C_o = CAPACITOR DE ACOPLAMIENTO.
 C_a = OBJETO BAJO PRUEBA.
 Z = IMPEDANCIA DE MEDICION.
 $D.D.P.$ = DETECTOR DE DESCARGAS PARCIALES

FIG. 2.8 CALIBRACION DIRECTA.

Si la capacitancia del calibrador (C_q) tiene un valor -
suficientemente pequeño comparado con la capacitancia del
capacitor de acoplamiento (C_a) y del objeto bajo prueba -
(C_o), el pulso de calibración es equivalente a una carga -
con magnitud:

$$q_c = E_q \cdot C_q \quad (C) = (V) \cdot (F) \quad 2.3$$

La lectura del instrumento es la misma que para una carga
aparente de la misma magnitud y se puede expresar general-
mente como:

$$R_{cd} = F \cdot q_c \quad (C) = (\text{factor}) \cdot (C) \quad 2.4$$

R_{cd} = Valor leído en el instrumento de medición en pico -
Coulombs con calibración directa.

Dado que se conoce el valor de la carga (+c), por lo tan-
to es posible calcular el factor de calibración (F) como -
sigue:

$$F = \frac{R_{cd}}{q_c} \quad (\text{adimensional}) \quad 2.4.1$$

Método indirecto.

Consiste en inyectar a través de la impedancia de medición
un valor de carga, tal como se observa en la figura 2.9

Tomando en cuenta que el tipo de instrumento y circuito -
de medición es el mismo que el empleado para calibración-
directa, la lectura en el instrumento resulta ser:

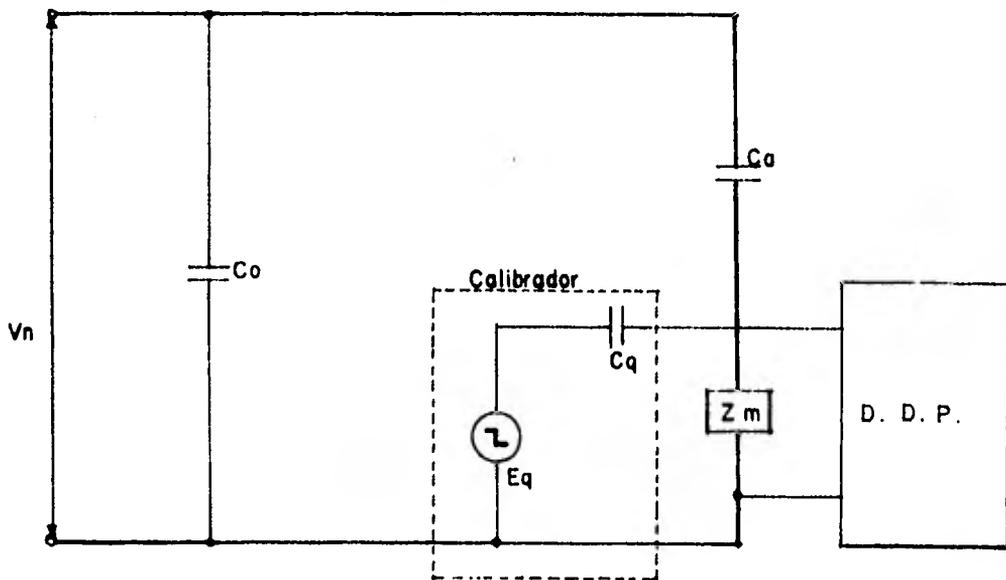
$$R_{ci} = F \cdot q_c \cdot \left(1 + \frac{C_o}{C_a}\right) \quad (\text{coulombs}) \quad 2.5$$

R_{ci} = Valor leído en el instrumento de medición en pico -
Coulombs en calibración indirecta.

Cuando la lectura en el instrumento corresponde al valor -
de carga conocido (q_c) resulta ser igual a la producida -
por una carga aparente (q), obteniéndose lo siguiente:

$$q = \frac{R_{ci}}{F} = q_c \cdot \left(1 + \frac{C_o}{C_a}\right) \quad (\text{Coulombs}) \quad 2.6$$

Por consecuencia es evidente que el método de calibración -
indirecto proporciona correctamente el valor de carga apa-
rente (q) cuando $C_o \gg C_a$.



E_q = GENERADOR DE PULSOS PATRON.

C_q = CAPACITANCIA DE CALIBRACION.

C_a = CAPACITOR DE ACOPLAMIENTO

C_o = OBJETO BAJO PRUEBA

Z_m = IMPEDANCIA DE MEDICION

FIG. 2.9 CALIBRACION INDIRECTA.

C A P I T U L O I I I

INTERFERENCIAS.

III.1 Introducción.

En la realización de la prueba de alta tensión en general, y en especial cuando se teien que realizar la detección tan difícil como lo son las Descargas Parciales, que como sabemos son pequeñísimos impulsos de corriente a través de las cavidades en el seno de un dieléctrico, medio en el que es importante que sean detectados a tiempo dichos impulsos (en las pruebas de aceptación) porque no es posible realizar esta prueba cuando el equipo esta trabajando, y por lo tanto el equipo corre el riesgo de una falla por el alto nivel de descargas parciales. Para la medición de descargas existen interferencias del equipo de medición -- como son capacitores utilizados, transformadores, amplificadores falsos contactos, etc., los cuales pueden contener también descargas parciales.

Lo anterior desde luego, crea errores considerables que en un momento dado pueden ser fatales en la vida del equipo eléctrico; como podemos ver éstas interferencias establecen desde un principio una limitación en la correcta medición de la magnitud de las descargas parciales, si las clasificamos éstas pueden ser

- a).- Ruído blanco originado por el detector de descargas parciales.
- b).- Disturbios originados en el circuito de prueba, excepto en el objeto bajo prueba.
- c).- Disturbios originados en el circuito de prueba, incluso en el objeto bajo prueba.

Entre estas limitaciones podemos incluir la agitación -- térmica del detector de descargas parciales, pero en realidad su

magnitud no es considerable, entre otras cosas limita también la capacitancia del capacitor de acoplamiento en comparación con el capacitor de acoplamiento como vimos en el capítulo anterior.

III.2 Tipo de Interferencias.

Una clasificación muy general de los tipos de interferencias que limitan la detección de descargas parciales es la siguiente:

- 1).- Disturbios que son independientes del voltaje de prueba
- 2).- Disturbios que son dependientes del voltaje de prueba.

Para el primer punto, éstos se manifiestan:

- Por la fuente de alimentación.
- Operación de interruptores en circuitos adyacentes.
- Realización simultanea de otras pruebas de alta tensión.
- Emisiones de radio y televisión.
- Objetos flotantes (No efectivamente aterrizados).
- etc.

Para el segundo punto estos aumentan con la tensión de prueba incluyendo:

- Descargas en el transformador elevador de tensión.
- Conductores de alta tensión de sección reducida.
- Chisporroteos debidos a falsos contactos.

En algunos casos no aumentan con la tensión, por ejemplo Perturbaciones provenientes de motores de un número elevado de revoluciones, taladros, soldadura eléctrica, etc.

III.3 Identificación de Interferencias.

El conocimiento del tipo de descargas parciales que se presentan al efectuarse la prueba, las cuales se detectan, se amplifican y se observan en el osciloscopio del detector, nos conducen a un mayor conocimiento de las mismas, debido a que se pueden identificar los diversos disturbios que tienen lugar al desarrollarse la prueba. Esto nos lleva a una diferenciación formal entre los diferentes tipos de descargas parciales y los disturbios que se presentan, propiciando los elementos necesarios para su eliminación. Para llevar a efecto esto, se cuenta principalmente con el osciloscopio de detector de descargas, el cuál nos muestra principalmente las principales descargas originadas por los disturbios que se existen en la prueba. Para facilitar la detección de dicha descarga se presentan con base de tiempo elíptico en el osciloscopio como de muestra en la fig. 3.1.

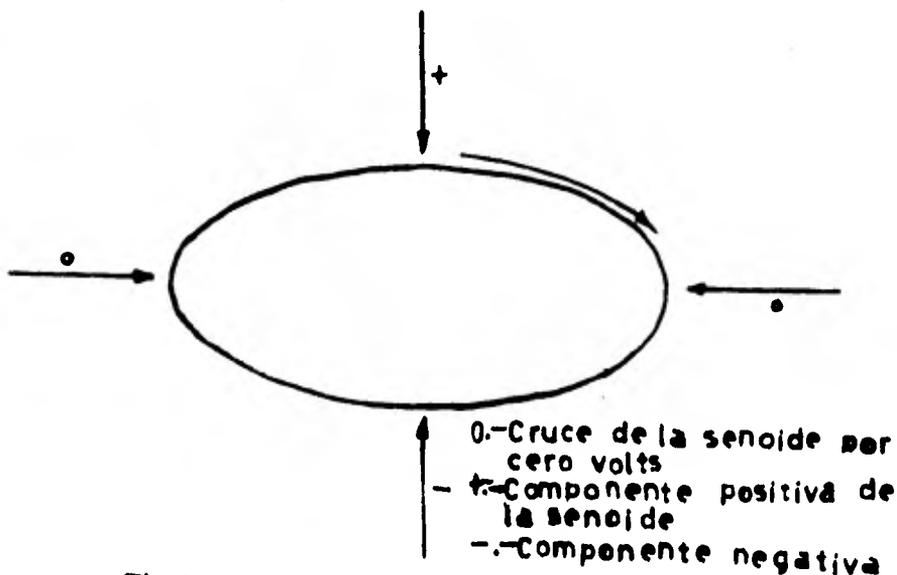


Fig 3.1 BASE DE TIEMPO ELIPTICA

Este tipo de configuraciones por razones de interpretación de las descargas, es más eficaz que si lo fuera con base de tiempo senoidal. Ver Fig. 3.2.

- o.-El cruce de la senoide por cero volts
- ↑.-Componente positiva de la senoide
- ↓.-Componente negativa de la senoide

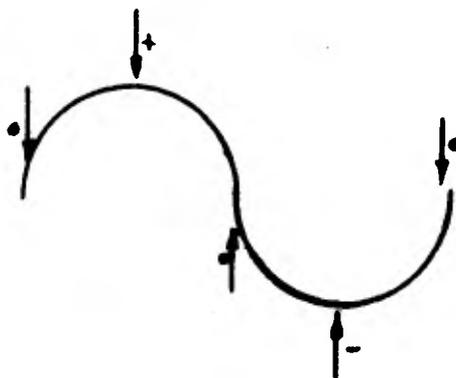


FIG. 3.2 BASE DE TIEMPO SENOIDAL

El diagnóstico del origen de las interferencias que se presentan al realizar la prueba de descargas parciales, se basa principalmente en la observación del grado de variación de la forma de onda de la prueba (elíptica) y magnitud en los semiciclos positivos y negativos. Para esto presentamos algunos de los patrones de los diferentes disturbios que se presentan en forma frecuente durante las pruebas, los cuales se originan por diferentes medios siendo necesario entonces estar familiarizados con ellos, por esto veremos algunos de ellos:

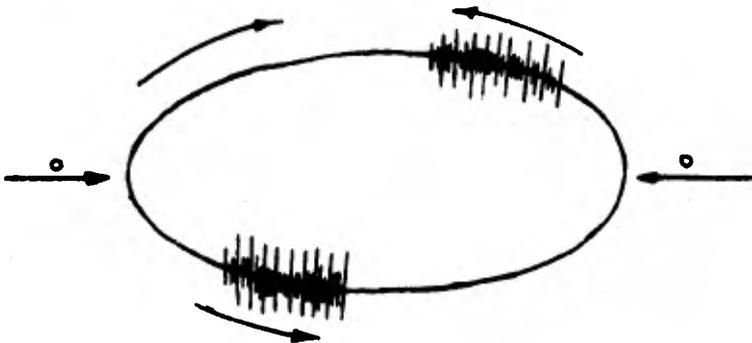
- a).- Máquinas rotatorias sincronas.
- b).- Lámparas fluorescentes.
- c).- Emisiones de radio y T. V.
- d).- Ultrasonido
- e).- Objetos flotantes (No aterrizados.)

- f).- Malos contactos
- g).- Fuente de alimentación principal

A continuación hablaremos brevemente de algunas de las características más importantes de las interferencias anteriores

- a).- Interferencia patrón debido al funcionamiento de máquinas sincronas.

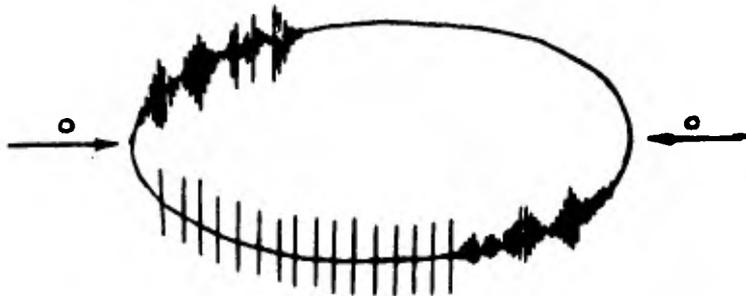
Este tipo de interferencia muestra grupos de pulsos que se mueven a velocidad constante en dirección contraria a las manecillas del reloj en la base de tiempo elíptica, la cual se presenta por la presencia cercana de máquinas síncronas en funcionamiento, ver fig. 3.3



**FIG. 3-3 INTERFERENCIA PATRÓN de MÁQUINAS
ROTATORIAS ASÍNCRONAS.**

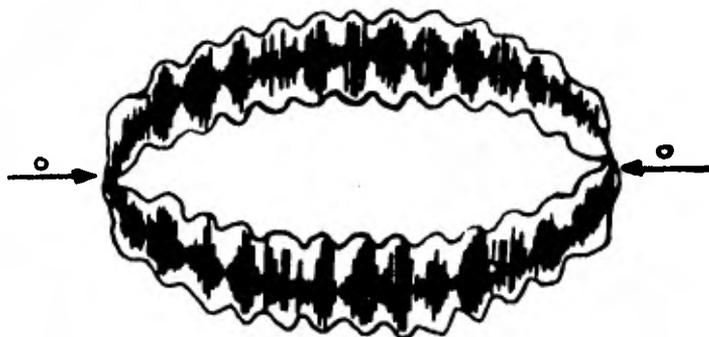
- b).- Interferencia patrón debida al funcionamiento de lámparas fluorescentes.

La característica de esta interferencia es la presencia de dos grupos mayores de pulsos, se presenta cuando hay muchas -- lámparas fluorescentes en el laboratorio.



**FIG.3.4. INTERFERENCIA PATRON b) LAMPARAS
FLUORESCENTES.**

- c).- Interferencia patrón debido a la transmisión de radio y T. V., En este caso se presenta una modulación de ondas de alta frecuencia. Como su nombre lo dice, ésta se presenta con las transmisiones de radio y T. V. se ve en la fig. 3.5



**FIG.3.5 INTERFERENCIA PATRON
c) TRANSMISION DE RADIO Y T.V.**

d).- Interferencia patrón debido a ultrasonido.

Esta interferencia patrón es debida a maquinaria industrial que trabaja a altas frecuencias, también a amplificadores u osciladores, en la pantalla del osciloscopio se presenta ésta - figura.



FIG.36 EJEMPLO DE INTERFERENCIA PATRON

d) ULTRASONIDO

e).- Interferencia debido a efecto corona.

Su característica principal son intensos pulsos en el se miciclo negativo. Se ha visto que ésta interferencia es debida principalmente al diseño erróneo de de los electrodos o conectores de alta tensión, así también a puntas agudas o falsas en las terminales de alta tensión en los circuitos de prueba.

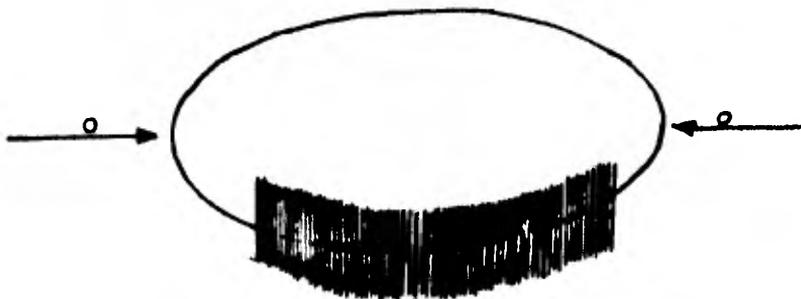


FIG.37 INTERFERENCIA e) EFECTO CORONA

f).- Interferencia debido a objetos flotantes alrededor del -
circuito de prueba.

Este tipo de interferencia aparece en ambos semiciclos--
de la onda de prueba, con pulsos uniformes, con una misma separa-
ción entre ellos o pueden tener la presencia de pares de pulsos--
con las mismas características, esto se debe a la mala conexión--
a tierra de objetos y con ellos de capacitancias perásitas.

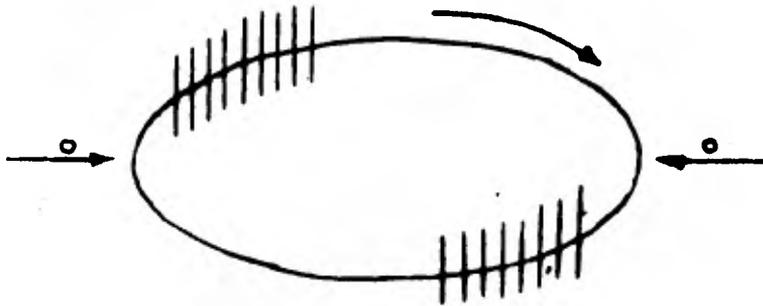


FIG. 3.8 INTERFERENCIA PATRON.

f) OBJETOS FLOTANTES

g).- Interferencia debido a malos contactos.

De esta interferencia diremos que se presenta en forma -
irregular, se distribuye en las marcas de ceros en las elipses,-
La magnitud de estos pulsos es casi constante. Excepto en los --
voltajes de cresta de la onda de prueba (elipse). Este distru -
bio se incrementa con el aumento de la tensión, su causa se debe
a malos contactos entre terminales de conectores, tornillos, em-
palmes de metal, la representación gráfica se presenta en la si-
guiente figura. 3.9

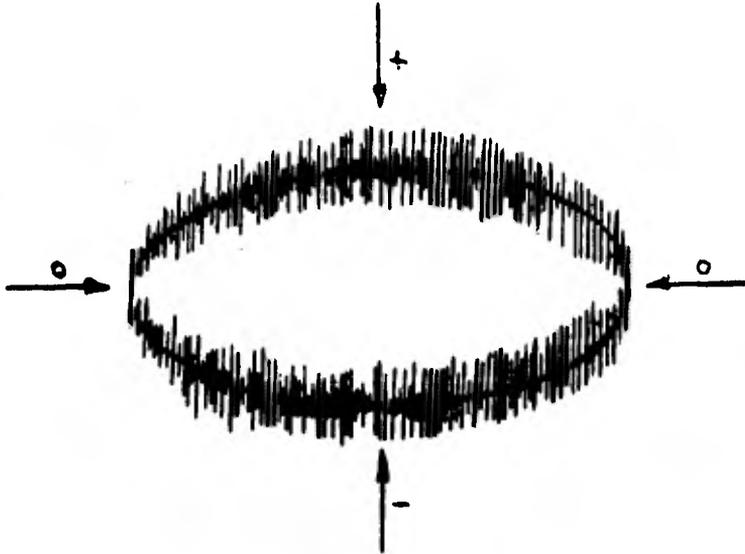


FIG.39 INTERFERENCIA PATRON

g) MALOS CONTACTOS

h).- Interferencia debido a la presencia de alimetnación prin cipal.

Este tipo de interferencia se presenta en pulsos de -- igual magnitud y en forma simétrica, los cuales se deben princi palmente al disturbio que penetra en la línea de alimentación -- principal, afectando al aprato detector de descargas parciales.

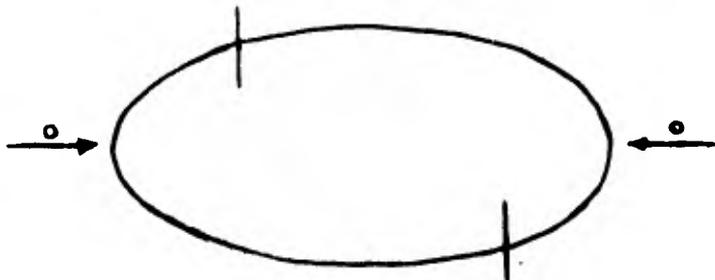


FIG.3.10 INTERFERENCIA PATRON

h) SUMINISTRACION PRINCIPAL

III.4 Formas de penetración de interferencias a las partes fundamentales del circuito de prueba.

Es de importancia fundamental conocer los caminos por los cuales entra la interferencia al circuito de prueba, ya que éste involucra a una mayor eliminación de la misma. Teniéndose que los métodos para la eliminación de la interferencia depende de que el hecho de que hay cuatro vías por las cuales la interferencia entra al circuito de prueba, dichas vías son:

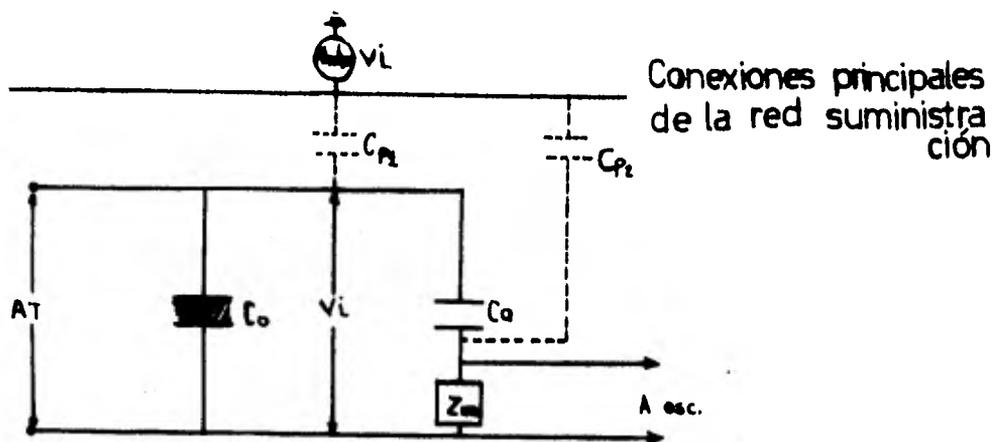
- a).- Transformador elevador
- b).- Capacitor de acoplamiento.
- c).- Impedancia de medición.
- d).- Objeto de prueba.

Ahora bien, las características principales propias de la interferencia que entra en las partes fundamentales del circuito de prueba son las siguientes:

1).- Acoplamiento Capacitivo.

La interferencia entra al circuito de prueba tomando como trayectoria principal la capacitancia parásita, ya sea C_{p1} ó C_{p2} (figura 3.11) en un conductor que lleva una interferencia de voltaje y el circuito de prueba.

Esta penetración de interferencia es más probable cuando se realizan pruebas con objetos de bajo valor capacitivo, ya que el efecto capacitivo, aunque sea pequeño presenta influencia en la medición, esto se observa en la figura 3.11



**FIG. 3.11 TRAYECTORIA DE INTERFERENCIA EN EL CIRCUITO DE PRUEBA
i) ACOPLAMIENTO CAPACITIVO**

2).- Acoplamiento Inductivo

Esta interferencia penetra al circuito de prueba por inductancia mutua (M) entre un conductor que lleva una interferencia y el circuito de prueba. Dicha interferencia es más probable cuando se realiza la prueba con objetos de alto valor capacitivo; teniéndose que a pesar de un bajo valor de inductancia mutua nos proporciona cierto disturbio, esta trayectoria puede interpretarse mejor si observamos la figura 3.12

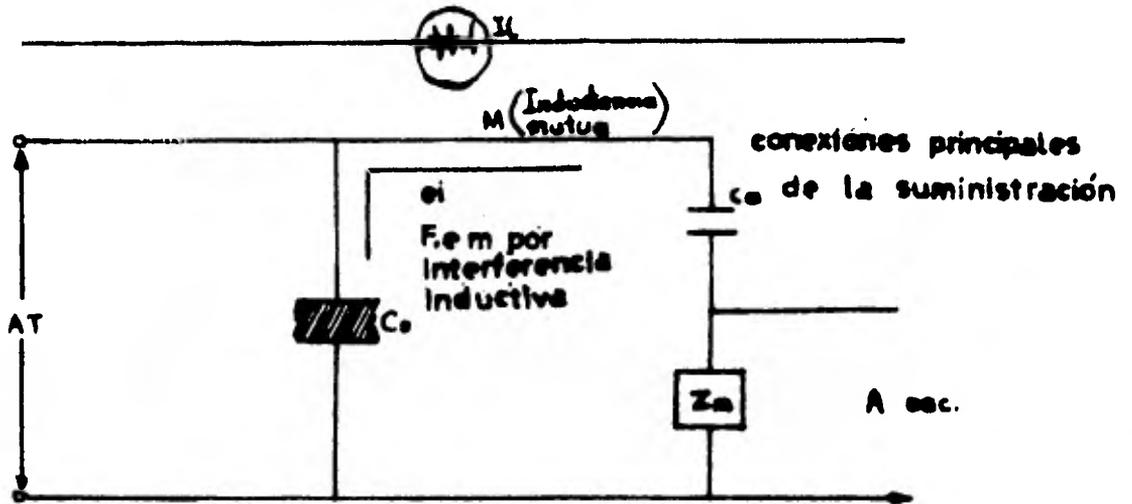


FIG.312 TRAYECTORIA DE INTERFERENCIA EN EL CIRCUITO DE PRUEBA
ii) ACOPLAMIENTO INDUCTIVO

3).- Acoplamiento a tierra.

Este tipo de acoplamiento permite la introducción de interferencia por múltiples puntos de conexión a tierra. Este tipo de interferencia se presenta cuando una corriente de interferencia fluye en el sistema de tierras, penetrando por alguna de las conexiones de éstas y saliendo por otros puntos produciéndose una caída de tensión en el circuito de prueba, esta interferencia se ve en la figura 3.13

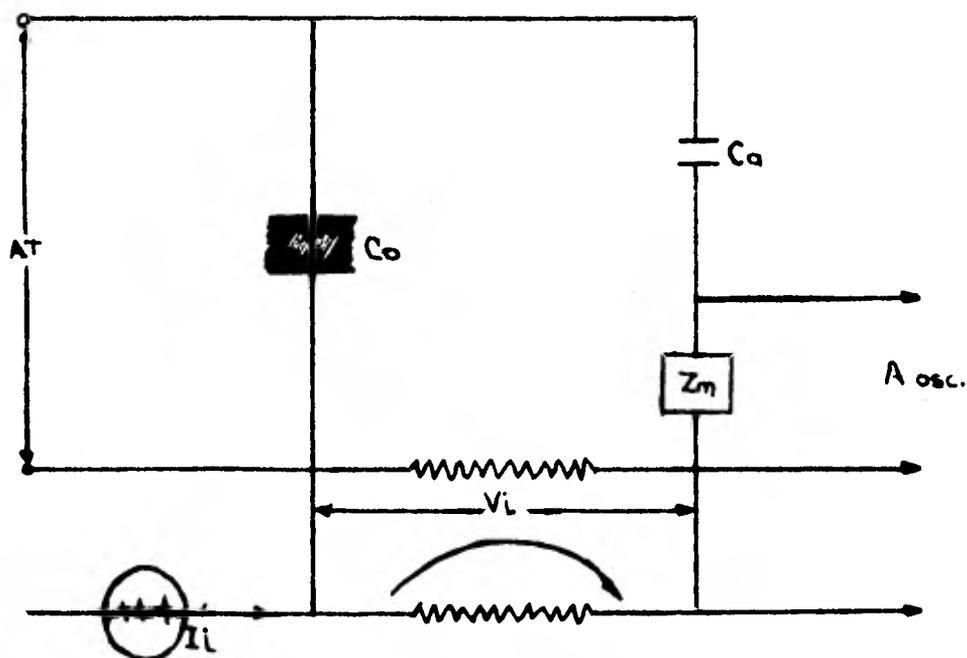


FIG. 3.13 TRAYECTORIA DE INTERFERENCIA EN EL CIRCUITO DE PRUEBA

(iii) ACOPLAMIENTO A TIERRA

4).- Acoplamiento por la fuente de alta tensión.

Esta interferencia penetra al circuito de prueba por la alimentación principal, dicha trayectoria es por la fuente de alta tensión (transformador elevador); dado que se tiene una capacitancia parásita entre el devanado de alta y baja tensión del transformador elevador. Esto se observa en la fig. 3.14.

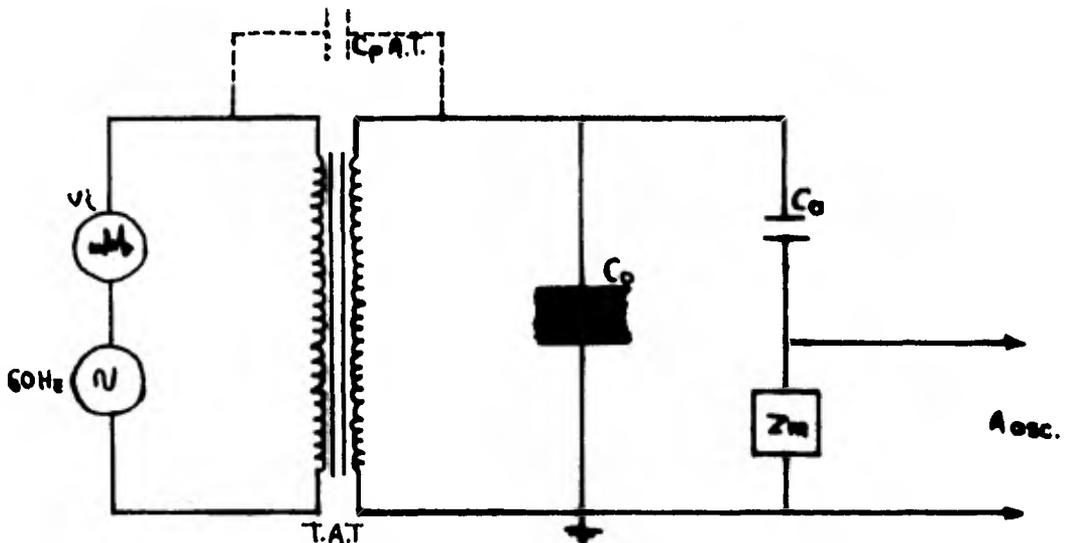


FIG. 314 TRAYECTORIA DE INTERFERENCIA EN EL CIRCUITO DE PRUEBA
iv) ACOPLAMIENTO POR LA FUENTE DE ALTA TENSION

Fig. 3.14 Trayectoria de interferencia en el circuito de prueba por acoplamiento de fuente de alta tensión.

III.5 Medios para optimizar la medición de descargas parciales

La observación de la interferencia que pentra al circuito de prueba por varias partes del mismo, es relevante puesto que el osciloscopio del detector de descargas parciales nos indica la causa y el tipo de interferencia que tiene lugar, lo cual ayuda a seleccionar los medios y dispositivos que nos eviten la interferencia, ahora bien, la eliminación de una interferencia por acoplamiento, algunas veces repercute en las restantes incrementándola. Esto conduce a que presentamos algunas medidas preliminares a la medición de las descargas que eviten disturbios, aumentando la sensibilidad de la medición.

III.5.1 Precauciones primarias que evitan la interferencia.

Para todos los disturbios en general, existen formas y medios de su eliminación, para esto hay que tomar ciertas medidas primarias siendo las siguientes:

a).- Conexión correcta del circuito.

Esto es, que la conexión correcta del circuito nos da -- una respuesta apreciable en el detector, evita la falla que provoca el equipo, proporciona mayor sensibilidad en la respuesta -- de la descarga que sucede en el objeto bajo prueba, podemos ver la figura (fotografía).

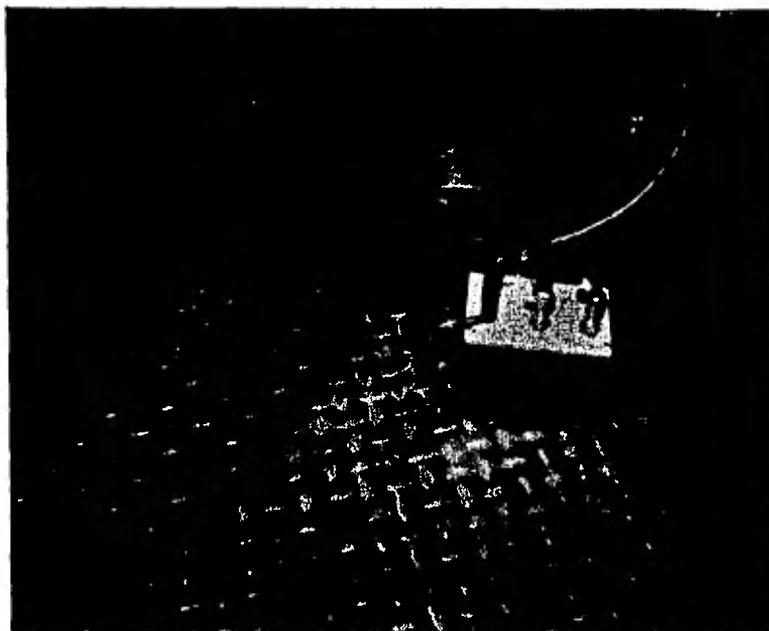
b) Restricción de un circuito inadecuado.

En todo el circuito de prueba se deben evitar vueltas inecesarias y largos cables de conexión por que se presenta efecto inductivo y esto nos produce interferencia en las mediciones parciales. Se recomienda que la conexión sea lo más corta posible y por ejemplo que la impedancia de medición y el capacitor de acoplamiento estén dentro de la "jaula de faraday". Es indispensable la utilización de cables coaxiales en las mejores condiciones principalmente entre la impedancia de medición y el detector de descargas parciales. Esto se observa en la fotografía siguiente.



c) Evitar varios puntos de conexión a tierra.

Si se tienen varios puntos de conexión a tierra para el circuito de prueba, la interferencia tiene mayor posibilidad de entrar y manifestarse en el circuito de prueba. Para que ésta posibilidad disminuya, hay que utilizar un solo punto de conexión a tierra - como en la figura siguiente:



Fotografía que muestra la conexión a tierra y la impedancia de medición. (unidad de entrada)

- e) Apretar muy bien empalmes (juntas) y tornillos.

En todo el circuito se presentan empalmes y tornillos que si no están bien apretados y bien juntos, producen chisporroteos y por consiguiente interferencias.

- f) Evitar espacios indeseables.

En el circuito de prueba pueden presentarse arcos y chisporroteos por distancias a tierra, que a alta tensión originan interferencias en la medición por ello hay que verificar las distancias a tierra.

- g) Evitar partes flotantes.

En el circuito de prueba se presenta un chisporroteo que se manifiesta en objetos conductores flotantes - principalmente los que están directamente en el piso por lo que hay que aterrizarlos correctamente.

- h) Proveer al objeto bajo prueba con electrodos libres de descargas parciales. así como al resto del equipo de prueba de alta tensión.

En el objeto bajo prueba se deben tener electrodos - libres de descargas así como el resto del equipo, - que si no se logra esto, se tiene un mayor nivel de disturbios.

- i) Utilizar si es posible un circuito balanceado.

Con el empleo de un circuito de detección balanceado las interferencias son mínimas en la medición de descargas parciales.

- j) Utilizar jaula de faraday para blindar el circuit de prueba.

En este punto es importante señalar que para una ma -
vor respuesta en el detector de descargas parciales -
tiene que estar perfectamente blindada o apantallada -
todo el circuito de prueba, observar la figura siguiente:

III.5.2 Medios fundamentales que evitan la interferencia en el circuito de prueba.

La observación y conocimiento de la interferencia que penetra al circuito de prueba, por varios caminos o trayectorias es de relevancia, para poder mejorar la sensibilidad de la medición de descargas, parciales el cuál nos muestra si existe o no interferencia antes y al realizar la prueba.

Para esto se tiene ya conocimiento de las interferencias patrones (III.3), en las cuales se hace la comparación, dandonos así el medio, arreglo o dispositivo en el circuito que nos evite la interferencia que tenga presencia.

Existen procedimientos que presentan dificultad para realizarlos en la eliminación de las interferencias, esto trae como consecuencia que existan ciertas técnicas para eliminar los disturbios, tales medios se describen enseguida.

1.- Eliminación de la interferencia entre el detector y la alimentación principal.

El circuito de prueba completo debe conectarse en forma correcta, teniendo en función solamente la impedancia de medición y el detector de descargas parciales, estos se hace poniendo a funcionar el detector, para observar si se presenta algún disturbio, si no lo hay se procede a efectuarse las pruebas, y si lo hay se observa que tipo de disturbio hay y se procede a su eliminación, ya sea blindado o apantallar éstas partes: el resto de la interferencia que podría presentarse en este caso. penetra por los conductores de alimentación al detector de descargas. Este tipo de interferencias se

eliminan, ya sea conectando un transformador de aislamiento y/o filtro entre la alimentación y el detector. Estos elementos en el detector ERA que usamos para realizar este trabajo ya tiene instalados interiormente estos importantes elementos.

2.-Utilizando cables coaxiales de impedancia adecuada.

Si el detector de Descargas se encuentra a determinada distancia del circuito de prueba, la interferencia captada por los cables de conexión de Z_m al detector, principalmente se puede eliminar utilizando cables coaxiales con una o doble pantalla de blindaje, así como también el aterrizamiento en un solo punto de la pantalla externa nos dará mejores resultados. Sin embargo con el aterrizamiento en un solo punto, la corriente de interferencia puede fluir en la pantalla más externa debido al efecto capacitivo entre la pantalla del cable y la tierra del sistema. Esto se muestra en la figura 3.15

Es importante señalar que el blindaje eficiente, de un cable es determinado por la "impedancia superficial de transferencia", la cuál se define como la razón del gradiente de potencial en el cable y el flujo de corriente en la pantalla.

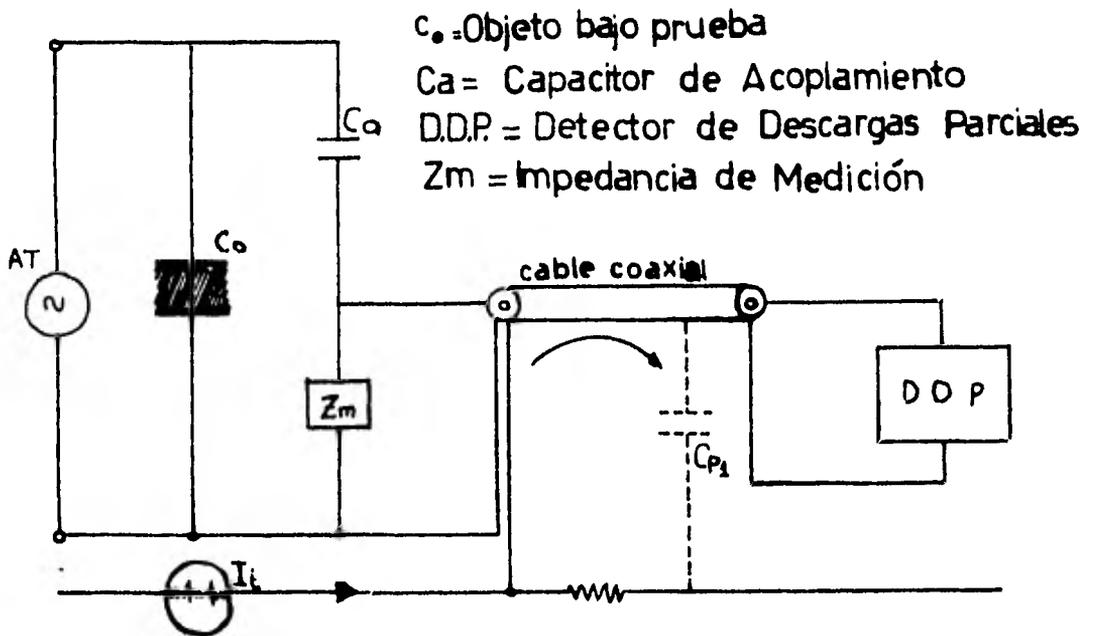


fig.314 CABLES COAXIALES ADECUADOS

3.- Evitar el efecto corona

Este efecto provoca disturbios indeseables disminuyendo la sensibilidad en la medición de descargas parciales presentándose en las terminales de los conectores de alta tensión o en alguna punta aguda en ello.

La causa de este efecto en el circuito de prueba se debe a un mal diseño de los conectores y a no evitar alguna punta aguda en la terminal de alta tensión (terminal), del transformador elevador, capacitor de acoplamiento, divisor de tensión y en las terminales de transformador bajo prueba). Como se observa el efecto es externo o alrededor de conectores y terminales de alta tensión, por tal motivo hay que diseñar

el circuito de prueba, libre de este efecto (descargas por corona), este se logra mediante el uso de esferas de cobre o aluminio en las terminales antes mencionadas, - aunque éstas esferas a muy alta tensión presentan desventajas como son el costo y su difícil manejo. Como una solución a este problema surge el empleo de electrodos toroidales, los cuales presentan versatilidad en el montaje en el circuito de prueba. Esto es que los toroides pueden ser acoplados en diferentes formas entre sí, por ejemplo uno o dos en forma coaxial con sus planos paralelos, tres formando un triángulo, cuatro formando un tetraedro, etc.. por lo general se usa el arreglo de uno o dos toroides, según la capacidad del equipo que se requiera.

Su principal ventaja es que presenta facilidad en las conexiones, esto se logra mediante arreglos especiales en los conectores como en las terminales de alta tensión.

Por otra parte, los conectores de alta tensión deben ser cilíndricos, de diámetro adecuado a la tensión de prueba así como presentar un buen acabado.

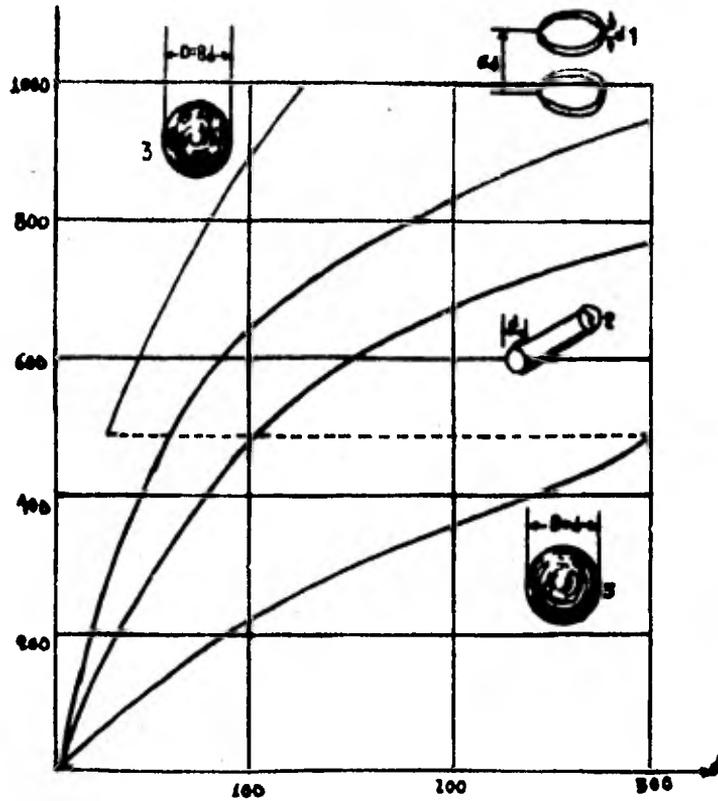
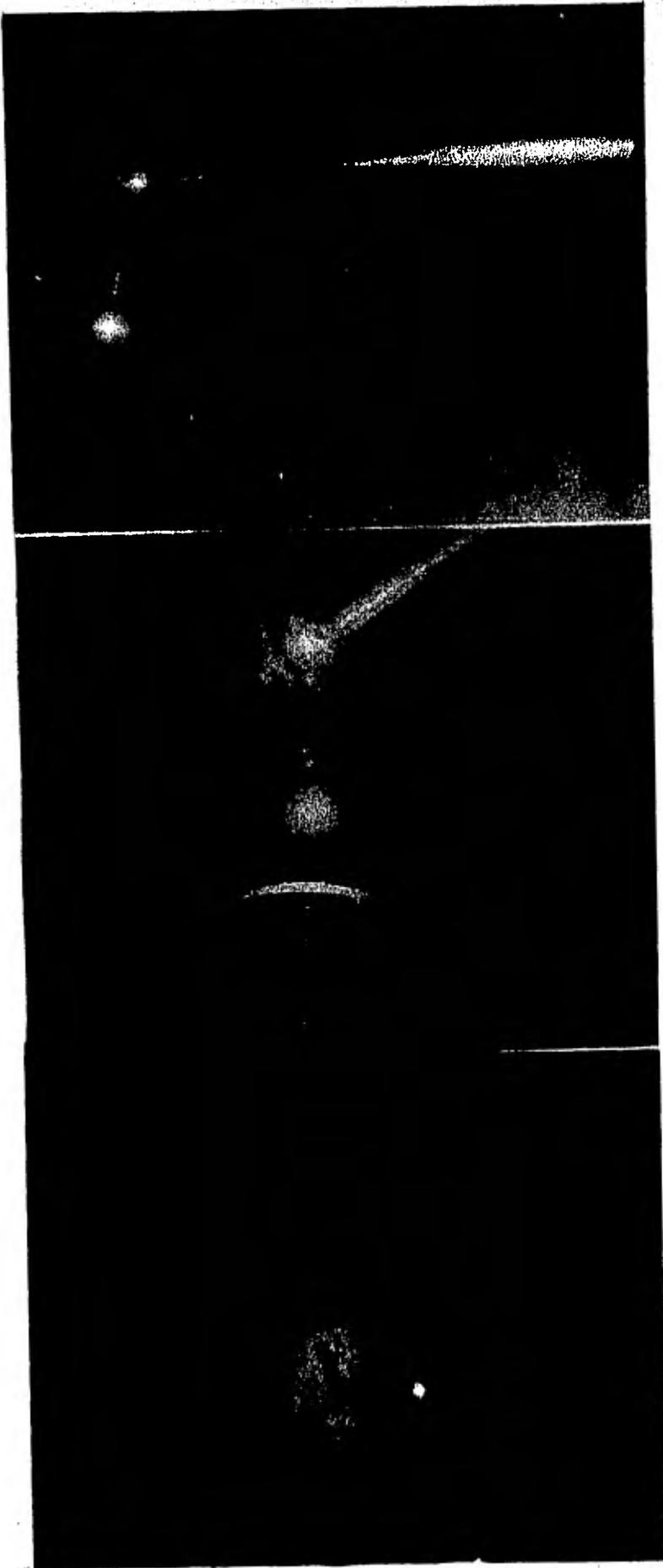


FIG. 3.15 APROXIMACION DEL VOLTAJE DE INICIO DE CORONA PARA DIFERENTES ELECTRODOS EN AIRE, A 5 MTS. SOBRE EL PLANO DE LA TIERRA
 1= DOBLE TOROIDE 2= CILINDRO 3= ESFERA



FOTOGRAFIA QUE MUESTRA LOS CONECTORES ESFERICOS PARA EVITAR EL EFECTO CORONA.

4.- Utilizando un Filtro y Transformador de Aislamiento

Se tiene que en muchos de los casos de interferencia, ésta penetra al circuito de prueba desde la fuente principal de alimentación a través de la fuente de alta tensión o del detector de descargas. Para que esto no suceda se conecta ya sea un filtro o un transformador de aislamiento a la suministración.

Los filtros para este uso tienen la característica de rechazar todas las frecuencias que están dentro del ancho de banda del detector (40 a 200 KHz), dejando pasar la frecuencia de prueba que es 60 Hz. Por tal razón es conveniente tener un filtro paso bajas con una frecuencia de corte bajo. Ahora bien si el suministro de energía al equipo se toma una derivación principal en ambos conductores ya sea en la línea o en el neutro se presenta la interferencia para esto se puede realizar un arreglo en la conexión por medio de un filtro y transformador de aislamiento.

Por la realización de ambos dispositivos se tiene la eliminación de la componente simétrica y asimétrica respectivamente. En algunos casos el transformador de aislamiento da muy buenos resultados para la eliminación de la interferencia sin la utilización de el filtro. El transformador de aislamiento debe tener la capacidad del transformador de prueba, presentar un blindaje por medio de dos pantallas electrostáticas, las cuales cubren totalmente cada uno de los dos devanados respectivos. Ahora bien, se obtienen mejores resultados si la pantalla que blindada al devanado primario se conecta a la tierra principal del sistema y la pantalla del secundario a la tierra del laboratorio.

Por otra parte por lo regular los filtros son capacitores e inductancias, los cuales se calculan para el equipo de prueba que se utiliza. Todo esto trae como consecuencia - un arreglo óptimo del circuito de prueba para alcanzar - a su vez la optimización en la realización y medición de las descargas parciales al efectuar la prueba. Todo el - arreglo del circuito así también como los componentes se observan en la siguiente figura.

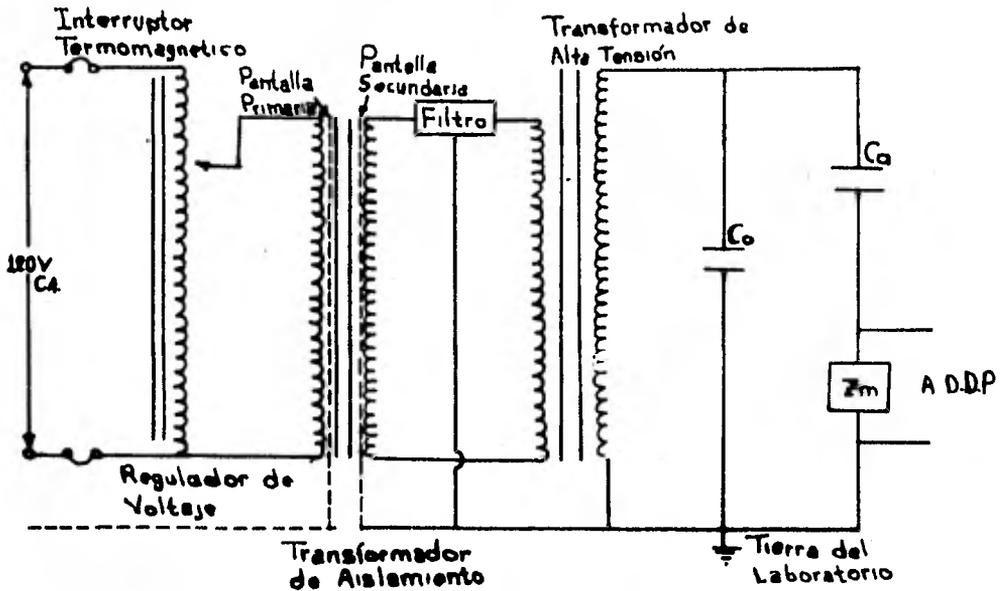


FIG. 3.16 DISPOSICION DEL TRANSFORMADOR DE AISLAMIENTO Y FILTROS PARA SUPRIMIR LA INTERFERENCIA QUE PENETRA AL CIRCUITO DE PRUEBA DE LA SUMINISTRACION PRINCIPAL, POR EL TRANSFORMADOR DE ALTA TENSION.

Cabe señalar que también es necesario el empleo de un transformador de aislamiento para la alimentación del detector de descargas parciales control y alumbrado. En el apéndice tratamos las características de un Laboratorio de descargas parciales.

5.- Utilización de la "Jaula de Faraday".

Este es uno de los medios más importantes para la eliminación de las interferencias (elimina ondas de radio T.V. y ruido en general.

La jaula de Faraday se utiliza cuando es necesario blindar todo el circuito de prueba, aunque en algunas ocasiones el blindaje solo se realiza parcialmente, solo el circuito sin blindar el detector de descargas, esto se hace como medida de seguridad, tal que al realizar las pruebas el equipo de detección queda fuera y por consiguiente el personal no corre riesgos, pero tanto la primera como la segunda alternativa son función de las características del laboratorio como son: su función, tamaño, el grado de blindaje que se requiere, etc.

Existen varios tipos de construcción de jaulas, las cuales pueden ser por medio de blindajes ya sea pantalla metálica, lámina de aluminio, cobre u otro metal que evite la interferencia.

Una de las limitaciones aunque sea pequeñas de la jaula son las entradas, las uniones de éstas entradas con el resto de la jaula, el ducto de los conductores de entrada principales al equipo de prueba.

El tipo de blindaje por medio de mallas se observa en la fotografía siguiente:



Para tener una idea más objetiva tanto del origen -
diverso como la eliminación de las interferencias se
tiene la tabla 3.1

	INTERFERENCIA	ELIMINACION.
CAPTACION.	<p>Interferencia de la sumi- nistración principal.</p> <p>Pruebas adyacentes de al- ta tensión.</p> <p>Ondas de radio y televi- sión.</p> <p>Descargas inductivas.</p>	<p>Conectar un filtro en los conectores de alimentación y/o en la línea de alta - tensión. Utilizar un detector ba- lanceado.</p> <p>Blindar. Quitar las prue- bas.</p> <p>Blindar. Utilizar un detec- tor libre de señales de - radio. Colocar un filtro antes - del detector.</p> <p>Eliminar la causa. Blindar.</p>
DESCARGAS EN EL CIRCUITO DE PUEBA.	<p>Fuente de alta tensión.</p> <p>Línea de alta tensión - - (conectores).</p> <p>Capacitor de acoplamiento.</p> <p>Terminales. Descargas en- los conductores, buses, - etc.</p>	<p>Transformador libre de des- cargas parciales. Filtro en la línea de alta tensión, usar detector ba- lanceado.</p> <p>Línea de alta tensión li- bre de descargas parciales. Filtro en el final de la - línea de A.T., usar detec- tor balanceado.</p> <p>Capacitor de acoplamiento- libre de descargas parcia- les o probar dos muestras - al mismo tiempo.</p> <p>Terminales, buses, etc., - deben estar libre de des- cargas parciales; emplear- detector balanceado.</p>
AUIDO POR MA- LOS CONTACTOS.	<p>Ruido por mal contacto en el circuito de pueba.</p> <p>Ruido por mal contacto en la boquilla, en el cambia- dor de derivaciones o el aterrizamiento de el nú- cleo de transformadores.</p>	<p>Buenas conexiones y ateri- zamiento.</p> <p>Verificación de los contac- tos antes de la pueba.</p>

TABLA 1.1 ORIGENES Y ELIMINACIONES DIVERSAS DE LA INTERFERENCIA.

C A P I T U L O I V

PRUEBA DE DESCARGAS PARCIALES A TRANSFORMADORES

DE MEDICION.

IV.1 Introducción.

Para realizar la prueba de Descargas Parciales en -- Transformadores de Medición necesitamos acudir a la industria -- donde se realizan estas pruebas, para ello contamos con la valiosa ayuda y asesoramiento del personal muy profesional con -- que cuenta Electotécnica Balteau, que entre otros equipos eléctricos fabrica Transformadores de Potencial y Transformadores de Corriente; en esta empresa dan especial importancia al aspecto control de calidad de los equipos que produce, por eso -- cuenta con equipos modernos tanto para realizar la prueba de -- Descargas Parciales como otras pruebas a Transformadores como son:

- a).- Pruebas de tensión aplicada a frecuencia industrial, verificación del aislamiento de los embobinados entre si y con relación a tierra.
- b).- Pruebas de tensión inducida, verificación de aislamiento entre espiras y entre capas de los embobinados.
- c).- Pruebas de impulso, verificación del aislamiento contra descargas atmosféricas y sobretensiones transitorias.

La Prueba de Descargas Parciales aunque aún no está -- incluida en las normas de transformadores de medición, es necesaria para asegurar la buena calidad de los aislamientos.

Es indispensable hacer la distinción entre tensión -- de servicio o tensión nominal de un sistema y tensión nominal -- de aislamiento.

La tensión de servicio: Es la tensión entre fases - por la cuál el sistema se denomina, mientras que la tensión nominal de aislamiento es la que sirve de base a la determinación de las tensiones de prueba y define así el nivel de aislamiento de los transformadores.

La tensión nominal de aislamiento: No coincide forzosamente con la tensión de servicio. Las condiciones particulares de utilización, (Tormentas frecuentes, atmosfera contaminada, altitud, etc.), pueden conducir a escoger una tensión nominal de aislamiento más elevada como precaución para aumentar la seguridad.

Los valores de las tensiones de prueba (según normas ANSI), aplicados a los embobinados primarios se dan en las tablas 4A y 4B, los embobinados secundarios se prueban entre si y a tierra con una tensión de 2.5 KV durante un minuto.

Tabla 2A

CLASES NORMALES DE AISLAMIENTO, RELACIONES DE TRANSFORMACION NORMALES, TENSIONES PRIMARIAS NORMALES Y PRUEBAS DIELECTRICAS NORMALES PARA TRANSFORMADORES DE POTENCIAL

Datos de placa			Tensión usual del circuito	Conexión preferible del transformador	Prueba normal a frecuencia industrial	Pruebas dieléctricas normales			
Clase normal de aislamiento	Relaciones de transformación normales	Tensiones primarias nominales normales				Pruebas de impulso		Onda plana 1.2 x 50 µs	
						(Onda cortada)			
						Tensión de cresta	Tiempo, ms. de arco		KV cresta
KV	—	Volts	Volts	—	KV eficaces	KV eficaces	µseg.	KV cresta	
Grupo 1: 0.6 a 15 KV, aislamiento completo, límite de tensión Y = \sqrt{N} x límite de tensión Δ									
0.6	1:1	120/200V	120	Δ ó Y sólo Y	4	12	1.0	10	
	2:1	240/416V	240 416	Δ ó Y sólo Y					
1.2	1:1	120/200V	120	Δ ó Y sólo Y	10	36	1.0	30	
	2:1	240/416V	240 416	Δ ó Y sólo Y					
	4:1	480/832V	480 832	Δ ó Y sólo Y	10	36	1.0	30	
	5:1	600/1040V	600 1040	Δ ó Y sólo Y					
5.0	20:1	2400/4160V	2400 4160	Δ ó Y sólo Y	19	69	1.5	60	
8.7	35:1	4200/7200V	4200 7200	Δ ó Y sólo Y	26	88	1.6	75	
	40:1	4800/8320V	4800 8320	Δ ó Y sólo Y					
15 L	60:1	7200/12470V	7200 12470	Δ ó Y sólo Y	34	110	1.8	95	
	70:1	8400/14560V	8400 14560	Δ ó Y sólo Y					
15 H	60:1	7200/12470V	7200 12470	Δ ó Y sólo Y	34	130	2.0	110	
	70:1	8400/14560V	8400 14560	Δ ó Y sólo Y					
Grupo 2: 0.6 a 345 KV, aislamiento completo, límite de tensión Y = límite de tensión Δ									
0.6	1:1	120/120V	120	Δ ó Y	4	12	1.0	10	
	2:1	240/240V	240	Δ ó Y					
	4:1	480/480V	480	Δ ó Y					
	5:1	600/600V	600	Δ ó Y					
2.5	20:1	2400/2400V	2400	Δ ó Y	15	54	1.25	45	
	40:1	4800/4800V	4800	Δ ó Y					
8.7	60:1	7200/7200V	7200	Δ ó Y	26	88	1.6	75	
15 L	100:1	12000/12000V	12000	Δ ó Y	34	110	1.8	95	
	120:1	14400/14400V	14400	Δ ó Y					
15 H	100:1	12000/12000V	12000	Δ ó Y	34	130	2.0	110	
	120:1	14400/14400V	14400	Δ ó Y					
25	200:1	24000/24000V	24000	Δ ó Y	50	175	3.0	150	
	34.5:1	34500/34500V	34500	Δ ó Y					
66	300:1	36000/36000V	36000	Δ ó Y	70	230	3.0	200	
	400:1	46000/46000V	46000	Δ ó Y					
Grupo 3: 25 a 345 KV, aislamiento reducido en el extremo neutro, para conexión directamente a tierra									
25	1200:240:1	1440 para 2500V	2400	sólo Y ₂	50	135	3.0	150	
	34.5:1	1754.300:1	20125 para 34500V	34500					sólo Y ₂
	40:1	2400:400:1	2760 para 46000V	46000					sólo Y ₂
69	3500:600:1	40250 para 69000V	69000	sólo Y ₂	140	400	3.0	350	
	92:1	4900:800:1	55200 para 92000V	92000					sólo Y ₂
115	6000:1000:1	69000 para 115000V	115000	sólo Y ₂	230	630	3.0	550	
138	7000:1200:1	80500 para 138000V	138000	sólo Y ₂	275	750	3.0	650	
	161	8070:1400:1	92000 para 161000V	161000					sólo Y ₂
196	10000:1700:1	115000 para 196000V	196000	sólo Y ₂	395	1035	3.0	900	
230	15000:2000:1	138000 para 230000V	230000	sólo Y ₂	460	1210	3.0	1050	
	287	15000:2500:1	172500 para 287000V	287000					sólo Y ₂
345	18000:3000:1	207000 para 345000V	345000	sólo Y ₂	690	1705	3.0	1550	
		25000:4500:1		sólo Y ₂					

* Aún no ha sido normalizado.

TA B L A 28
CLASES NOMINALES DE AISLAMIENTO Y PRUEBAS DIELECTRICAS
PARA TRANSFORMADORES DE INSTRUMENTOS.

<i>Clase de Aislamiento</i>	<i>Prueba de frecuencia Industrial</i>	<i>Prueba de impulso en- ta completa KV Cresta</i>	<i>ONDA CORTADA KV Cresta</i>	<i>Tiempo minimo de flameo en MS.</i>
0.6	4	10	12	—
1.2	10	30	36	1
2.5	15	45	54	1.5
3.0+	19	60	69	1.5
6.7	26	75	90	1.6
15L	34	95	111	1.8
15H	34	110	130	2
18	40	125	145	2.25
25	50	150	175	3
34.5	70	200	230	3
44	95	250	290	3
69	140	350	400	3
92	185	450	520	3
115	230	550	630	3
138	275	650	750	3
161	325	750	865	3
180	360	825	950	3
196	395	900	1,035	3
215	450	975	1,120	3
250	460	1,050	1,210	3
260	520	1,175	1,350	3
287	575	1,300	1,500	3
315	630	1,425	1,640	3
345	690	1,550	1,780	3
375	750	1,675	1,925	3
400	800	1,800	2,070	3
430	860	1,925	2,220	3
460	920	2,050	2,360	3
490	980	2,175	2,500	3
520	1,040	2,300	2,650	3
545	1,090	2,425	2,800	3

Esta tabla se aplica a Transformadores usados individualmente.

† La terminal destinada a conectarse a tierra en condiciones normales de operación en Transformadores de Potencial de aislamiento reducido, deberán soportar la prueba de 19 KV 60 Hz. durante un minuto.

IV.2 Equipo de Prueba para Transformadores de Medición

El equipo detector de descargas parciales que utilizamos es el Modelo 3 ERA (Electrical Research Association) fabricado por F. C. Robinson and Partners el detector tiene las siguientes características:

Límite de capacitancia del objeto bajo prueba: de 6 a -- 250 pE.

Sensibilidad: 0.02 pC para objetos bajo prueba de 400 pF

Resolución: 20 micro segundos (250 descargas por un cuarto de ciclo).

El detector incorpora un generador de pulsos patrón.

Este instrumento permite visualizar las cargas individuales sobre la pantalla de un osciloscopio que utiliza un barrido elíptico sincronizado con la tensión de prueba.

Tiene además las siguientes características:

- A).- La forma y distribución de las descargas sobre la elipse indica la procedencia en forma aproximada de las descargas; si son internas o externas, si provienen de un arista (efecto corona), de una cavidad en el seno del dieléctrico, o de una cavidad limitada por un lado de un material dieléctrico y del otro por un conductor o si se tienen falsos contactos.
- b).- El pulso patrón permite determinar la magnitud de las -- descargas en pC.
- c).- Permite utilizar unidades de entrada (impedancia de medición) según la capacitancia del objeto.

Para medir descargas en transformadores de instrumento utilizaremos impedancia de medición No. 3 que abarca la capacitancia de 100 a 1500 pF.

En la figura 4.1 se muestra el diagrama de bloques del laboratorio de medición de descargas parciales a transformadores de medición,

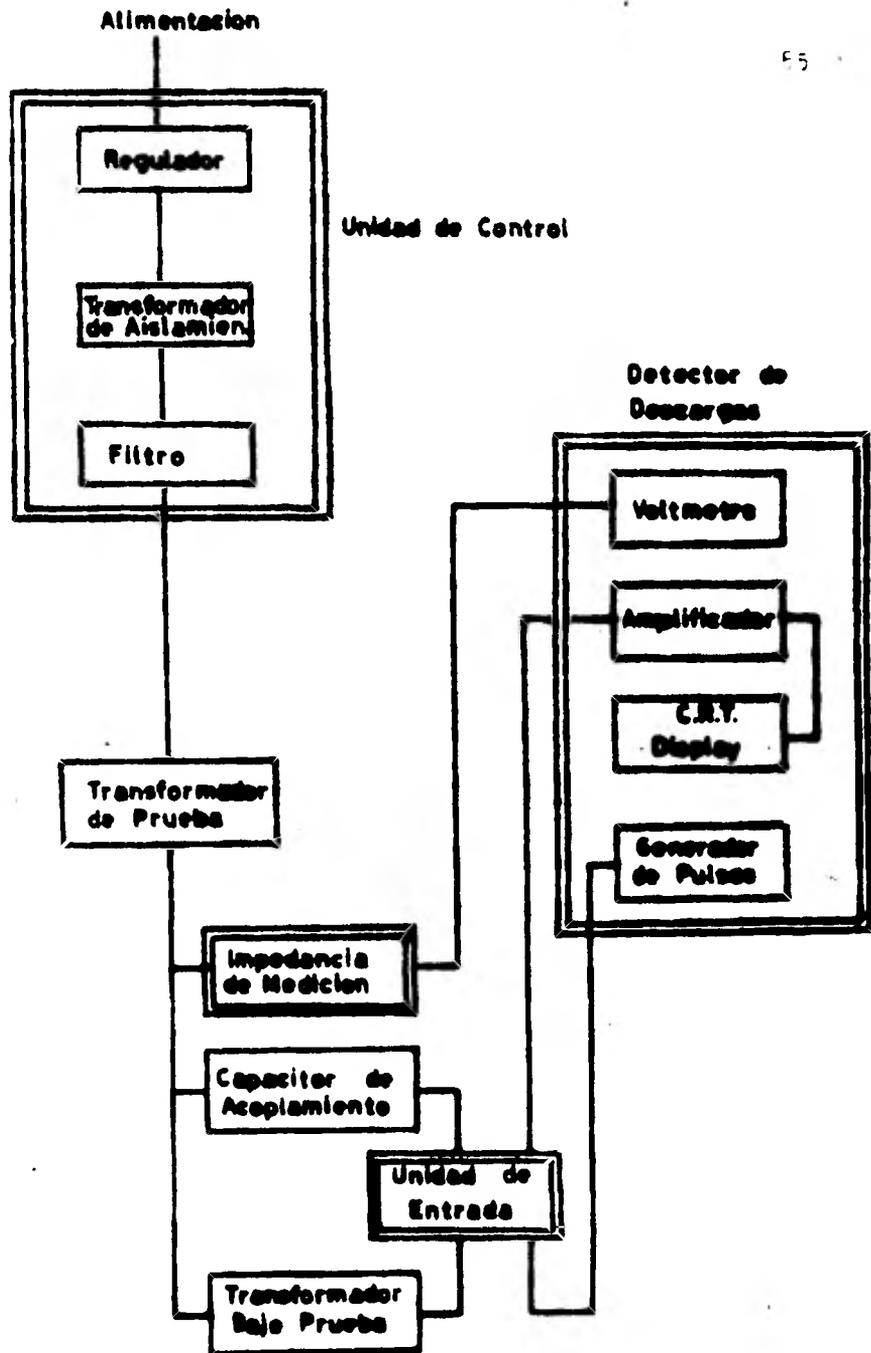
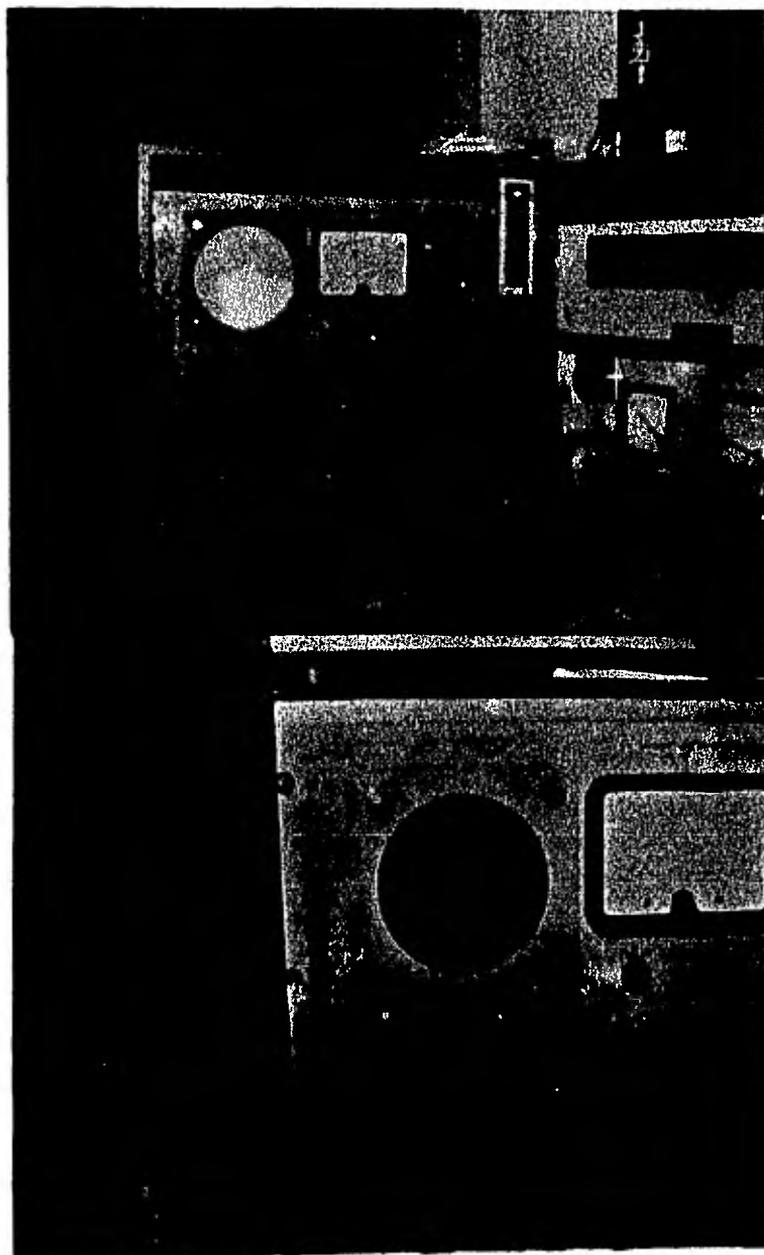


fig 4.1 Diagrama de Bloques de una prueba típica

d).- Siendo un instrumento de banda ancha (40 a 220 KHZ), permite la detección de descargas individuales que tienen a proximadamente la misma estructura que las descargas provenientes del aparato bajo prueba.

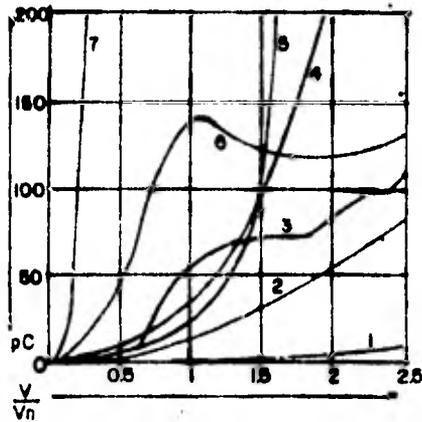


FOTOGRAFIA QUE MUESTRA EL EQUIPO DETECTOR DE DESCARGAS PARCIALES MODELO ERA.

IV.4 Procedimiento de Prueba.

Con el objeto de obtener resultados reproducibles es necesario respetar ciertas condiciones y seguir un procedimiento-determinado de prueba que generalmente consiste en:

- Aumentar la tensión hasta un determinado valor, mantenerla durante un cierto tiempo y observar si aparecen descargas.
- Si aparecen descargas antes de la tensión máxima a aplicar, anotar la tensión de aparición y la magnitud de las descargas. Llegar hasta la tensión máxima anotando la magnitud de las descargas. A continuación -- disminuir paulatinamente la tensión anotando la tensión de extinción. Como las descargas pueden tener un comportamiento errático, se recomienda repetir la operación anterior bajando cada vez únicamente hasta la -- tensión de extinción hasta obtener valores consistentes de tensiones de aparición y extinción. Sin embargo debe tenerse en cuenta que en algunos aislamientos las -- tensiones subsecuentes de extinción y aparición pueden verse afectadas por el tiempo durante el cuál se ha -- mantenido la tensión arriba del valor de aparición. Debe establecerse si la prueba de descargas parciales -- debe hacerse antes y/o después de la prueba dieléctrica. Es importante cersiorarse si antes de hacerse la -- prueba, la superficie del aparato está limpia y seca.



- 1.- APARATO SIN DESCARGAS
- 2.- DESCARGAS DEBILES
- 3.- APARICION PROGRESIVA DE NUEVAS DESCARGAS INTERNAS
- 4.- DESCARGAS IMPORTANTES POR ENCIMA DE LA TENSION DE SERVICIO.
- 5.- EFECTO DE SATURACION DEBIDO A CAVIDADES QUE HAN LLEGADO A HACERSE COMPLETAMENTE CONDUCTORAS.
- 6.- APARATO DEFECTUOSO TENSION DE APARICION MUY BAJA

FIG. N° 4.9 CURVAS DE AMPLITUD DE DESCARGAS EN FUNCION DE LA TENSION.

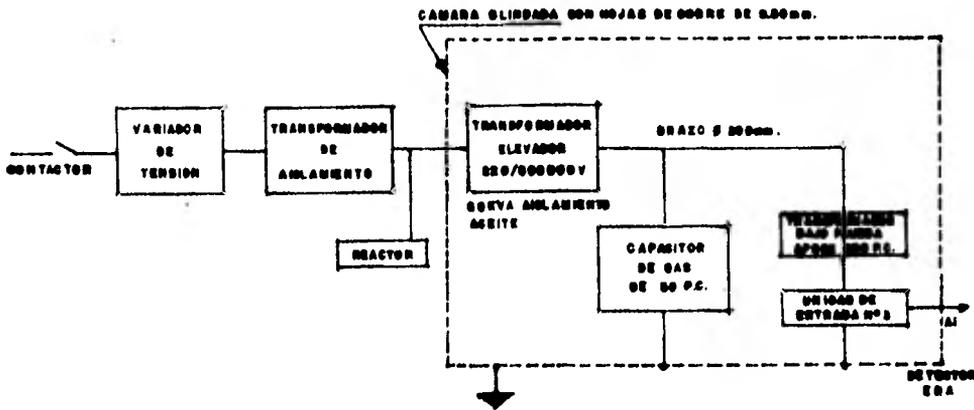


FIG. N° 4.9 INSTALACION TIPICA PARA LA PRUEBA DE DESCARGA DE TRANSFORMADORES HASTA 300 KV.

IV.5 Conexiones de los Transformadores.

La capacitancia de los transformadores de instrumento fluctúan entre 100 y 1000 PF. Como es difícil o imposible conseguir un condensador de bloqueo con estos valores se utiliza un circuito como el de la fig. 4.5 en el que el aparato de medición está en serie con el capacitor bajo prueba. Entonces si la capacitancia de transformador es pequeña comparada con la capacitancia parásita a tierra, es permisible utilizar un circuito sin capacitor de acoplamiento o sea $C_k=0$. Sin embargo, en la práctica se ha visto que un condensador de acoplamiento de 50 pC aumenta considerablemente la sensibilidad. En la figura 4.5 se muestra la instalación típica para la prueba de descargas hasta una tensión libre de efecto corona de 300 KV. Las conexiones de los devanados de los transformadores de corriente y de potencial para la prueba de descargas parciales se dan en las figs. 4.6a y 4.6b, respectivamente los transformadores se colocan sobre una plancha de hule con el objeto de aislar su base de tierra.

En la fig. 4.4 se dan algunos ejemplos de las curvas que se obtienen al realizar las pruebas con otros equipos que no utilizan osciloscopio con clipse.

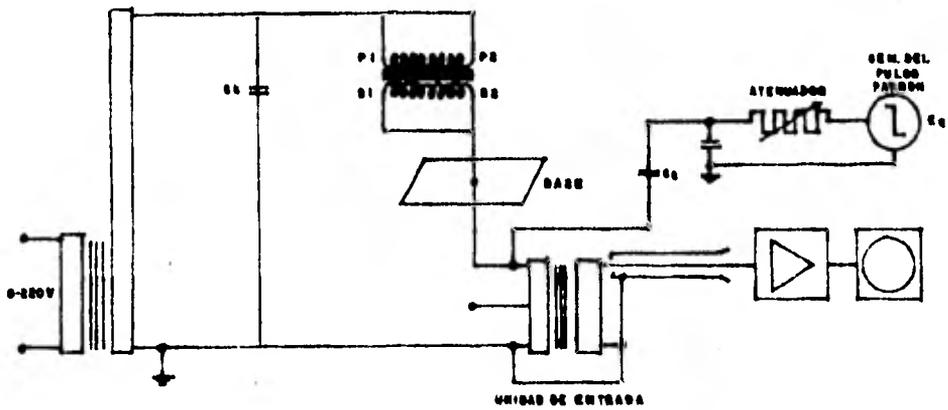


Fig. 4.6a CONEXIONES DE LAS TERMINALES DE LOS TRANSFORMADORES DE CORRIENTE PARA LA PRUEBA DE DESCARGAS PARCIALES.

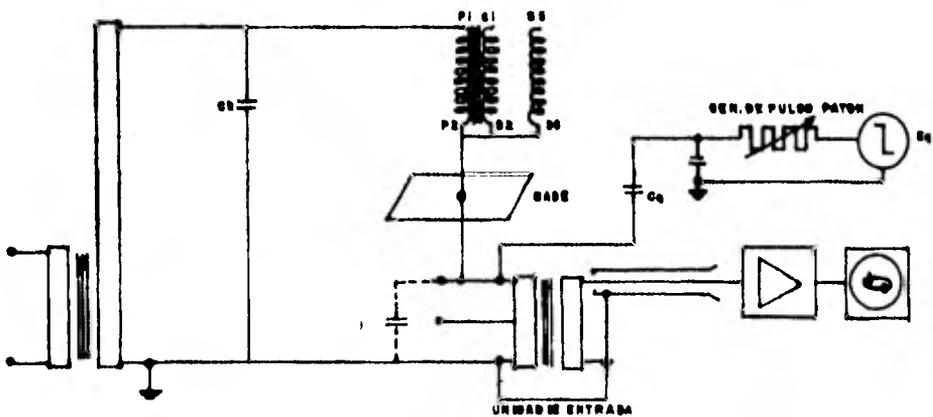


Fig. 4.6b conexión de las terminales de los transformadores de potencial de aislamiento reducido para la prueba de descargas parciales.

IV.6 Pruebas a Transformadores de Mediana Tensión.

Probamos varios transformadores de mediana tensión tanto transformadores de corriente como transformadores de potencial, llamaremos mediana tensión de 13.8 KV a 115 KV, a continuación-presentamos una tabla de las lecturas de dichas pruebas..

Para esta tensión las normas exigen que se someta a los transformadores a 1.4 veces la tensión nominal, toanto antes de la prueba dieléctrica como después de ésta, la prueba dura 30 - segundos.

Los transformadores son monofásicos, primero se pone en corto y a tierra un polo y después se invierte la prueba al --- otro polo.

Prueba No.	Antes prueba DIELECTRICA					Despues prueba DIELECTRICA						
	APARICION		1.4 Vm		EXTINCION	APARICION		1.4 Vm		EXTINCION		POLO
	KV	PC	PC	PC	KV	KV	PC	PC	PC	PC	KV	
1	48	<1	<1	<1	45	48	10	10	0	34	P. ↓	
	48	<1	<1	<1	44	38	31	31	31	32	R. ↓	
2	48	<1	<1	<1	40	48	31	31	31	26	P. ↓	
	48	<1	<1	<1	40	48	31	31	31	22	R. ↓	
3	48	<1	<1	<1	45	44	<1	<1	<1	40	P. ↓	
	48	<1	<1	<1	43	44	<1	<1	<1	40	R. ↓	

Tabla No.41 Resultados de la prueba de D.P.a transf. de mediana tensión

Como podemos ver en la tabla 4.1 los transformadores de mediana tensión tienen niveles bajos de descargas aún después de la prueba dieléctrica, las normas dan como tolerancia máxima un nivel de descargas 50 pC, en este tipo de transformadores.

Debido a que éstos transformadores son de aislamiento sólido (resina epoxy) es muy importante un buen llenado y un buen secado de la resina para evitar burbujas, ya que no existe la posibilidad de volver a tratar el transformador, en el caso de que tenga un nivel alto de descargas. La siguiente fotografía muestra conexión en el laboratorio.

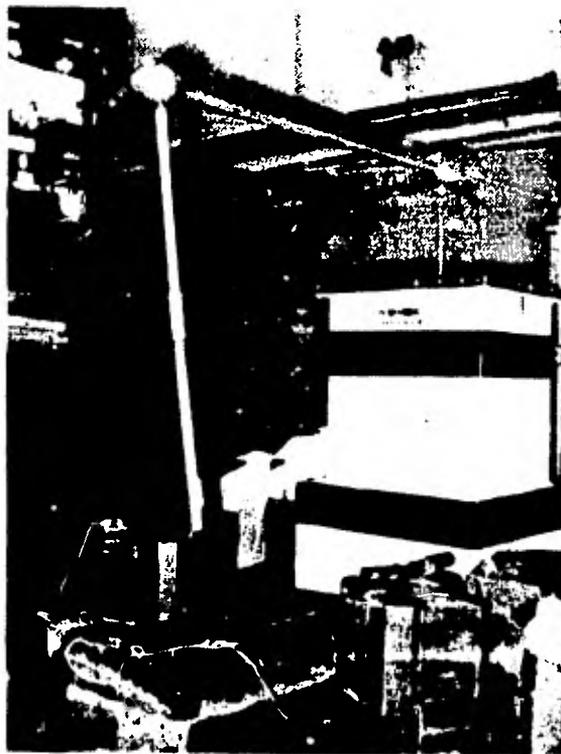


Fig. 4.7 conexión para probar descargas parciales a transformadores de mediana tensión.

IV.7 Prueba a transformadores de Medición en Alta Tensión.

Se considera alta tensión de 115 KV, en adelante.

a).- Prueba a TC's.

La prueba se realiza de manera análoga a la mediana tensión, el transformador es sometido a 1.4 veces la clase de aislamiento durante 30 segundos después de la prueba dieléctrica (dos veces la clase de aislamiento durante un minuto). La prueba es igual tanto a transformadores llenos de aceite como de gas (SF_6).

La fotografía siguiente muestra la conexión.

Los datos del transformador al que se le realiza la prueba (página siguiente) son los siguientes

Transformador de Corriente

Monofásico

No. de Serie: SCD - 123

Clase de aislamiento: 115 KV

Relación de transformación:

1200 Amp. - 5 Amp.

1000 " - "

800 " - "

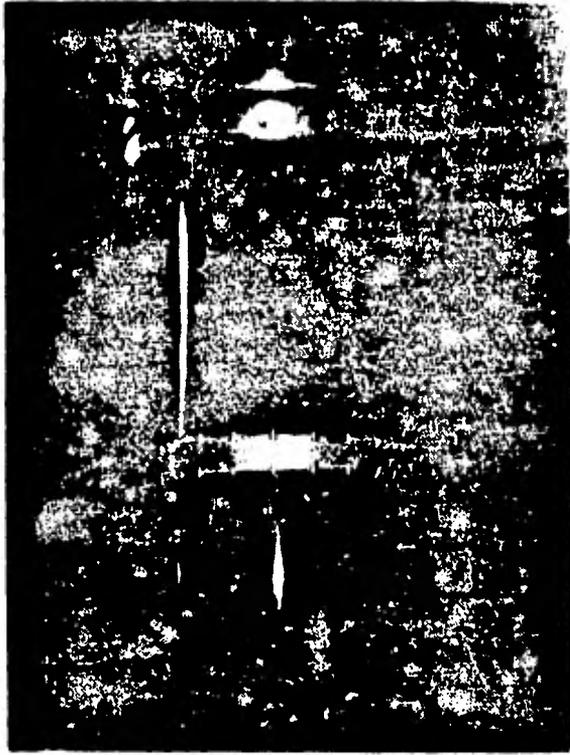
600 " - "

400 " - "

300 " - "

200 " - "

100 " - "



Faint, illegible text or markings, possibly bleed-through from the reverse side of the page.

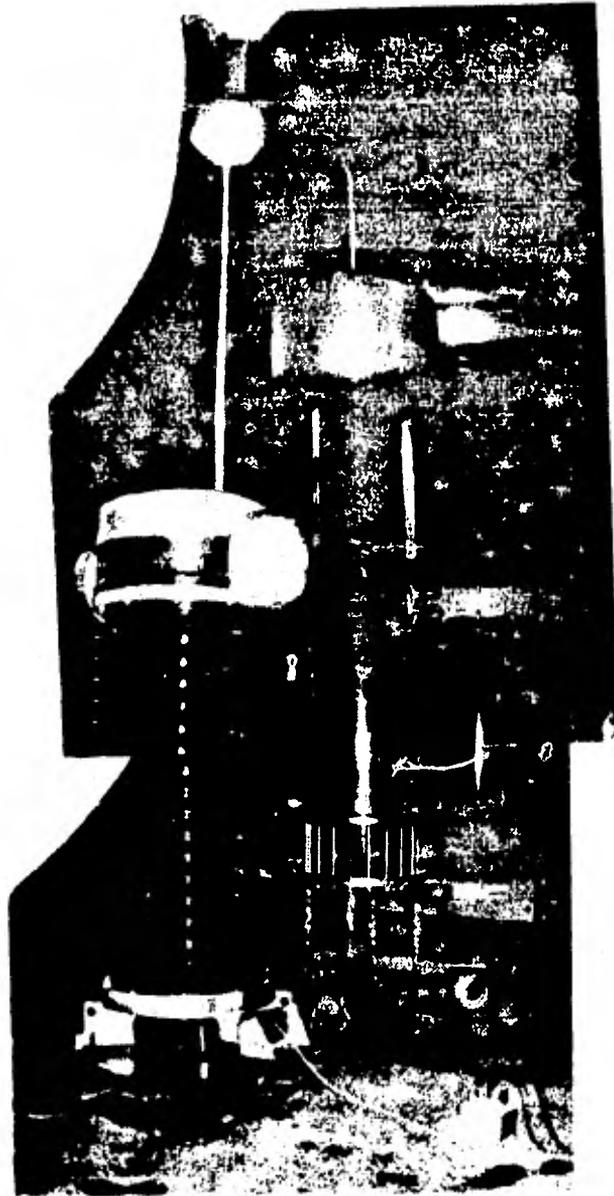


Fig. Fotografía conexión transformador de corriente de 115 KV (Descargas Parciales)0

Probamos tres transformadores de corriente todos con los datos de las tablas, las presentamos a continuación:

Tabla No. 1 Trans. con relacion ~~15~~ 230 K

TENSION KV	KV	MAG db	MAG PC	W	TIEMPO SEG.
V _i	60	62	3.97	158.4	0
	80	62	3.97	224.5	5
	100	61	4.5	318.1	5
	120	60	5	424.2	5
	140	57	7.0	692.9	10
	160	57	7.0	791.9	5
V _e	50	64	30	106.0	0

Tabla No.2 Trans. con relacion 34.5/115 KV

TENSION	KV	MAG db	MAG PC	W	TIEMPO SEG
V _m	34.5	68	2	48.79	0
1.2 V _m	41.4	68	2	58.59	5
1.5 V _m	51.75	60	5	182.9	10
2 V _m	69.0	54	10	487.9	15
v _m	34.5	68	2	48.79	0

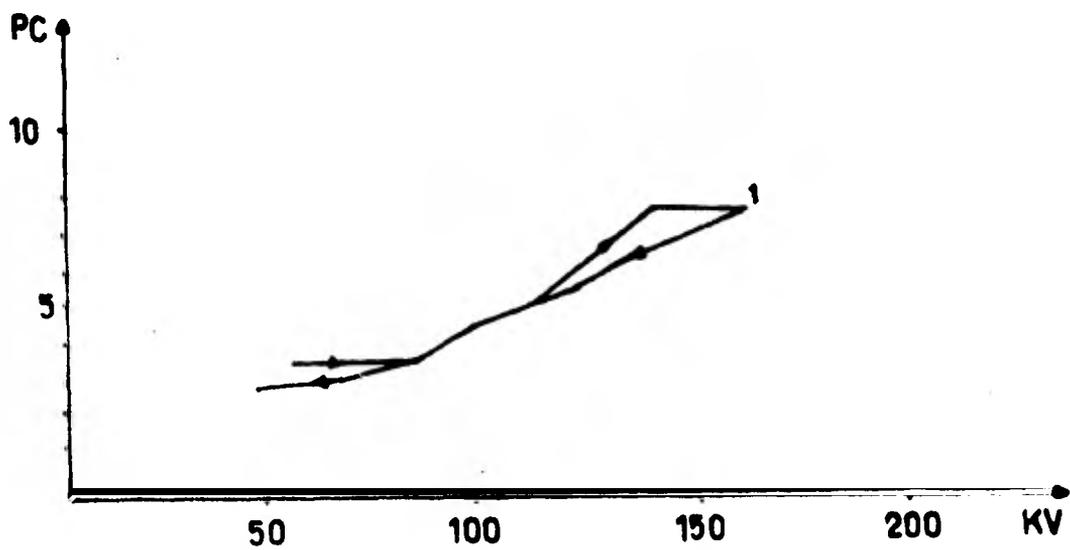
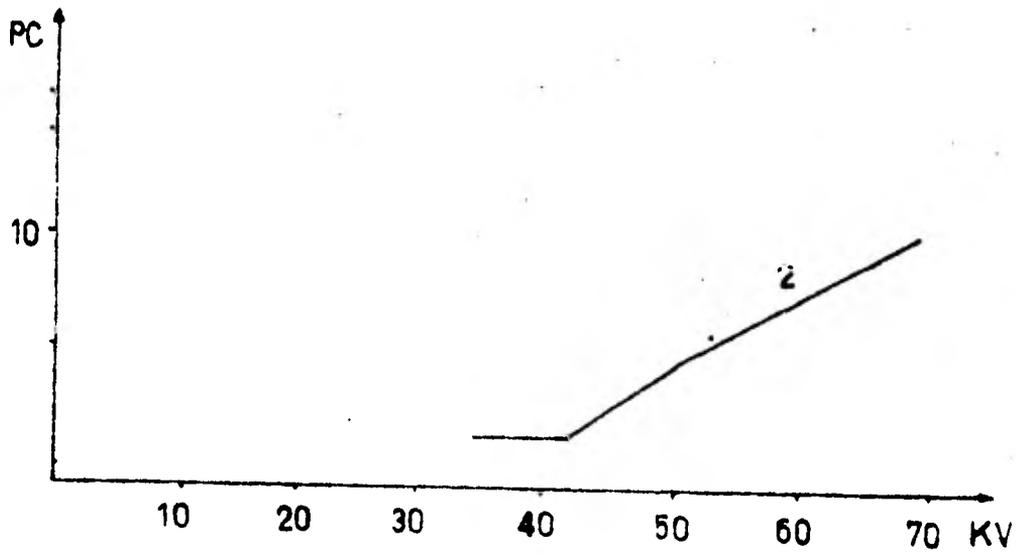


Fig. 1 Correspondence: la tabla no.1

Mostrando la relación de los segundos a los minutos de los valores de tensión de prueba.



Curva 2 - Interpretación de la tabla no. 1

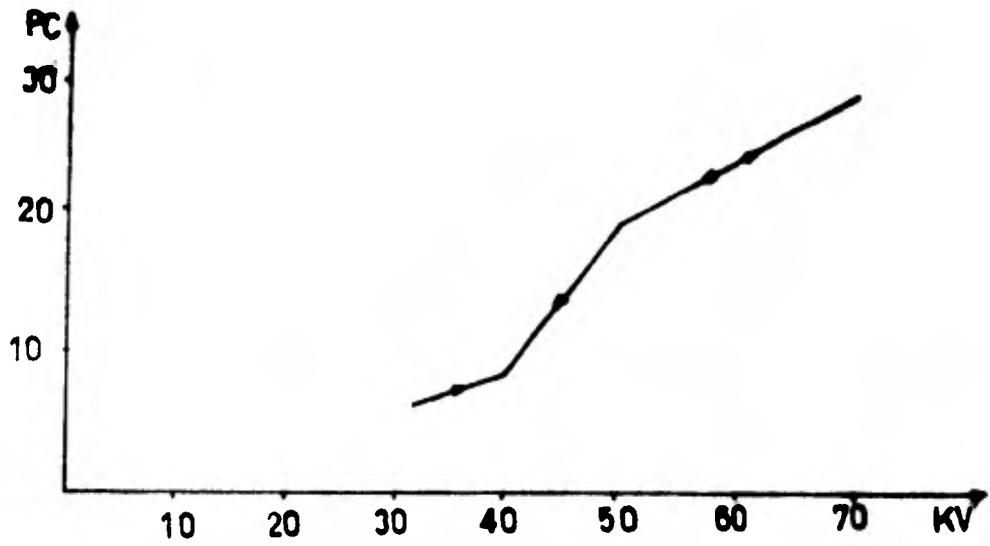
Se muestra la variación de la cantidad de PC requerida por unidad de KV en función de la cantidad de voltaje de prueba en KV.

Tabla No.3 Trans. con relacion 34/5/11 KV

TENSION DE PRUEBA	KV	MAG db	MAG pc	W	TIEMPO SEG.
Vm	34.5	∞	0	0	0
1.2 Vm	41.4	54	10	292.74	5
1.5 Vm	51.75	48	20	731.85	10
2 Vm	69.0	44	30	1463.71	5
Vm	34.5	∞	0	0	0

Como vemos este transformador revasa los niveles de descarga parciales fijados en las normas para transformadores (Normas Nema) de alta tensión (10 pC) por lo tanto es rechazado y -vuelto a la planta para ser tratado nuevamente.

Si graficamos los valores obtenidos en las tres pruebas- vemos que las curvas obtenidas son parecidas a la curva de el -fenómeno de Histeresis, además vemos que siempre el voltaje de-extinción de descargas parciales es menor al de aparición, debi-do a que persisten las descargas por la ionización del gas den-tro de las burbujas. En las figuras respectivamente muestran las curvas de las pruebas.



Curva 3 Corresponde a la tabla no.3

Nos muestra la magnitud de las descargas producidas en
en función del voltaje de prueba KV.

b) Prueba a TP's.

La prueba de descargas parciales en TP's también se realiza después de la prueba dieléctrica, con una variante: a estos el voltaje de prueba es hasta que se satura el núcleo del transformador, es decir se toma la lectura de la magnitud de las descargas en el momento en el que satura el núcleo del transformador.

Probamos dos transformadores de diferentes niveles de aislamiento; recordamos que se aprueba como máximo nivel de descargas 10 pC.

Datos del transformador No. 1.

Transformador de Potencial

Monofásico

Relación de transformación: 230/3 a .125/3 KV.

No. Serie VEX - 230.

Se alimentó potencial de prueba hasta 200 KV.

El valor de descargas parciales es: Menor a 1 pC.

Datos del transformador No. 2.

Transformador de Potencial

Monofásico

Relación de transformación: 115/3 a .125/3 KV.

No. Serie VEX - 115

Se alimetó tensión de prueba y a 110 KV, el valor de des cargas parciales es menor a 1 pC.

Los equipos ERA generalmente dan los valores de las des cargas parciales en decibeles (db), por ello a continuación uti lizamos una tabla de conversión tanto a microvolts (MV) como a pC.

TABLA DE CONVERSION DE DB A PC

DB	VOLTAJE	PC	DB	VOLTAJE	PC	DB	VOLTAJE	PC
0	100 V	5000	40	1.00 V	50	80	10mv	0.500
1	89.1 V	4455	41	891 mv	44.5	81	8.91mv	0.445
2	79.4 V	3970	42	794 mv	39.7	82	7.94mv	0.397
3	70.8 V	3540	43	708 mv	35.4	83	7.08mv	0.354
4	63.1 V	3155	44	631 mv	31.5	84	6.31mv	0.315
5	56.2 V	2810	45	562 mv	28.1	85	5.62mv	0.281
6	50.1 V	2505	46	501 mv	25.05	86	5.01mv	0.250
7	44.7 V	2235	47	447 mv	22.35	87	4.47mv	0.223
8	39.8 V	1990	48	398 mv	19.90	88	3.98mv	0.199
9	35.5 V	1775	49	35.5mv	17.75	89	3.55mv	0.177
10	31.6 V	1580	50	316 mv	15.80	90	3.16mv	0.158
11	28.2 V	1410	51	282 mv	14.10	91	2.82mv	0.141
12	25.1 V	1255	52	251 mv	12.55	92	2.51mv	0.125
13	22.4 V	1120	53	224 mv	11.20	93	2.24mv	0.112
14	20.0 V	1000	54	200 mv	10.00	94	2.00mv	0.100
15	17.8 V	894	55	178 mv	8.94	95	1.78mv	0.0894
16	15.9 V	785	56	159 mv	7.95	96	1.59mv	0.0795
17	14.1 V	705	57	141 mv	7.05	97	1.41mv	0.0705
18	12.6 V	630	58	126 mv	6.30	98	1.26mv	0.0630
19	11.2 V	560	59	112 mv	5.60	99	1.12mv	0.0560
20	10.0 V	500	60	100 mv	5.0	100	1.00mv	0.0500
21	8.91V	445.5	61	89.1 mv	4.45	101	89µv	0.0445
22	7.94V	397.0	62	79.4 mv	3.97	102	794µv	0.0397
23	7.08V	354.0	63	70.8 mv	3.54	103	708µv	0.0354
24	6.31V	315.5	64	63.1 mv	3.15	104	631µv	0.0315
25	5.62V	281	65	56.2 mv	2.81	105	562µv	0.0281
26	5.01V	250.5	66	50.1 mv	2.50	106	501µv	0.0250
27	4.47V	223.5	67	44.7 mv	2.23	107	447µv	0.0223
28	3.98V	199.0	68	39.8 mv	1.99	108	398µv	0.0199
29	3.55V	177.5	69	35.5 mv	1.77	109	355µv	0.0177
30	3.16V	158.0	70	31.6 mv	1.58	110	316µv	0.0158
31	2.82V	141.0	71	28.2 mv	1.41	111	282µv	0.0141
32	2.51V	125.5	72	25.1 mv	1.25	112	251µv	0.0125
33	2.24V	112.0	73	22.4 mv	1.12	113	224µv	0.0112
34	2.00V	100.0	74	20.0 mv	1.00	114	200µv	0.0100
35	1.78V	89.4	75	17.8 mv	0.894	115	178µv	0.00894
36	1.59V	79.5	76	15.9 mv	0.795	116	159µv	0.00795
37	1.41V	70.5	77	14.1 mv	0.705	117	141µv	0.00705
38	1.26V	63.0	78	12.6 mv	0.630	118	126µv	0.00630
39	1.12V	56.0	79	11.2 mv	0.560	119	112µv	0.00560

C A P I T U L O V .

PRUEBA DE DESCARGAS PARICALES A CABLES DE POTENCIA.

V.1 Introducción.

Los problemas de las descargas parciales en cables fueron reconocidas por un buen número de ingenieros desde 1898. Fessenden desarrolló experimentos que demostrarón lo peligroso de las burbujas que quedaban atrabadas en los aislamientos sólidos de los cables. Perrine reportó en 1902 que la falla en dichos cables algunas veces era debido a espacios llenos de gases rarificados.

En los últimos diseños de cables de potencia aislados -- con papel impregnado en aceite han reconocido que los problemas con descargas parciales son debidos a la presencia de huecos en el papel, debidos a la pobre impregnación con aceite.

En este tipo de cables, si las descargas son intensas tales que la energía se convierte en alta temperatura, carbones conductores son formados, apareciendo entre el papel causando su rompimiento y su falla total.

La detección de descargas parciales en cables, también se basa en la detección de los pulsos generados por dichas descargas. Es sabido que las descargas en este tipo de equipo eléctrico son los causantes de la radio interferencia en receptores de AM, incluso muchos de los nuevos diseños han sido acondicionados para disminuir esta interferencia.

La prueba de descargas parciales la estudiamos y la llevamos a cabo en Condux, S.A., que amablemente nos facilitó su laboratorio y además nos asesoró.

La prueba en cables es análoga a los demás equipos, solo cambian algunas características para hacer más óptima la medición, es decir el circuito sigue siendo el básico, se le agregan además las etapas necesarias para filtrar lo más posible la señal y así obtener una medición correcta de la magnitud de las descargas. El circuito básico es el de la figura siguiente.

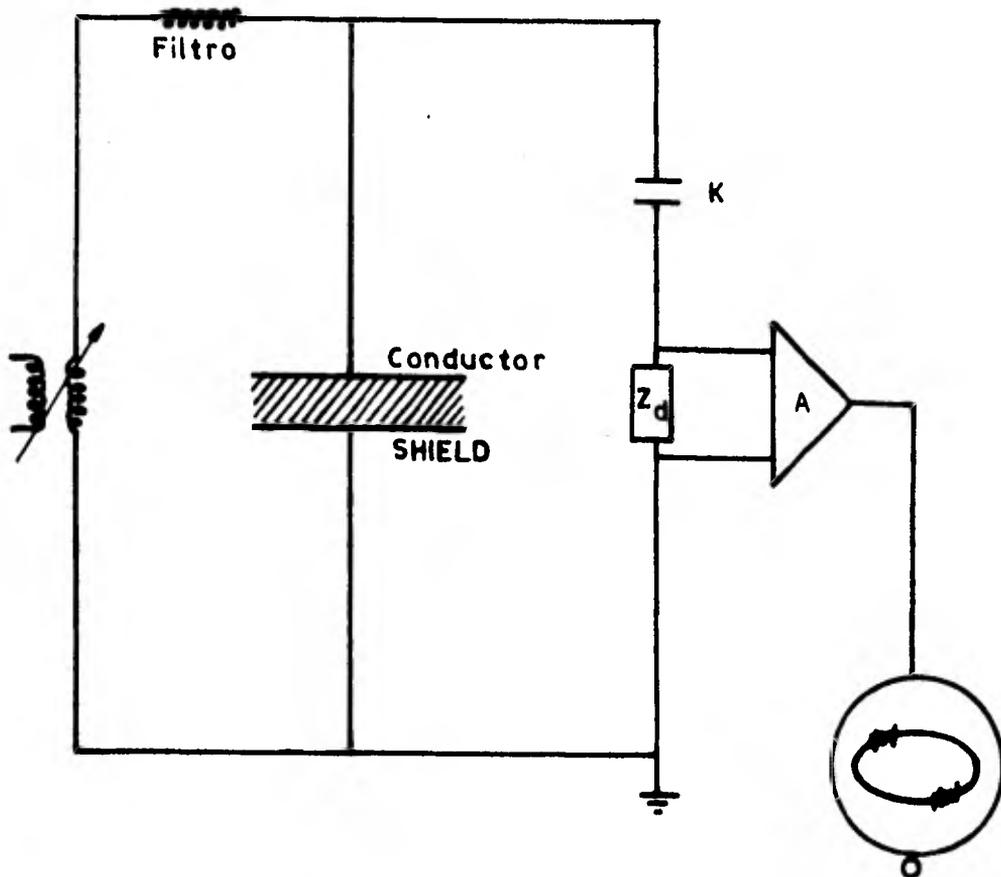


Fig. 5.1 Circuito Básico de Detección de Descargas Parciales en cables

K = capacitor de acoplamiento

A = amplificación

Zd = Impedancia de medición

O = osciloscopio

V.2 Dos Circuitos de prueba.

Durante el proceso de fabricación de cables de potencia con aislamiento sólido, se efectúan las pruebas de descargas parciales en dos ocasiones, ellas son:

- a) Pruebas de descargas parciales a cables en proceso de fabricación.
- b) Prueba de descargas parciales a cables al final del proceso de fabricación.

a).- Prueba en proceso de fabricación. Como su nombre lo indica, esta prueba se realiza antes que la prueba de producto terminado, se realiza especialmente con la finalidad de saber las condiciones del aislamiento que va extuído en el conductor. Aunque esta prueba no es exigida por las normas de pruebas de descargas parciales, es --- practicada por la importancia que envuelve en cuanto a --- que nos dice si es recomendable continuar con las siguientes etapas de protección y de aislamiento del conductor --- pués de otro modo se tendrían gastos que al final se tirarían a la basura al realizar la prueba de producto --- terminado. Las etapas de un cable son:

- a.- conductor
- b.- semiconductor
- c.- aislamiento
- d.- parte metálica
- e.- cubierta

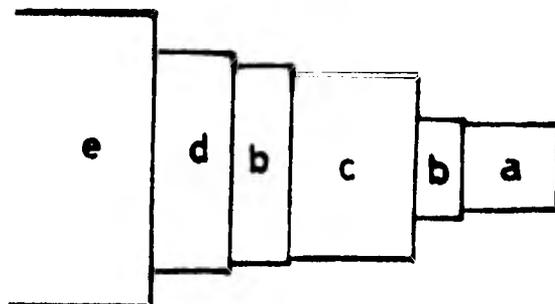


fig.5e etapas del aislamiento sólido de un cable de potencia.

El método por el cual se realiza la prueba de proceso es llamado Método Scanning (Método de Exploración) como se muestra en la siguiente figura.

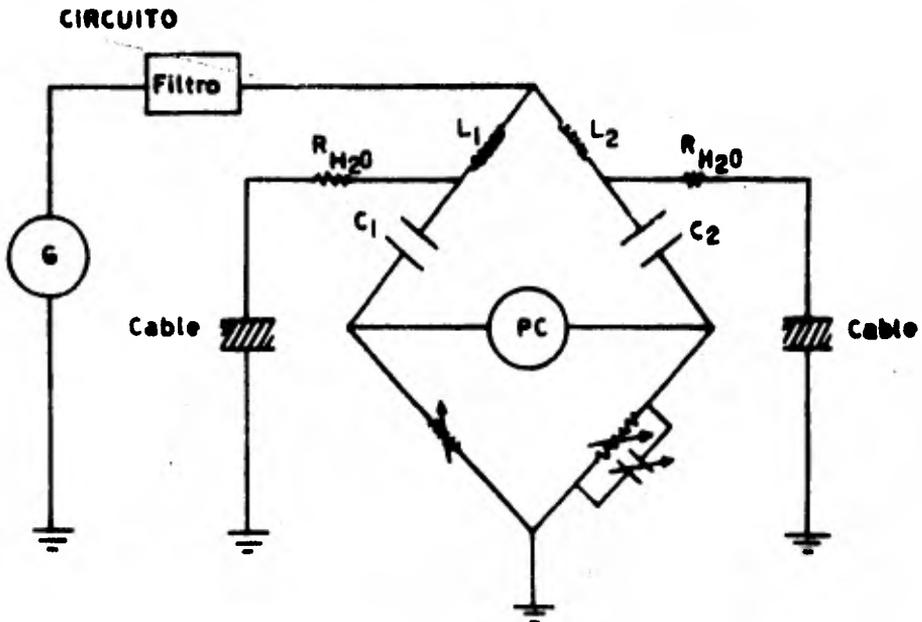


Fig.5.2a Circuito de Medición de Descargas Parciales en Proceso de Fabricación

En la figura 5.2a, las descargas que son producidas en el aislamiento del cable, pasan por los electrodos y se bifurcan en las ramas del puente formado por las capacitancias y resistencias. Los capacitores C_1 y C_2 son libres de descargas parciales de valores conocidos, las impedancias Z_1 y Z_2 son variables de tal manera para lograr el equilibrio de las dos ramas del puente y medir finalmente las descargas en un osciloscopio adaptado al detector. Este puente se maneja similar al ---

puente de Winstone, tiene varias perillas (Z1 y Z2), para obtener el cero en el amparímetro, obteniendo en ese momento el valor de descargas parciales en el osciloscopio.

El siguiente diagrama muestra las conexiones.

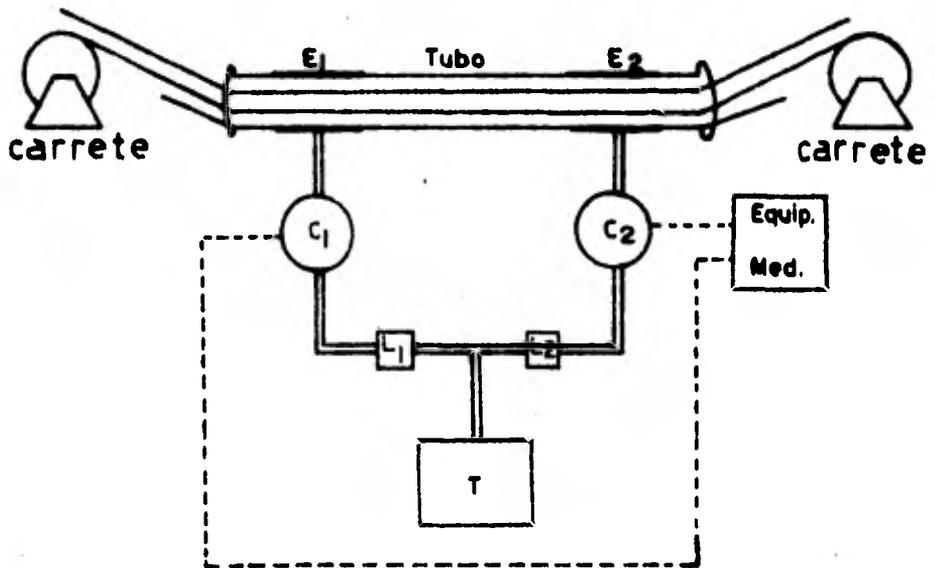


Fig. 5.2 b diagrama de conexión para probar D.P. a cable.
(prueba en proceso)

El cable es pasado a través de un tubo que contiene agua desionizada altamente aislante tal que el espacio entre el tubo y el cable es totalmente llenado minimizando el área de descargas que pudieran resultar en errores de medición. El conductor está conectado al voltaje de prueba mientras que los dos electrodos detectan cualquier pulso por pequeño que sea y es llevado a través de cables coaxiales a un equipo detector de descar-

gas parciales, pasando antes por una etapa de amplificación y - reconocimiento (consultar bibliografía Dr. Kreuger).

Este método es llamado de exploración porque el cable - circula a una velocidad constante por el tubo (aproximadamente - a 61 m/mín). El operador del equipo en el momento en que ve - una magnitud de descargas alta para el motor que circula el ca - ble y marca el mismo para revisión posterior.

Resultados.

Debido a que esta prueba es de tipo exploratoria no anota - mos las lecturas de las magnitudes de las descargas.

Equipo empleado en la prueba.

- Equipo detector de descargas parciales marca Nonius ti - po diferencial balanceado.
- Osciloscopio marca Hewelet Packard.
- Transformador elevador de tensión marca Hipotronics -- con relación 220 v/100Kv de 100 MVA.

Es importante realizar la calibración del circuito antes de realizar la prueba. Consiste en medir la magnitud del ruido existente en el laboratorio (generalmente no es mayor que 1 pC) es decir el equipo detector Nonius medirá valores de descargas - parciales mayores al nivel de ruido existente en el laboratorio

b).- Prueba de producto terminado.

Para realizar ésta prueba se usa el circuito tradicional llamado también lineal y que en términos generales es análogo - al que comentamos en V1 (fig. 5.1), solo se le agregan otros -- dispositivos para mejorar la calidad de medición y evitar inter -- ferencias propias de la industria (ruido, en general). El dia -- grama de conexiones es el de la figura siguiente:

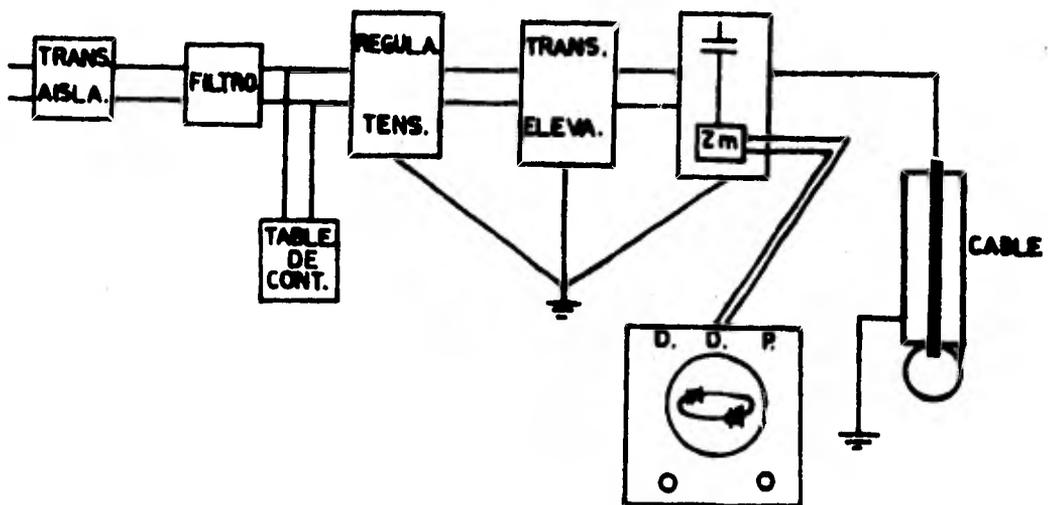


Fig. 5.3 CIRCUITO PARA DETECTAR Y MEDIR DESCARGAS PARCIALES A CABLES DE POTENCIA (PRODUCTO TERMINADO).

En esta prueba el conductor es conectado al transforma-- dor elevador de tensión pasando por las etapas de filtrado para evitar las interferencias indeseables, el otro extremo del cable queda abierto (se le coloca una esfera de aluminio para evitar -- el efecto corona), la pantalla exterior es conectada a tierra, -- de este modo el aislamiento completo es sometido a la tensión -- de prueba (las tensiones de prueba se indican en las tablas 1 y 2 de las páginas 121 y 122 respectivamente).

V.3 Calibración.

Del mismo modo que en la prueba de proceso la calibración correcta del circuito de prueba es muy importante, solo de este modo estamos seguros de obtener una lectura de descargas parciales fidedigna. En este circuito la calibración se realiza de la siguiente manera: Con el circuito completo conectado y antes de aplicar voltaje de prueba, se inyectan en extremo contrario del que se realiza la medición una serie de pulsos a través de un capacitor llamado capacitor de calibración. Estos pulsos son de una magnitud tal que en el punto donde se realizan las pruebas esta no sea menor que el ruido existente en el laboratorio. Como se sabe, el pulso al recorrer el conductor tiene una atenuación (ver apéndice c). Esto es lo que sucede con los pulsos de corriente de descarga, y como estos se miden en un solo punto del cable, podría suceder que las descargas que son intensas en un extremo del cable se atenúen al llegar al detector

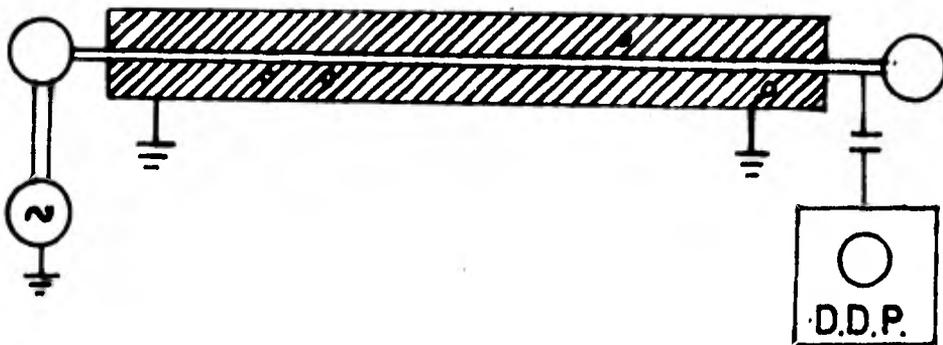


fig.5.4 diagrama de conexión para medir descargas parciales a cables de potencia (producto terminado)

Equipo utilizado para probar cables de potencia de aislamiento sólido (producto termiando).

- Detector de descargas parciales tipo lineal marca ---- Biddle.
- Filtro de alta tensión marca Biddle de 150 KV.
- Filtro separador de potencia Marca Biddle 150 KV.
- Transformador de alimentación 25 KVA.

V.4 Normas Utilizadas.

Para probar los cables, los cables utilizamos las normas AEIC CS-6.79 normas para cable de aislamiento EPR de 5 a 69 KV. (Etileno Propileno Rubber) o bien en otra versión AEIC Association of Eddison Illuminatioing and Company), para cables con aislamientos XLD (cross link Polietileno).

Es de notar que las distintas normas existentes para esta prueba no exigen los mismos valores, hay ciertas diferencias a cuanto a los valores de prueba y niveles de descargas aceptar.

Hace poco el CCONNIE editó una recopilación de valores de prueba y niveles de descargas a ceptar. Para cables de potencia de aislamiento sólido de 5 a 115 KV. los valores que se indican en la tabla No. 1, en la que se indican el espesor del aislamiento, tensiones de prueba y calibre del conductor.

En cada tramo de cable terminado, los valores máximos de descargas en pico Coulombs no deben exceder los valores de la -

tabla No. 2 que fueron obtenidos aplicando las siguientes fórmulas.

Para tensiones de:

$$pC = 5 + \left[\frac{Vt}{Vrg.} - 2.0 \right] 22.5$$

5 a 15 KV.

Para tensiones de:

$$pC = 5 + \left[\frac{Vt}{Vrg.} - 2.0 \right] 30$$

69 a 115 KV

donde

pC - descargas parciales en pico Coulombs.

Vt = tensión de prueba

Vrg = Tensión nominal de fase a tierra.

Las fórmulas son aplicables cuando la cantidad entre paréntesis no es menor que cero.

En cables con aislamiento de papel impregnado en aceite no se realiza la prueba de descargas parciales.

Tensión Nominal Fase a Fase	Designación del Conductor		Espesor de Aislamiento Promedio Mínimo		Tensión	
K·V	Sección Nominal mm	Calibre AWG o KCM	m m		CA (5 minutos)	
			Categoría I	Categoría II	Cat. I	Cat. I
5	10 a 500	8 a 1000	2.3	2.9	18	23
	Mayor de 500	Mayor de 1000	3.5	3.5	18	23
15	25 a 500	2 a 1000	4.4	5.6	35	44
	Mayor de 500	Mayor de 1000	5.6	5.6	35	44
25	50 a 1000	1/0 a 2000	6.6	8.1	50	64
35	50 a 1000	1/0 a 2000	8.8	10.7	70	84
79	185 a 1000	350 a 2000	16.5		130	
115	240 a 1000	500 a 2000	19.8		200	

TABLA No. 1 - Espesor de Aislamiento, Tensiones de Prueba y Calibres de Con

Tension Nominal del Cable en KV	Tensión a Tierra (Vrg) en KV	Tensión de Prueba (Vt) en KV Correspondiente a Vt/Vrg			
I.- Relación Vt/Vrg		1.0	2.0	3.0	4.0
5	2.9	3.0	6	9	12
15	8.7	9.0	17	26	35
25	14.4	14	29	43	58
35	20.2	20	40	61	81
Descargas Parcial Máxima Permissible en pC.		5	5	27.5	50
II.- Relación Vt/Vrg		1.0	2.0	2.5	-
69	40.0	40.0	80	100	-
115	66.5	67	113	165	-
Descargas Parcial Maxima Permissible en pC.		5	5	20	-

TABLA No. 2 - Pruebas de Descargas Parciales

CABLE VITONET EPR-1 1/0 AWG 15 KV 100% V.A.

LONG	KV. MAX.	9.0	17.0	26.0	35.0
100mts.	nc MAX.	5	5	27.5	50.0
nc OBTENIDOS		0	1	1	1

CABLE VITONET EPR-1 1/0 35 KV AWG 100% V.A.

LONG.	KV MAX	20	40	61	81
100mts.	nc MAX.	5	5	27.5	50
nc OBTENIDOS		0	0	1	1

CABLE VITONET EPR-CU 250 MON 60 KV 100% V.A.

LONG	KV MAX	10	20	30	40
110mts	nc MAX	5	5	20	20
nc OBTENIDOS		1	1	3	3

LOS VALORES DE KV MAX. Y nc MAX. OBTENIDOS EN LAS TABLAS 1 Y 2 LOS VALORES OBTENIDOS NO OBTENIDOS EN LOS CABLES PASAN LAS NORMAS, LAS NORMAS EXIGEN ADEMÁS QUE CUMPLA TODOS LOS VALORES A LOS QUE SON SOMETIDOS, ES DECIR CUALQUIERA DE LOS CUATRO VALORES DE nc OBTENIDOS EL CABLE ES RECHAZADO.

C A P I T U L O V I .

PRUEBA DE DESCARGAS PARICALES EN TRANSFORMADORES DE POTENCIA.

VI.1 Antecedentes.

Las descargas parciales ocurren en Transformadores de Potencia sí como sucede en otros equipos eléctricos, hasta ahora - la calidad del aislamiento interno es de fundamental importancia se prueba por dos métodos fundamentales:

- 1).- La aplicación de un voltaje a frecuencia industrial que va de 1.5 a 3 veces el voltaje nominal de servicio por - un largo período.
- 2).- La aplicación de impulsos de corta duración que tiene -- una magnitud de 3.5 a 20 veces el voltaje nominal de servicio, el valor depende de la norma que se siga.

Básicamente estas pruebas dan la suficiente seguridad de una larga vida en los transformadores de potencia que trabajan - en condiciones nominales.

La vida del papel impregnado en aceite (es el aislamiento de las bobinas del transformador) es limitada también por la alta temperatura (envejecimiento de la celulosa), humedad, procesos electroquímicos, y esfuerzos eléctricos altos. Sin embargo, - las altas temperaturas pueden ser disminuídas con un eficiente - sistema de enfriamiento y la humedad con un perfecto sellado del transformador.

Como se ha asentado, las descargas pueden ocurrir en las burbujas que puedan quedar en el aceite del transformador, por - partículas conductoras en el dieléctrico, por puntas conductoras etc.; por esto la prueba de descargas parciales tuvieron que ser intruducidas en las normas de las pruebas dieléctricas de transformadores de potencia.

Es costumbre realizar la prueba de descargas parciales - en forma simultánea con la prueba de voltaje inducido y después de las pruebas de impulso y de voltaje aplicado, porque de este modo se puede estar completamente seguro de que el aislamiento - no ha sido destruido después de estas pruebas más severas, por - que pudiera suceder que la prueba de impulso genere descargas -- parciales. Para este propósito se usa el circuito de medición - NEMA en su versión más económica: "Bushing - Tap - Method" o Mé todo del tap capacitivo de la boquilla de alta tensión.

Para llevar a cabo éste trabajo, acudimos a la empresa -- Equipos Eléctricos I.E.M. S. A., que amablemente nos facilitó -- presenciar las pruebas de descargas parciales a transformadores - de potencia de 400 KV.

VI.2 Métodos de Medición de Descargas Parciales.

En la medición de descargas parciales a transformadores de potencia se utilizan generalmente dos métodos:

- a).- Método tradicional de prueba, que usa el capacitor de acoplamiento y el detector de descargas como se muestra en la figura siguiente:

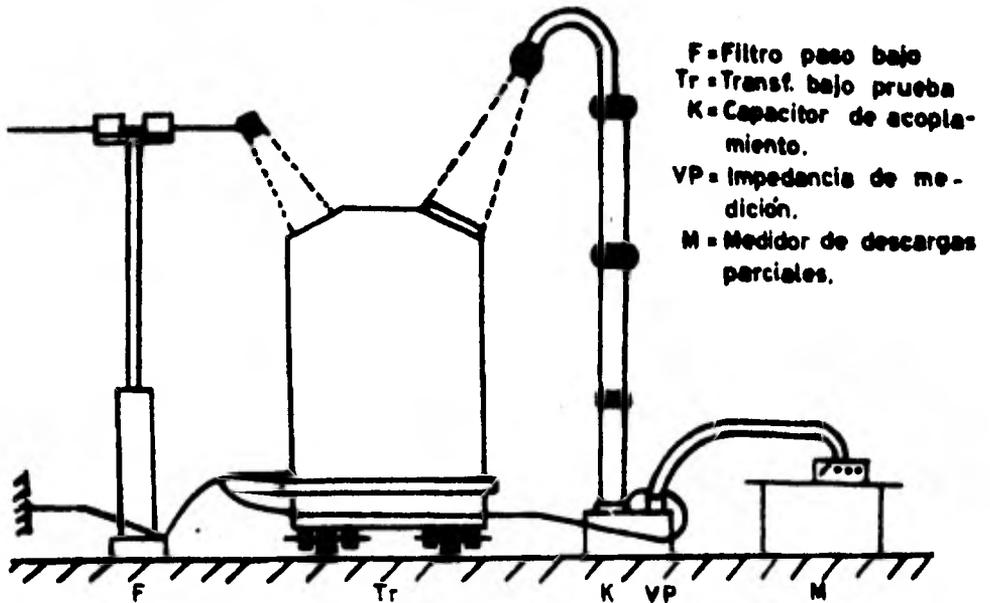


Fig. 6.1.- CIRCUITO DE MEDICIÓN DE D.P. DE ACUERDO A NEMA

Como ya mencionamos antes, éste circuito es el tradicional para medir descargas parciales, se alimenta con transformador elevador de tensión, se captan los impulsos de las descargas a través del capacitor de acoplamiento, se filtran en la impedancia de medición y se miden en el detector de descargas parciales. Para éste método se usa equipo detector ERA, pero tie-

ne el inconveniente de ser costoso debido al tamaño del capacitor de acoplamiento necesario para esa potencia, por ello no es muy utilizado.

b).- Método de Tap Capacitivo de la Boquilla de Alta Tensión del Transformador.

En éste método la detección de los impulsos generador por las descargas es realizado por el tap capacitivo del transformador, el tap capacitivo hace la función de divisor capacitivo y -- sustituye por lo tanto al capacitor de acoplamiento. El uso de este tap es exclusivo para realizar pruebas en baja tensión al transformador.

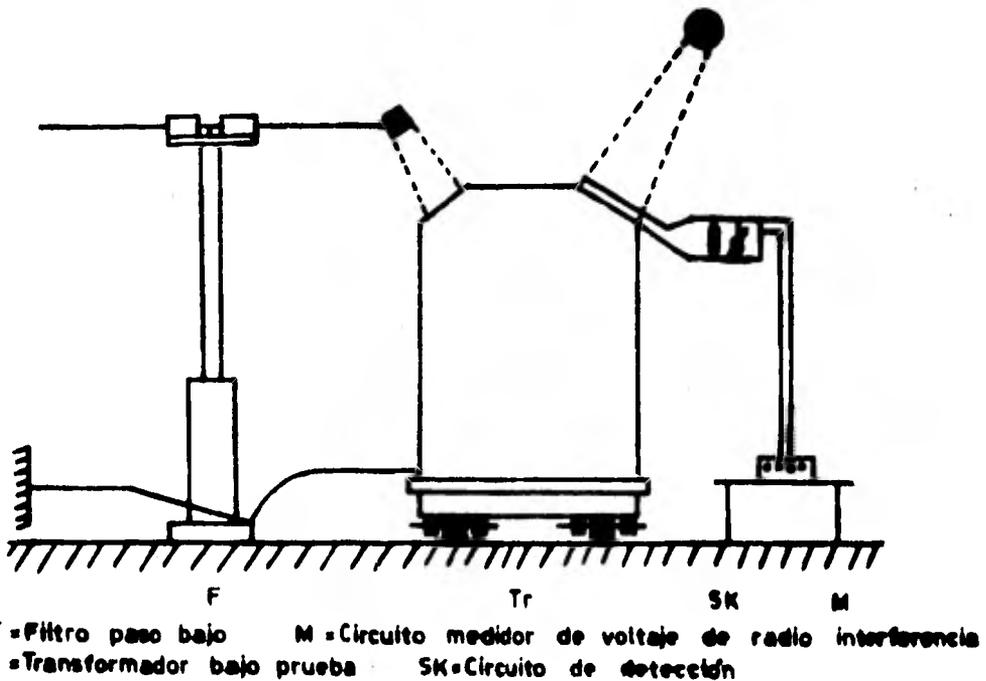


Fig. 6.2.- CIRCUITO DE MEDICION DE D.P. POR EL METODO DEL TAP CAPACITIVO.

Como sabemos el capacitor de acoplamiento nos sirve como un transformador de potencial que nos da una señal proporcional de las descargas que suceden en transformador, función que realiza el tap capacitivo.

VI.3 Circuito Utilizado en la Prueba en el Laboratorio.

El método que utilizamos en la prueba de descargas parciales fué el del tap capacitivo de la boquilla de alta tensión- en la figura siguiente presentamos el circuito eléctrico que presenta la norma NEMA sin indicar los elementos que lleva el circuito para eliminar las interferencias.

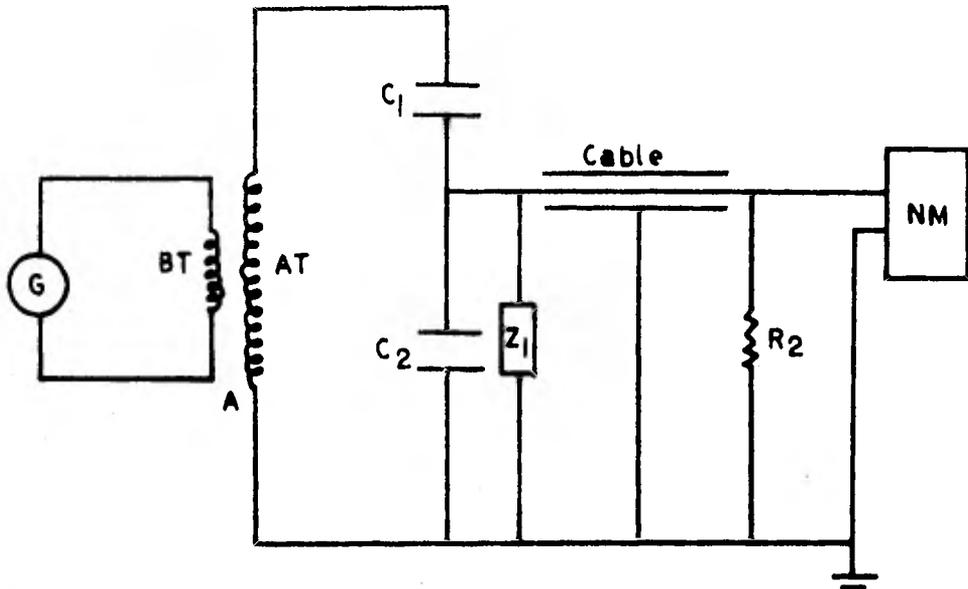


Fig. 6.3 circuito de conexión para probar dp método tap. capacitivo.

Fig. 6.3 Circuito de prueba de descargas parciales a transformadores de potencia.

donde:

A Transformador bajo prueba

G Generador

C1 Capacitancia de alto voltaje de la boquilla

C2 Capacitancia del tap de la boquilla.

Cable coaxial bien blindado.
Z1 Impedancia variable.
R2 Resistencia
NM Medidor de radio interferencia.

Este tipo de circuito es el que presenta la norma NEMA C 57 .12.00, rev. 1968.

VI.4 Realización de la Prueba.

Este método tiene ciertas ventajas y desventajas respecto al método tradicional, la ventaja es que es económico y la -- desventaja es que es menor sensible que el otro, debido a que su ancho de banda es muy reducido.

Antes de enumerar los pasos a seguir en la realización -- tanto de la calibración del circuito como de la medición de la -- magnitud de las descargas parciales en micro volts (es la unidad que usa este método), recomendamos ver el diagrama de conexiones en el laboratorio, figura 6.3.

C_1 = Cap. Alta Tensión
 C_2 = Cap. Baja Tensión
 Z_1 y R_2 Etapa de Amplificación

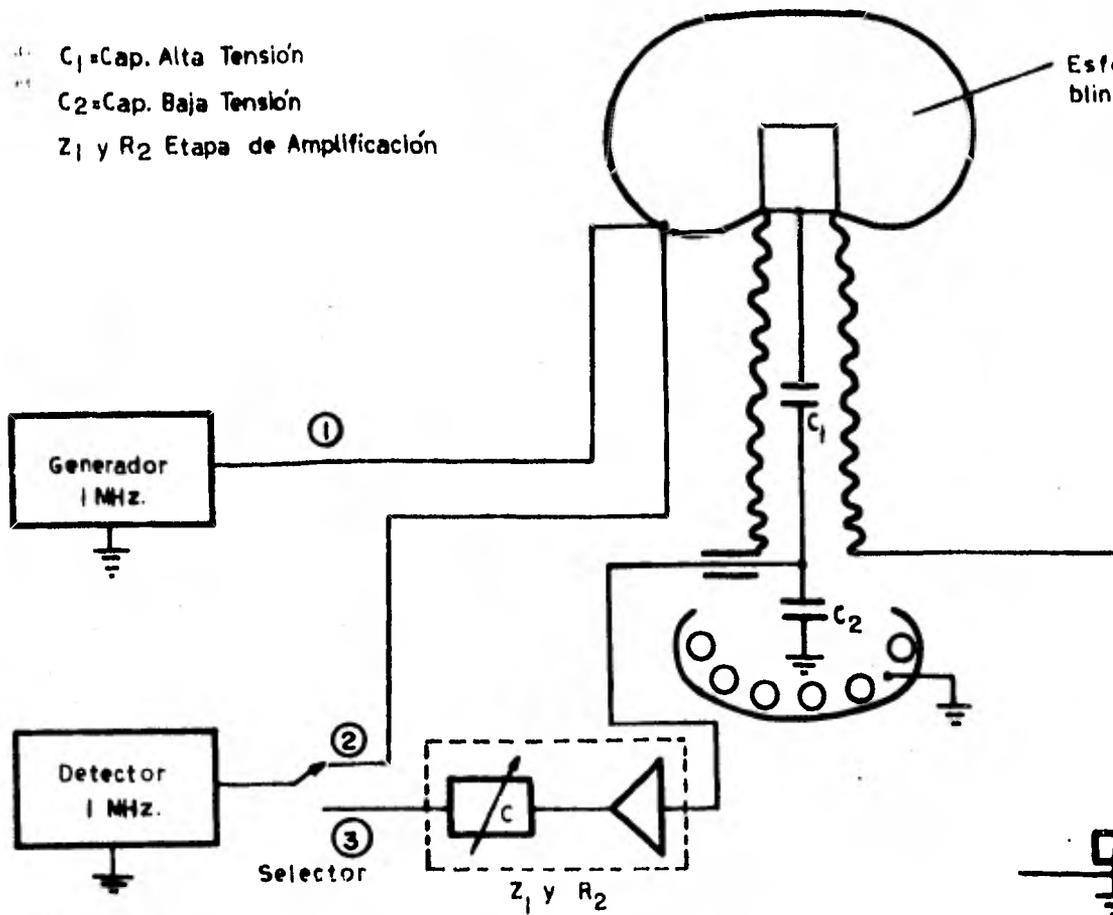


Fig. 6.3 Circuito para la medición de descargas parciales en transf. de potencia (método Tap. capacitivo)

a).- Calibración.

- Con los conectores 1 y 2, cerrados se aplica a la terminal de alta tensión la salida del generador de ondas senoidales de una magnitud de 100 micro volts inicialmente al mismo tiempo detectamos la señal en el detector y anotamos su magnitud.
- Incrementamos la magnitud de la salida de el generador de señales a 200 micro volts y tomamos lectura en el detector de señales, así sucesivamente se incrementa el valor de las señales del generador hasta 1000 micro volts.
- Cerrando el conector 3 simultaneamente con el paso anterior anotamos la relación entre la magnitud de la señal emitida y la detectada por el tap capacitivo. Es decir obtendremos la atenuación de la señal emitida.
- Obtener un factor proporcional entre la magnitud de la señal alimentada a la boquilla y la detectada en el tap capacitivo.
- Con el equipo amplificador multiplicar la ganancia de los pulsos para obtener los pulsos de la misma magnitud que los emitidos a la esfera. Con esto ya estamos eliminando la atenuación sufrida al pasar por la capacitancia del transformador y ya esta listo el circuito para la prueba.

b).- Medición de la magnitud de las descargas.

- Desconectar 1 y conectar solo 3
- Alimentar tensión de prueba a la esfera de aluminio, la tensión de prueba. Para lograr esto se alimenta al transformador por el lado de baja tensión, de tal manera que induzcamos el 260% de la tensión nominal.
- Anotar el máximo valor de descargas en micro volts.
- El voltaje de prueba debe ser soportado por el transformador durante 40 segundos y la magnitud de las descargas no debe ser superior a 750 micro volts.

VI.5 Resultados de las pruebas a transformadores de potencia.

La prueba de descargas parciales sólo se realiza a transformadores de 400 KV, en adelante, esto se debe tal vez a que -- hasta esa tensión lo exige Comisión Federal de Electricidad.

Realizamos la prueba a 4 transformadores, todos de características idénticas, sus datos son los siguientes:

Relación de transformación: 400/3/115/3 KV.
Terciario: 13.8 KV.
Capacidad: 65/70/75 MVA.
Frecuencia: 60 ciclos/seg.
Temperatura: 55º C
Altura: 1000 M.S.N.M.
Enfriamiento: Tipo OA

Transformador No. Serie 23-8034-1

Primeramente, como hemos dichos antes, después de la conexión, procurando revisar muy bien que no existan objetos metálicos cercanos al transformador para evitar interferencias, procedemos a realizar la calibración del circuito de prueba. Esta calibración tiene la finalidad de darnos una proporción en que es atenuada una señal de alta frecuencia al pasar del cable conductor del transformador del tap capacitivo pasando por el aislamiento (esta señal es de 1000 Hz).

La tabla de los valores obtenidos son los siguientes:

	R	G	
100	- 105	- 1.05	1 μV recibidos
200	- 210	- 1.05	2 μV recibidos
300	- 320	- 1.06	3 μV recibidos
400	- 430	- 1.07	4 μV recibidos
500	- 520	- 1.04	5 μV recibidos
600	- 610	- 1.01	6 μV recibidos
700	- 720	- 1.02	7 μV recibidos
800	- 830	- 1.03	8 μV recibidos
900	- 950	- 1.05	9 μV recibidos
1000	- 1080	- 1.08	10 μV recibidos

Constante de disipación = 1.04

A continuación se conecta el selector 3 y se desconectan los selectores 1 y 2, se alimenta potencial de prueba hasta 250% durante 40 segundos.

El valor de descargas en micro volts es:

600 micro volts.

El valor real es $600 (1.04) = 624$ micro volts.

Este nivel de descargas es aprobado pues IEM se compromete a entregar niveles menores a 750 micro volts.

Transformador No. Serie 23-8035-1

	B	C
100	- 110	- 1.1.
200	- 220	- 1.1
300	- 310	- 1.03
400	- 420	- 1.05
500	- 540	- 1.08
600	- 610	- 1.01
700	- 760	- 1.08
800	- 810	- 1.01
900	- 920	- 1.02
1000	- 1050	- 1.05

Constante de disipación = 1.053

Valor leído de descargas = 500 micro volts.

Valor real de descargas = $500 (1.053) = 526.5$ micro volts

Transformador No. Serie 23-8036-1

	B	C
100	- 100	- 1
200	- 200	- 1
300	- 300	- 1
400	- 400	- 1
500	- 500	- 1
600	- 600	- 1
700	- 700	- 1
800	- 800	- 1
900	- 900	- 1
1000	- 1000	- 1

Constante de disipación = 1

Valor leído de descargas = 200 micro volts

Valor real de descargas = 200 (1) = 200 Micro volts.

Transformador No. Serie 23-8037-1

100	-	110	-	1.1
200	-	225	-	1.125
300	-	315	-	1.05
400	-	420	-	1.05
500	-	550	-	1.1
600	-	650	-	1.08
700	-	740	-	1.05
800	-	850	-	1.06
900	-	950	-	1.05
1000	-	1100	-	1.1

Constante de disipación = 1.07

Valor leído de descargas = 140 micro volts

Valor real de descargas = 140 (1.07) = 149.8 micro volts

La prueba en si es muy rápida y por ello no pudimos - tomar varias lecturas como quisiéramos, pero está demostrado que la curva que sigue la magnitud de las descargas parciales varía

en función del voltaje de prueba aplicado de manera muy similar a la de la siguiente figura.

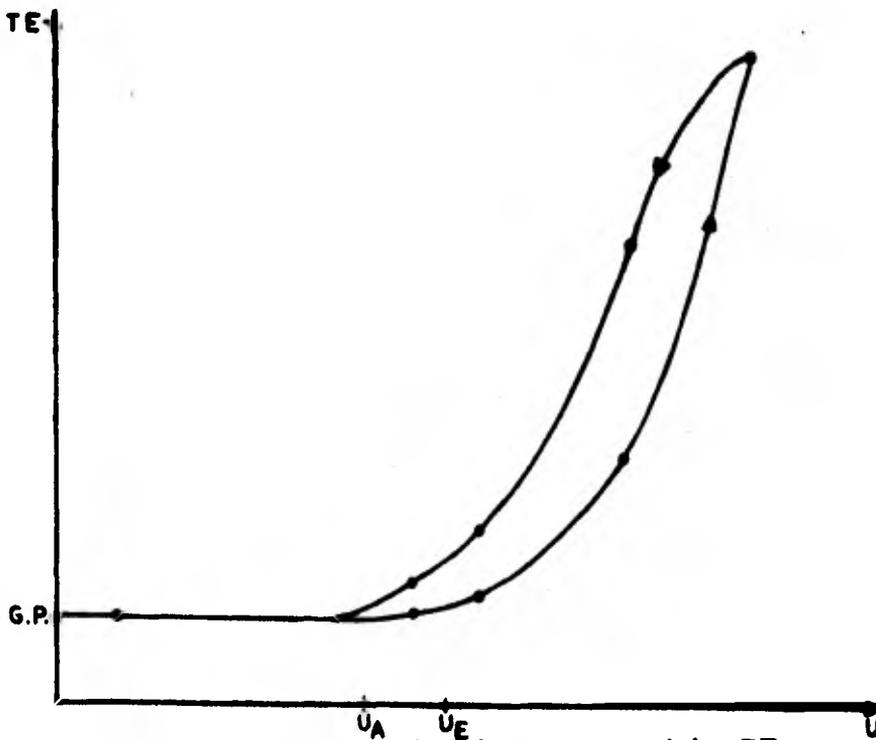


Fig. 6.4 curva que sigue las descargas parciales TE
en función del voltaje de prueba (U)

(U_A) voltaje de aparición

(U_E) " de extinción

(G.P) nivel del ruido

Sin embargo, la prueba debe realizarse con el mayor orden y cuidado. Antes de tomar las lecturas de la prueba del transformador No. 23-8034-1, revisamos con mucho cuidado las conexiones y a continuación aplicamos voltaje de prueba pero al incrementar aproximadamente 30 KV el detector nos daba un alto valor de descargas, revisamos las conexiones nuevamente y no pudimos encontrar la falla durante el día. Al día siguiente nos dimos cuenta que la causa era un cable que estaba bastante deteriorado, pues esa fué una buena experiencia que reafirmaba la necesidad, tener absoluto cuidado de el buen estado de los cables coaxiales en la realización de la prueba. En la siguiente figura presentamos un laboratorio clásico de descargas parciales.

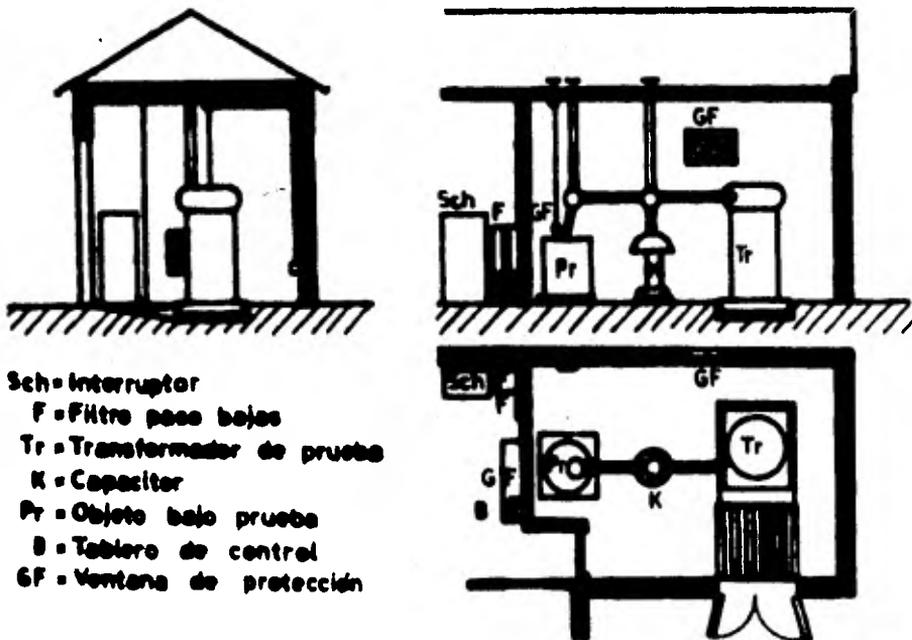


Fig. 6.5.- LABORATORIO DE PRUEBAS

C A P I T U L O V I I .

PRUEBAS DE DESCARGAS PARCIALES A CAPACITORES DE ALTA TENSION.

VII.1.- Antecedentes.

La prueba de descargas parciales en capacitores, actualmente en México, no está normalizada; en la industria ésta prueba se realiza con fines de investigación.

Para probar capacitores se puede utilizar cualquier método eléctrico de los antes mencionados.

Balmec, S.A., realiza ésta prueba a capacitores de papel impregnado en aceite; para ello utiliza un equipo muy similar al de Balteau, S.A., es un detector ERA que es útil para probar capacitores de potencia que se utilizan para corregir factor de potencia y para disminuir los transitorios de una línea de alta tensión.

VII.2.- Descargas Parciales en Capacitores

Como abemos, las descargas se presentan en capacitores - de papel impregnado en aceite (ver figura 7.1), también en capacitores de aislamiento sólido.

Las causas por las que se presentan las descargas en capacitores se deben:

- Presencia de polvo u objetos extraños dentro.
- Por un imperfecto desgasificado.
- Mala impregnación del papel.
- Constantes sobretensiones.
- La edad del banco de capacitores

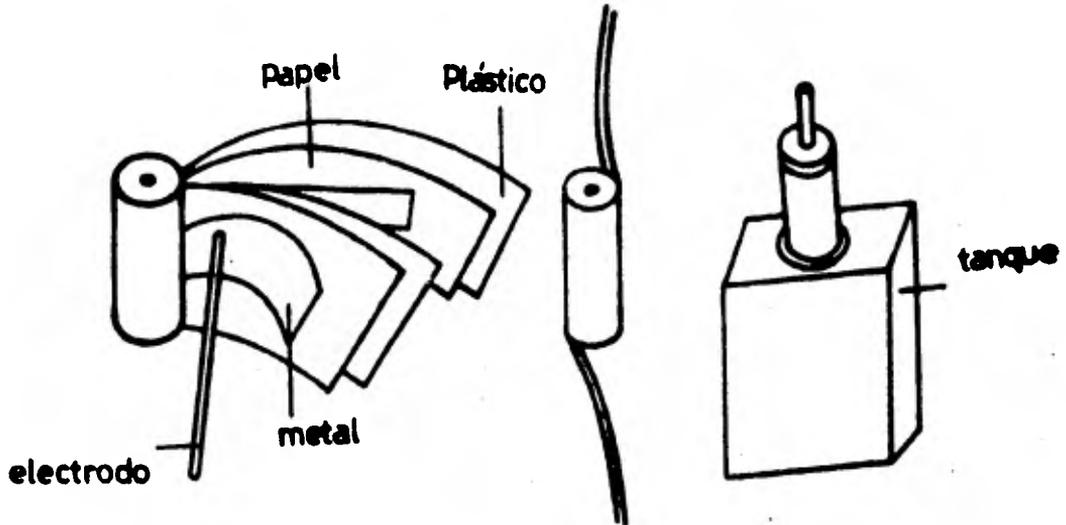


fig. 7.1

Fig. 7.1. Construcción de un Capacitor.

No nos fué posible realizar la prueba de descargas en ca-
pacitores, sin embargo, diremos que ésta prueba se lleva a cabo-
después de la prueba de sobre voltaje, la tensión de prueba es -
de 1.5 veces, la tensión nominal a una sensibilidad de 50 pC. Di-
resmos que la magnitud de las descargas en capacitores aumentan-
considerablemente, que es difícil reducirlas por lo que se fabri-
can bajo el más estricto control de calidad.

Con respecto a los capacitores de aislamiento sólido, aún
no se fabrican en México y poco se sabe en cuanto a los requeri-
mientos de descargas, aunque se supone que dichos requerimientos
deben ser similares a los de aislamiento con papel impregnado en
aceite.

Presentamos a continuación la fotografía del equipo que se usa para realizar la prueba de descargas parciales.

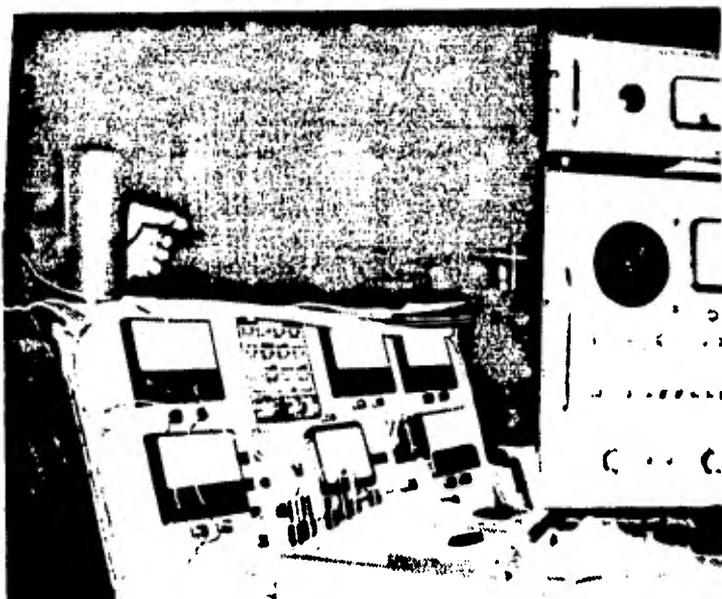


Fig. 7.2 Equipo detector ERA para detectar descargas parciales en Capacitores.



Fig. 7.3 Transformador Elevador de Tensión para realizar la prueba de descargas parciales en capacitores de alta tensión.

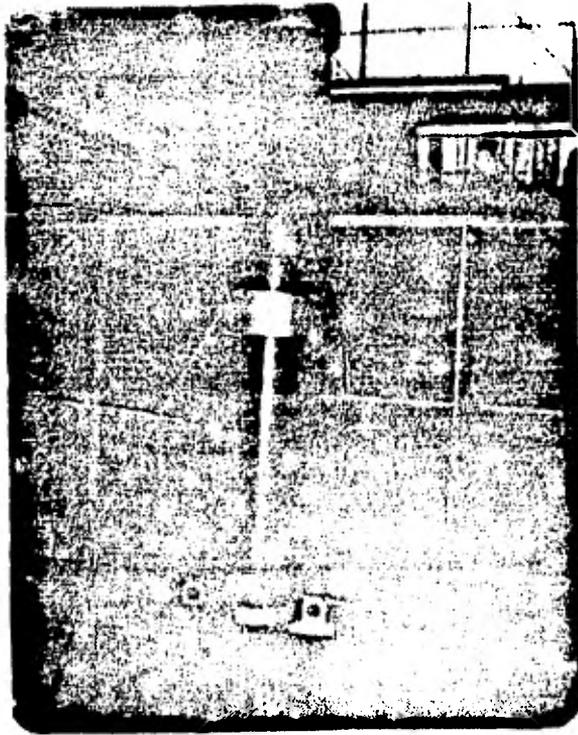
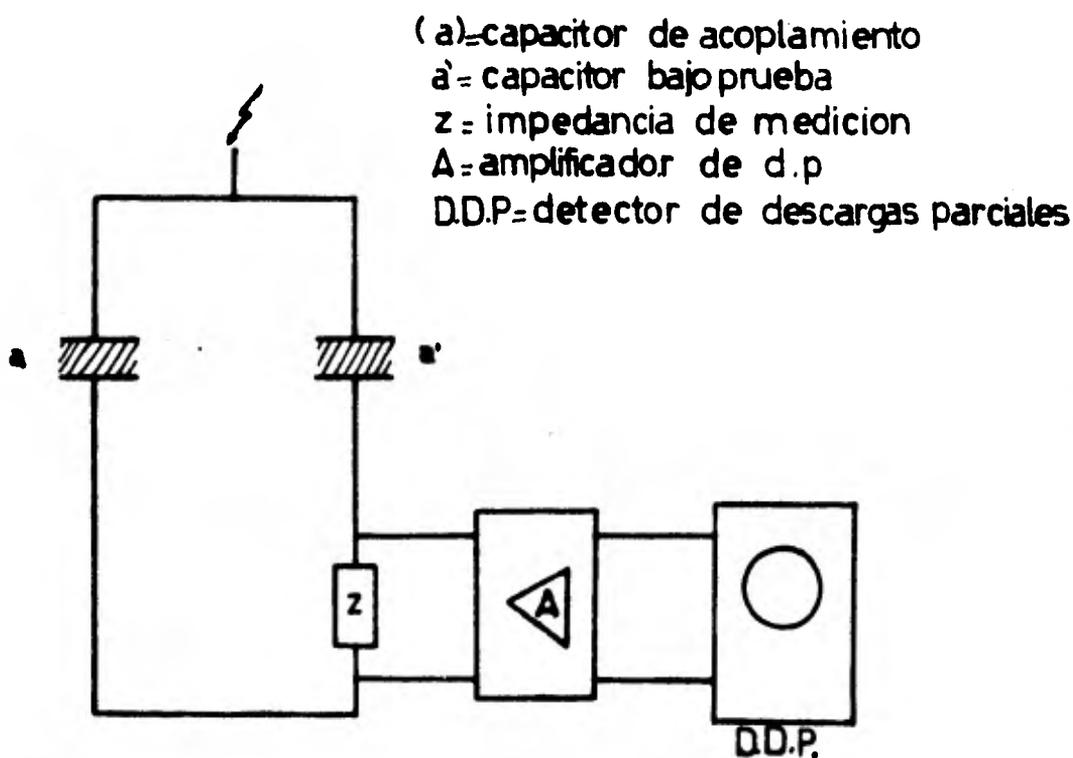


Fig. 7.4. Capacitor de desplazamiento para prevenir descargas parciales en capacitores de alta tensión.

VII.3.- Circuito de Prueba

Generalmente todos los métodos de detección pueden ser utilizados para probar capacitores. Balmecc, S.A., tiene un detector ERA, que es útil para detectar descargas parciales en capacitores de potencia; tomemos en cuenta, sin embargo, que el capacitor de acoplamiento es de solamente 100 a 1000 pF, por lo tanto la muestra debe ser de ese orden para que la magnitud de las descargas varíe linealmente con la muestra. Sabemos que el capacitor de acoplamiento debe ser de menor capacitancia que la muestra para obtener mayor sensibilidad, el circuito es como el que se muestra en la figura:



C A P I T U L O V I I I

PRUEBA DE DESCARGAS PARCIALES A OTROS EQUIPOS DIVERSOS

VIII.1 Prueba de Descargas Parciales a otros equipos eléctricos.

En este capítulo hablaremos brevemente de los métodos utilizados para detectar descargas parciales en equipos eléctricos como:

- a).- Boquillas (BUSHINGS).
- b).- Terminales de Cables.
- c).- Máquinas Eléctricas.

VIII.2 Detección de Descargas Parciales en Boquillas.

a.1 Métodos no Eléctricos.

Existe literatura acerca de la detección por métodos laminosos --- (detección de la luz emitida por las descargas parciales externas) se usan también métodos de detección a través del ruido emitido. - Estos métodos no son muy sensitivos.

a.2 Métodos Eléctricos.

Todos los métodos eléctricos de circuitos lineales asumiendo que la muestra es aterrizada de tal manera que no existan líneas de -- campo que vayan a tierra y que produzcan interferencia. La figura- 8.1 muestra un ejemplo de un circuito lineal para detectar descargas en boquillas en donde un filtro es utilizado para eliminar interferencias.

Stark (1) realizó esta prueba en equipo arriba de 200 KV con este mismo arreglo utilizando un detector ERA Modelo 2 otro equipo utilizado también fué el circuito con un filtro RLC y un medidor de radio interferencia como detector, trabajando con los dos circuitos Stark llegó a las siguientes conclusiones:

- 1).- El detector de descargas es más sensitivo que el medidor de radio interferencia.

- 2).- La medición de la magnitud de las descargas parciales con el detector ERA son independientes del circuito y el amplificador porque un impulso de calibración es aplicado cada vez -- que se realiza la prueba. Las lecturas del medidor de radiointerferencia dependen grandemente del circuito, del amplificador, etc.
- 3).- El display utilizado por el detector ERA establece una diferenciación entre las interferencias y las descargas parciales en el equipo a medir.
- 4).- La elipse del osciloscopio puede en un momento dado a la localización de las descargas parciales dentro y fuera de la muestra o bien establece su origen.

Entonces podemos ver que el detector es preferido a el medidor de radio interferencia.

En la figura 8.2 se muestra un detector balanceado, no es -- muy recomendado. Puede verse que con este circuito existen -- líneas de campo que van del objeto bajo prueba a tierra ocasionando las interferencias antes mencionadas.

a.3 Procedimiento.

Se sugiere que las boquillas sean probadas en las condiciones similares a las de servicio.

Para que una boquilla de resina con papel sea aprobada debe tener un nivel de descargas parciales inferior a 100 pC a las dos terceras partes del voltaje de operación. Las boquillas impregnadas en aceite no deben tener descargas, este requerimiento se exige a voltaje de trabajo. La sensibilidad sugerida es de 10 pC.

VIII.3 Detección de descargas parciales en terminales de cables.

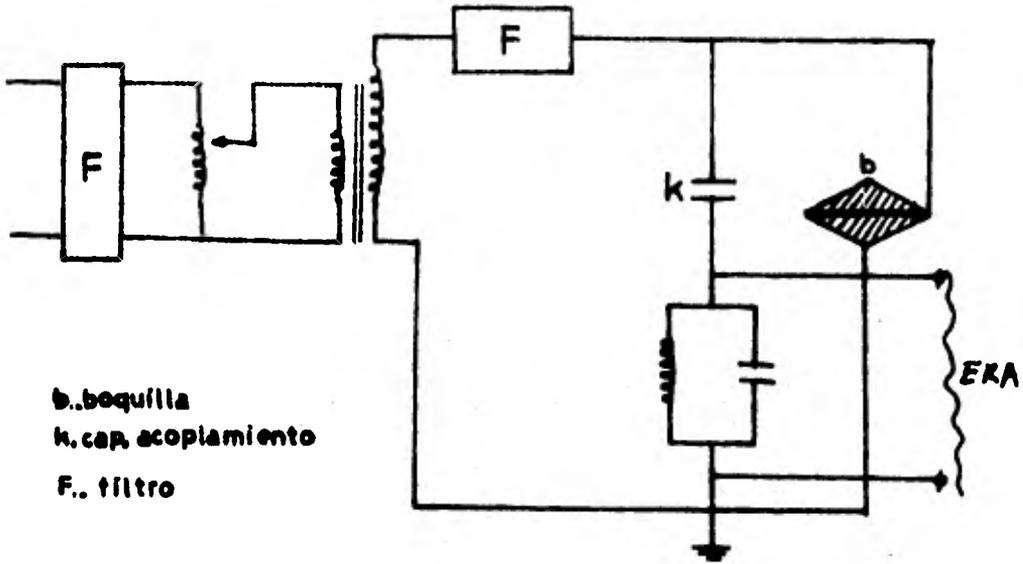


fig.1 detección de descargas en boquillas (bushings).

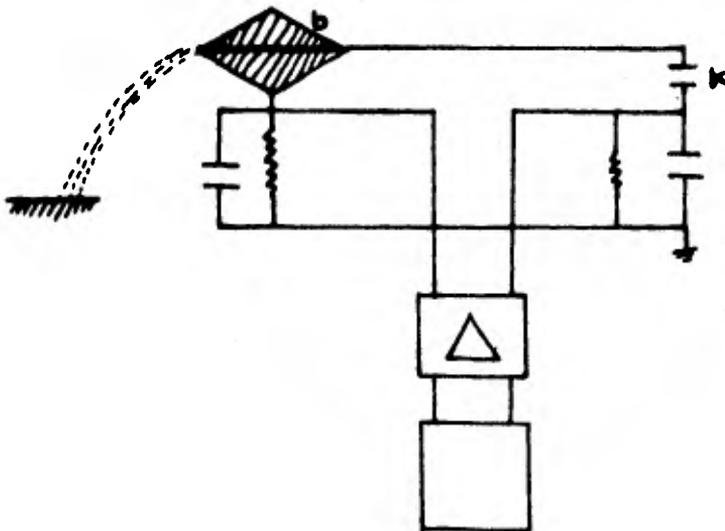


fig.2 circuito balanceado para detectar D.P. en boquillas.

b.1 Detección no Eléctrica.

Son válidas las mismas consideraciones que para detección en boquillas. La detección luminosa es excelente para detectar descargas - parciales superficiales.

b.2 Detección Eléctrica.

Son aplicadas las mismas consideraciones que para boquillas, todos los circuitos de detección eléctricos pueden ser utilizados siempre que la muestra sea aterrizada.

El circuito de detección balanceado es algunas veces utilizado asegurándose que la muestra sea aterrizada para así evitar que sean medidas las descargas parciales en el cable al que está conectada la terminal. Por ello este método presenta la dificultad de la interpretación de la magnitud de las descargas parciales.

VIII.4 Detección de Descargas Parciales en Máquinas Rotatorias de Alta Tensión.

En muchos tipos de máquinas eléctricas de alto voltaje sucede algo similar que con cables fundidos en masa o impregnados de aislantes en masa, por que puede suceder que no tengan descargas o que tengan altos niveles de descargas parciales. Las pérdidas se pueden medir con un circuito de Schering (mencionado en el apéndice A). Como sabemos la máquina forma una red muchas veces tan complicada como un transformador y los impulsos generados por las descargas son atenuadas en ella antes de llegar a las terminales, por ello también es más difícil medir las descargas en este tipo de máquinas.

A través del tiempo se han realizado pruebas en este tipo de equipo eléctrico, para ello se han utilizado equipos detectores ERA, filtros de banda angosta con amplificadores y otros. Todos han obtenido lecturas con diferentes factores de atenuación.

Stark (1) recomienda la prueba a estas máquinas como una prueba para saber las condiciones de operación en máquinas viejas. El hace la distinción de descargas parciales cerca de las terminales y las descargas parciales lejanas de las terminales. A las primeras las llamadas descargas preferenciales. Estas descargas son una indicación de que los embobinados en cuestión están deteriorados, estos niveles son encontrados generalmente en máquinas con edades de 15 años o más.

C A P I T U L O I X

LOCALIZACION DE DESCARGAS PARCIALES

IX.1 Introducción.

La localización de descargas parciales son importantes por dos razones. Primera, es de interés para el diseño de equipo de alta tensión, si la descarga es localizada, la causa puede ser conocida de este modo y la falla puede ser prevenida en los subsecuentes productos. Segunda, es importante para la aceptación de las pruebas, porque puede llegarse a la conclusión de que la causa que produce la descarga no es peligrosa y puede ser tolerada.

Puede establecerse que los métodos de localización no son perfectos. Por esto existen algunos métodos muy generales que consideraremos a continuación.

IX.2 Localización por patrones de descargas.

Los patrones como pueden observarse en las pantallas de los detectores pueden darnos una idea del origen de las descargas, estos patrones pueden observarse en la fig. 9.1.

IX.3 Localización por eliminación.

Si una muestra consiste de varios componentes y nó es posible separarlas eléctricamente, por alternativa de localización, los otros impulsos de descargas pueden ser atenuados hasta obtener la localización. Las descargas que tienen lugar por ejemplo entre

los los bobinados de el transformador y el tanque, pueden ser eliminadas por el aterrizamiento del mismo.

En algunos casos se pueden eliminar las descargas superficiales -- con la inmersión del objeto bajo prueba en aceite.

IX.4 Localización por rayos X.

Los rayos X tienden a disminuir el voltaje de iniciación de descargas parciales, este efecto puede ser utilizado para la localización de descargas parciales. Cuando las descargas se inician, el haz de rayos X es pasado por el sitio y de este modo checar el voltaje de iniciación hasta encontrar el punto donde hay descargas parciales.

IX.5 Localización Acustica.

Este tipo de localización puede hacerse introduciendo los hidrofones dentro del aceite del tanque del equipo al que se le quieren localizar las descargas.

Otra manera es aprovechando la diferencia de presión que producen en el aceite los impulsos de las descargas, esta diferencia de presiones es transmitida hasta las paredes del tanque del equipo. Se colocan microfones en las paredes y en diferentes puntos, estos microfones están conectados a sus respectivos osciloscopios.

Midiendo el tiempo que tardan en llegar los impulsos a los microfones podemos llegar finalmente al sitio en que suceden las descargas. Ver la figura 9.2.

IX.6 Localización por demolición.

En última instancia para lograr la localización de una falla de -- descargas parciales, se aplica una muy alta tensión al equipo bajo prueba con la finalidad de hacerlo fallar completamente y así saber donde está la falla de diseño.

- 1..3. microfones
- 4,5. osciloscopio
- 6. Tanque
- 7. pto. descarga

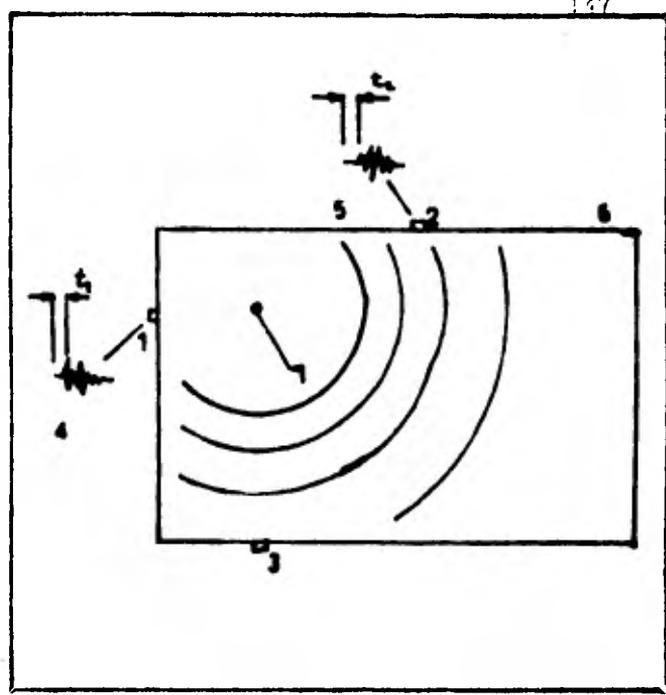
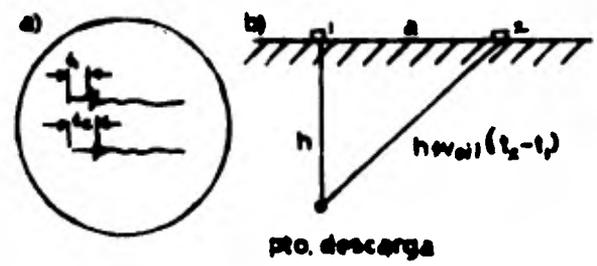
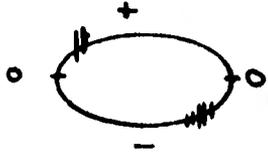
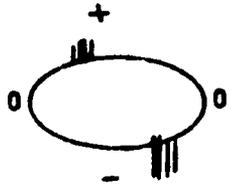
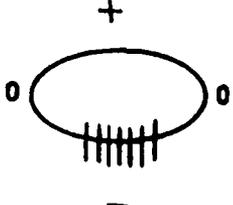
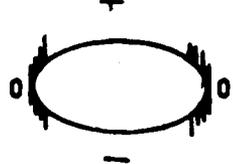


fig.9.1 principio de localizacion acustica



22 idea geométrica para la obtencion del punto de descargas parciales.

PATRON DE IMPULSOS	FORMA DE IMPULSOS	DESCARGA
	<p>Bella simétrica, estacionaria, impulsos flotantes</p>	<p>Este tipo de usual de descargas internas en bucos y en dieléctricos impregnados.</p>
	<p>Algunos impulsos en medio del ciclo positivo, algunas descargas en el semiciclo negativo.</p>	<p>Descargas adyacentes al conductor con potencial a tierra.</p>
	<p>Patron similar pero con grandes semiciclos en el semiciclo negativo.</p>	<p>Descarga adyacente al conductor de alto potencial.</p>
	<p>Cerca del voltaje de iniciación los descargas pueden ser intermitentes.</p>	<p>Descargas.</p>
	<p>Igual espaciamento e igual peso de los impulsos en la cresta negativa del voltaje aplicado.</p>	<p>Descargas corona alrededor de un punto filoso con alto voltaje.</p>
	<p>Igual espaciamento e igual peso de los impulsos en la cresta negativa del voltaje aplicado.</p>	<p>Descargas corona alrededor de un punto filoso en bajo voltaje.</p>
	<p>Banda irregular de impulsos que tienden a ocurrir alrededor de cero.</p>	<p>Falso contacto</p>

IX.7 Localización por exploración (Scanning).

Este método se aplica sobre todo a cables de alta tensión, como se mencionó, en el capítulo 5, consiste de hacer pasar el cable bajo prueba por un circuito detector de alta tensión, que nos da a magnitud de las descargas punto por punto conforme va pasando el cable por el circuito. Este Método facilita bastante la localización por que se hace al mismo tiempo que la detección.

C A P I T U L O X

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones:

1).-De acuerdo a Mason la deterioración de los dieléctricos toma lugar en tres estados. Un primer estado tiene lugar en la periferia de la cavidad dentro del dieléctrico existe corrosión por las descargas, el segundo estado forma canales fuera de la cavidad formando nuevas cavidades y en el tercer estado se produce la falla. La velocidad de la deterioración es proporcional a la frecuencia del voltaje alimentado, se incrementa con el esfuerzo eléctrico y depende de las propiedades del dieléctrico.

2).-La detección de las descargas es basada en la detección de el fenómeno que es causado por las mismas. De acuerdo a la naturaleza de este fenómeno, los métodos de detección se dividen en métodos eléctricos y métodos no eléctricos.

3).-Los métodos por medio de detección del calor y la presión de los gases generados no es practicable.

4).-La detección luminosa se usa en equinos con dieléctricos transparentes y en la detección de descargas parciales - superficiales y externas. Tambien en la detección de descargas superficiales se usa el método por fotografía.

5).-Los métodos eléctricos tienen ventaja de poder medir descargas de una magnitud muy pequeña, su desventaja es que es fácil presa de la interferencia.

6).-La magnitud real de una descarga puede ser expresada como la magnitud de una descarga grande o el efecto combinado de varias descargas pequeñas.

7).-Una medición completa de las descargas puede ser obtenida por:

- a) un equipo detector y medidor.
- b) medición de las pérdidas del dieléctrico.
- c) un método no eléctrico confiable.

8).-Para tomar la decisión si un equipo pasa o no la prueba de descargas parciales se debe considerar un cierto nivel de las mismas, esto en función de la tensión de prueba y de un estudio estadístico de los diferentes equipos de fabricación nacional, ya que normalmente se presentan niveles de D.P. altos.

9).-La metodología de la prueba e interpretación de la misma está basada en las recomendaciones de prueba para transformadores de potencia, transformadores de medición, cables, etc.

10).-No obstante las descargas parciales involucran pequeñas cantidades de energía degradan(envejecen) paulatinamente a los aislamientos de los equipos de alta tensión. Los aislamientos sólidos son más afectados, los aislamientos líquidos menos debido a su constante movimiento.

11).-En los aislamientos sólidos(no recuperables) los daños producidos son carbonización, que provoca calentamiento pérdidas y falla total del equipo.

12).-Los defectos que pueden causar las descargas parciales son:

Cavidades gaseosas en los aislamientos sólidos.

Burbujas en los aceites.

Protuberancias metálicas en los devanados.

Polvo en las superficies.

Mal proceso de secado y desgasificado.

Interfases mal logradas entre los aislamientos.

13).-Los capacitores pueden ser probados con todos los tipos de métodos eléctricos. Si el capacitor es grande es necesario un transformador elevador de tensión grande, un segundo capacitor(capacitor de acoplamiento) muy similar al

que se prueba para obtener mayor sensibilidad.

14).-Los cables de corta longitud pueden ser probados - por todos los detectores eléctricos. En este caso el método Scanning es útil para la detección y la localización al mismo tiempo. Puede ser posible utilizar el método por microfono para piezas pequeñas de cables.

15).-Las terminales de cables pueden ser probadas con todos los tipos de detectores eléctricos algunas veces el circuito balanceado es preferido para distinguir entre descargas en las muestras y las descargas en el cable. Los métodos luminosos y por ruido pueden ser útiles para descargas superficiales.

16).-Las bocuillas (Bushings) pueden ser probadas por diferentes tipos de detectores eléctricos.

17).-En transformadores de potencia, por razones históricas y económicas se usa el método de detección de radio -- interferencia, no es recomendado, el tamaño de los impulsos de la descarga depende de la localización en el embobinado -- , la magnitud de las descargas no puede ser determinada con precisión, es menos sensitivo que el detector de descargas y no dibuja un patrón de descargas.

18).-Las máquinas de alta tensión son preferentemente probadas con un detector de bajas frecuencias. En muchos casos el método de medición de las pérdidas es preferido porque usualmente hay muchas descargas durante el trabajo (interferencias).

19).-El procedimiento de prueba es dependiente de las características de el dieléctrico. Los dieléctricos sólidos son probados de 1 a 1.5 veces el voltaje nominal en este caso es usual probar D.P. después de la prueba de sobre voltaje. En aislamientos líquidos el voltaje de prueba es mayor. Lo anterior depende del equipo que se trate.

Recomendaciones:

Es de gran importancia la prevención de descargas parciales.

Dieléctricos de Resina.

En el caso de transformadores de medición ahogados en resina epoxica es muy importante que la resina cubra perfectamente todo el transformador, para ello su viscosidad debe ser la adecuada para su mejor manejo, además el llenado debe hacerse con suficiente tiempo, para que la resina se adhiera perfectamente a las partes vivas del transformador.

Dieléctricos extruidos

Se usan en cables de alta tensión, la causa principal de las D.P. es cuando se consolida el plástico aislante quedan huecos entre las interfases o entre los conductores y el aislamiento. Para facilitar la adhesión al rededor de el conductor se usa una capa de semiconductor

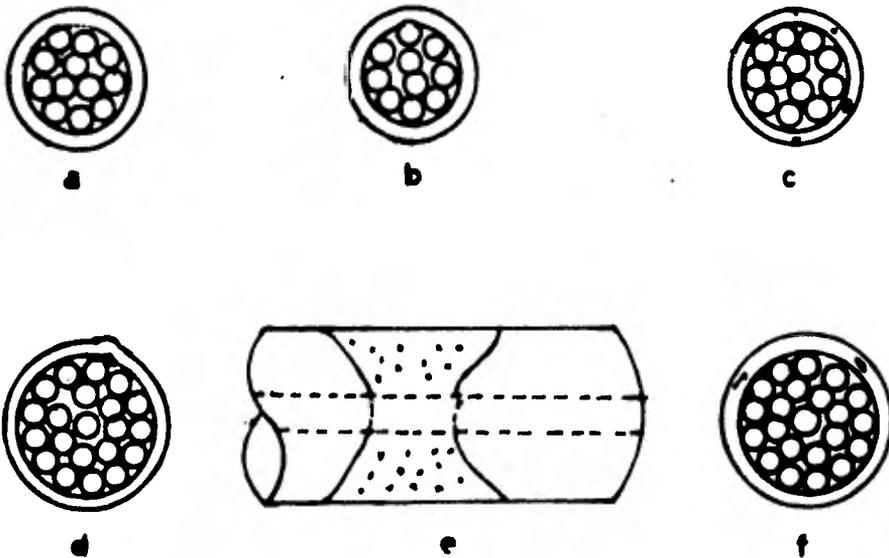


Fig.10.1 Defectos en cables de aislamiento sólido
 a) Daño en la cinta semiconductor. b) Defectos en el conductor
 c) Burbujas de aire en el dieléctrico d) Cavidades entre las
 fases del aislante e) Aislamiento poroso f) Metales introducidos en el aislamiento.

Recomendaciones para prevenir las D.P.

1.-El proceso de extrusión debe ser cuidadosamente controlado. la fundición debe realizarse con bastante tiempo pre viniendo la formación de huecos.

2.-La mezcla debe ser cuidadosamente chequeada después de cada ensayo de extrusión.

3.-Extremar la limpieza para evitar la suciedad y parti culas extrañas en el dieléctrico.

4.-Algunas veces debe ser aplicado vacío para secar antes de la extrusión, en otros la alta presión con la finalidad de que se eliminen las burbujas dentro de el dieléctrico.

Recomendaciones para evitar D.P. en aparatos con dielec tricos impregnados en aceite.

1.-El papel debe ser secado cuidadosamente.

2.-El impregnado debe hacerse con secado y desgasificado

3.-Extrema limpieza debe observarse para evitar la presencia de las partículas que provocan descargas.

4.-Los materiales deben cuidadosamente seleccionados.

5.-El aceite debe ser apto para expandirse de tal manera que se eviten las cavidades cuando se deforma.

6.-Las concentraciones de campo deben ser evitadas al máximo.

Se recomienda revisar todos los aspectos de fabrica ción de equipo eléctrico como es el diseño (partes, distancias entre electrodos, bordes, guías, etc.) para evitar descargas.

A P E N D I C E "A"

TANGENTE DELTA (δ)

Medición de la Tangente Delta ($\text{tg } \delta$)

Definición: Es la relación entre la corriente wateada - I_w y la corriente capacitiva I_c de un material aislante.

$$\text{tg } \delta = \frac{I_w}{I_c}$$

En un condensador perfecto, la corriente circulante I_c - está adelantada 90° con respecto a la tensión. Ahora, si el -- transformador presenta pérdidas debidas a:

- Corriente superficial o a través del aislamiento al no ser infinita la resistencia.
- Histéresis dieléctrica o sea la resistencia del dieléctrico a ser polarizado.
- Descargas internas.

Habrá una componente resistiva I_w y la corriente total - está adelanta con respecto a la tensión aplicada un ángulo menor a 90° .

De la figura A₁ se ve que δ es el ángulo de defasamien to entre la corriente total y la corriente puramente capacitiva. $\text{Tg } \delta$ también se conoce como factor de disipación.

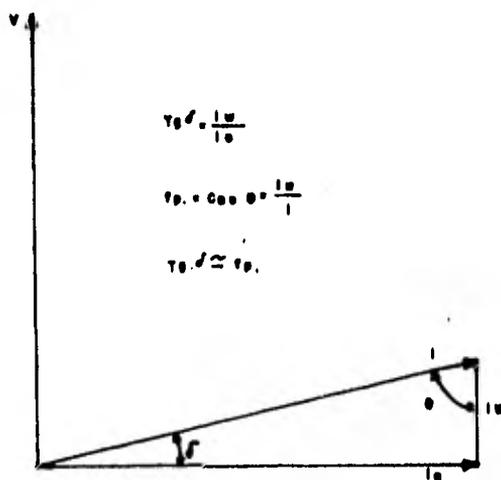


FIG. A.1 diagrama vectorial del factor de disipación

Instrumento de Medición.

El método clásico de medición es el puente de S Hering-- que se muestra en al figura A₂. En el se comparan las capacitancias del objeto bajo prueba C_x y la de un condensador patrón C_p que prácticamente no tiene pérdidas.

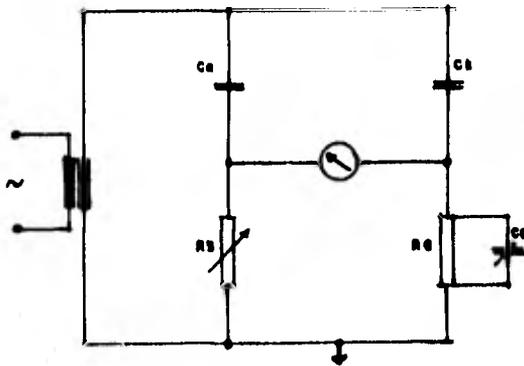


FIG. A.2 PUENTE DE SHERING

C_c -Capacitor de acoplamiento

C_x -Capacitor bajo prueba

C_p -Capcitor variable

R_3 R_4 -Resistencias variables

Circuitos de prueba y discusiones.

La conexión que generalmente se emplea en los transformadores de corriente y de potencial es poniendo todos los devanados en corto circuito (figura A.3a). Sin embargo, para los transformadores de aislamiento reducido (de potencial) se recomienda hacer las conexiones de la figura A.3b.

Cuando se efectúan las pruebas $\text{tg } \delta$ sobre un aparato completo se recomienda trazar un esquema equivalente con todas las capacitancias que pueden intervenir en la medición, ya que

en muchas configuraciones interviene el campo eléctrico externo influido por objetos colocados cerca del aparato bajo prueba, -- las capacitancias a tierra, el material entre terminales, etc. y cuyo efecto puede ser mayor que el del propio dieléctrico.

En los transformadores de Corriente, los valores superiores a 0.6% representan presencia de humedad o un envejecimiento del aislamiento. En los transformadores de Potencia con aislamiento reducido, por el contrario, el factor de potencia medido entre los devanados de alta y baja tensión, no es representativo de la calidad ya que en servicio normal la terminal P2 siempre se conecta a tierra y no existe tensión aplicada entre los devanados. De hecho, se mide el factor de potencia entre el devanado de alta y el de baja incluyendo las pérdidas de las terminales y el factor de potencia no depende del aislamiento entre espiras ni entre capas. Mediante el circuito de la figura A.3b, es posible medir el factor de potencia en las mismas condiciones en las que operará el transformador (con tensión nominal). Es importante mencionar que la teoría que antes mencionamos es aplicada a cables, capacitores y en todos los equipos eléctricos para estar enterados de las condiciones del aislamiento. Las empresas que visitamos para realizar esta tesis las realizan como un control de calidad.

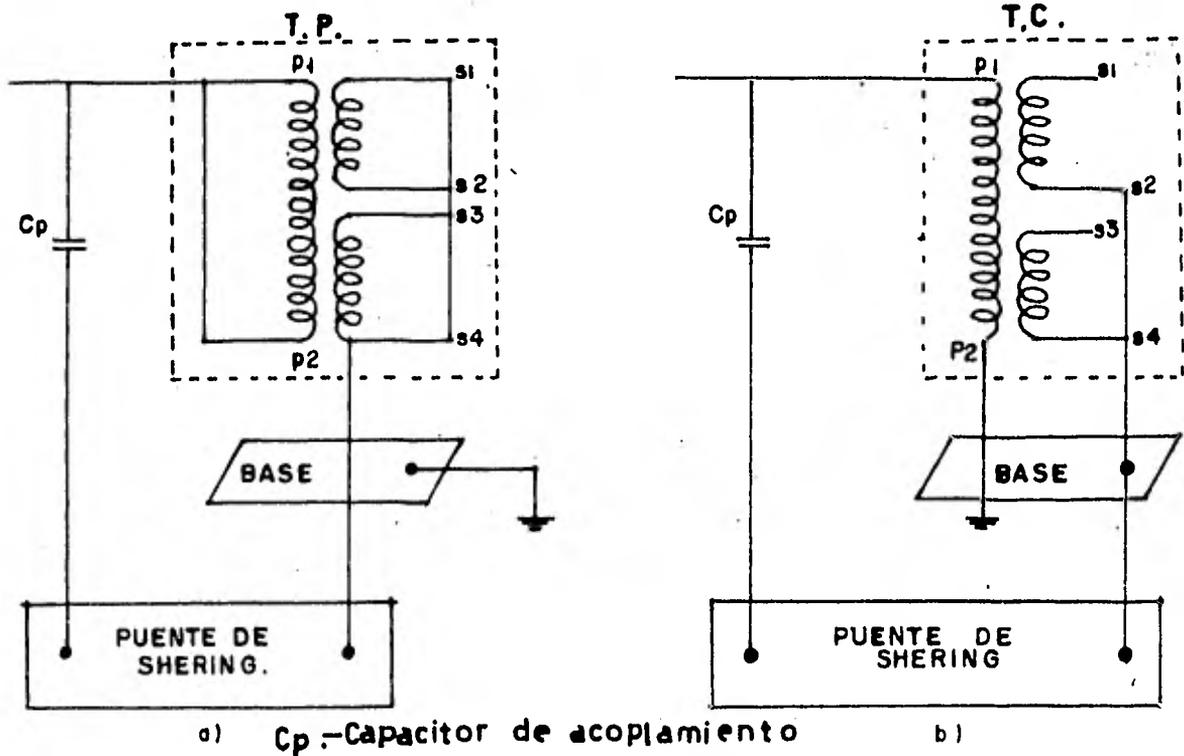
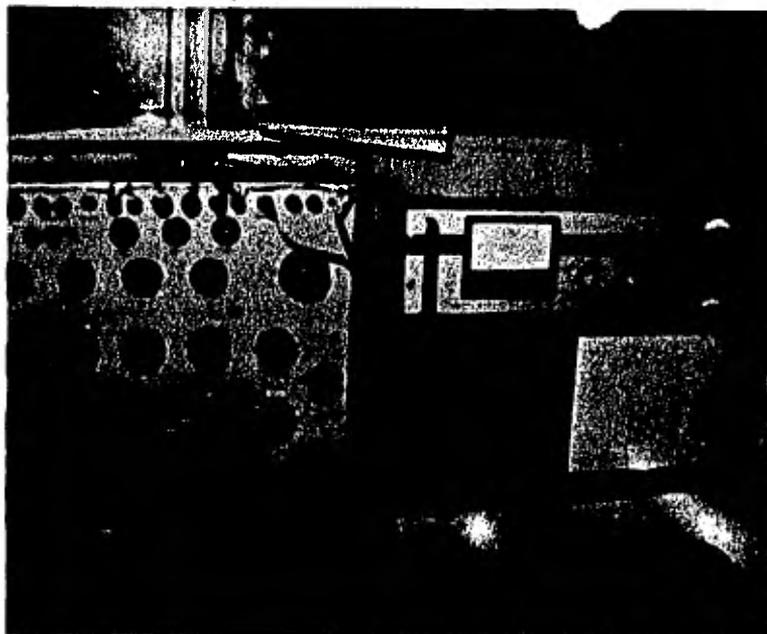


FIG. No. 2. a) CONEXIONES DE LAS TERMINALES DE LOS TRANSFORMADORES PARA LA PRUEBA DE t_q δ

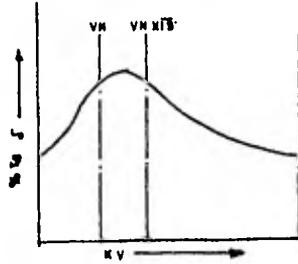
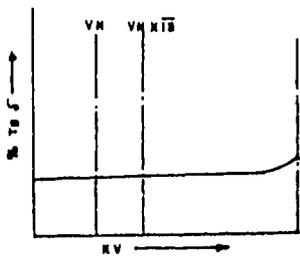


FOTOGRAFIA QUE MUESTRA EL TABLERO DEL PUENTE DE SCHERING "

Relación entre las Descargas Parciales y la Tg

Para verificar la calidad de un dieléctrico no solo debe considerarse un determinado valor de $Tg \delta$, sino sobre todo, su variación con la tensión aplicada, del tiempo y de la temperatura. Un aumento brusco en el factor de potencia generalmente se atribuye a la aparición de Descargas Parciales pero puede deberse también a pérdidas iónicas y dipolares. Es difícil distinguir una de otra a menos de tener a disposición un detector de descargas. En la figura A.4a se muestran dos curvas características de la variación de la $Tg \delta$ al aumentar la tensión, la interpretación de las curvas es la siguiente: La figura A.4a, representa un aislamiento en buenas condiciones (se aprecia un ligero aumento en la $Tg \delta$ y en el incremento de la capacitancia a la tensión de prueba). Se obtiene la misma curva en la bajada de tensión. La figura A.4b, representa un transformador en aceite con burbujas de aire o con pequeños poros entre los devandos. A una determinada tensión aparecen pequeñas descargas, pero al seguir aumentando la tensión las burbujas o los pequeños poros se ponen completamente en corto circuito trayendo como consecuencia una disminución de la $Tg \delta$. La curva de la capacitancia aumenta progresivamente hasta llegar al valor característica del material.

En la figura A.5 se dan algunas curvas de la variación de la $Tg \delta$ y la capacitancia con el tiempo, de ellas, la figura A.5a . representa un caso normal, la figura A.5b, se van poniendo en cortas distancias capas del dieléctrico por lo que únicamente aumenta C y no la $Tg \delta$. En la A.5c, aumenta la $Tg \delta$ debido al calor desarrolado por las pérdidas.



VN-Voltaje nominal

%tgδ-Valor en % de la relación $\frac{I_w}{I_c}$

ΔC-Incremento de capacitancia

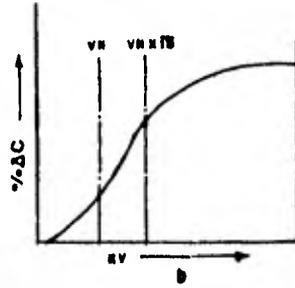
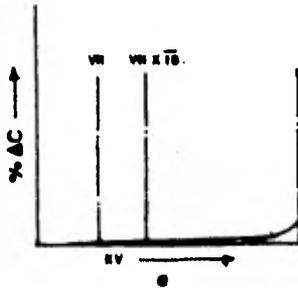
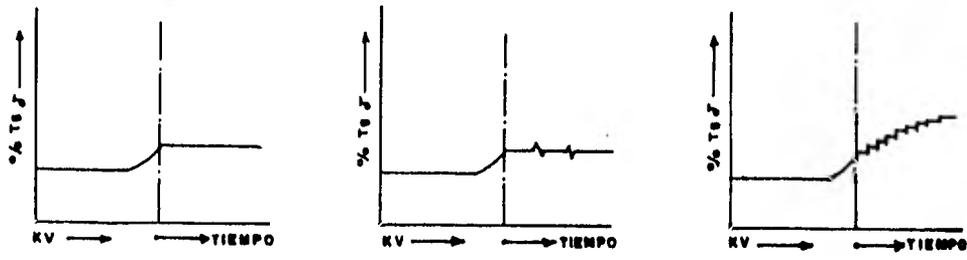


fig. A.42, b CURVAS CARACTERISTICAS DE t_{δ} -KV.



ΔC - Incremento de capacitancia
 $\% \text{tg} \delta$ - Valor en $\%$ de la relacion $\frac{I_w}{I_c}$

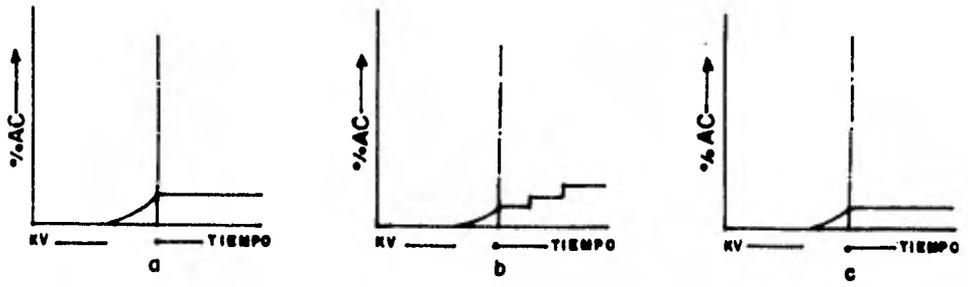


FIG. N° 4.5 CURVAS CARACTERISTICAS DE $t_{g f}$ - tiempo

PUENTE DE SCHERING.

Fué diseñado por H. F. Schering se muestra en la siguiente figura:

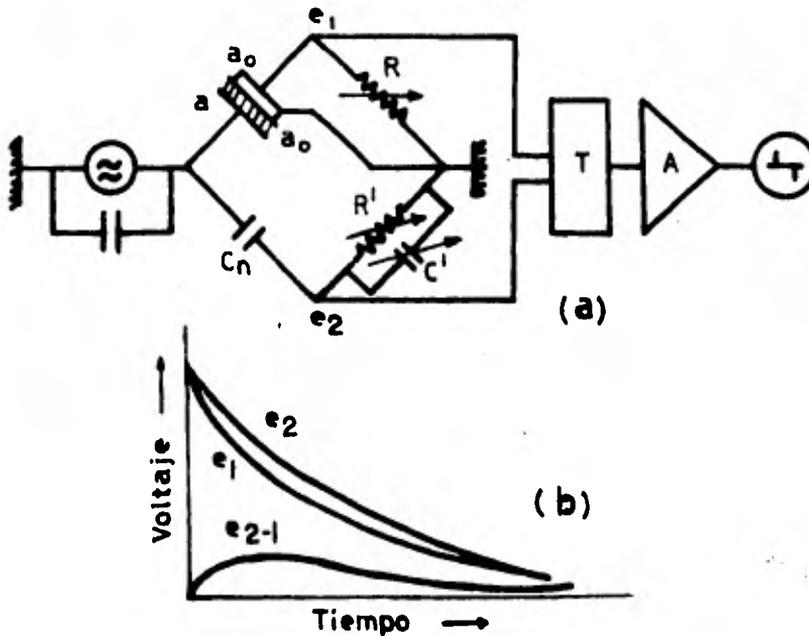


Fig.A.6 puente de Sehering

(a) circuito de conexión para medir d.p.

(b) curva que da la función puente de sehering

- | | |
|-------------------------------|------------------------------|
| C' = Capacitancia variable | |
| a = Dieléctrico bajo prueba | C_n = Capacitor conocido |
| T = Transductor | R' = Resistencia variable. |
| A = Amplificador. | |

Una descarga en la muestra C_0 causa un impulso a través del resistor R , el impulso es alimentado al osciloscopio vía un filtro y un amplificador, el disturbio es detectado por cualquiera de los puentes, y la diferencia es detectada, su sensibilidad es alta por ejemplo, una muestra de 1000 pE, una descarga de -- 0.02 pC puede ser detectada, es importante su calibración.

A P E N D I C E "B"

CARACTERISTICAS PRINCIPALES DEL EQUIPO PARA LA INSTALACION DE UN
LABORATORIO DE D. P.

Características Principales del Equipo para la Instalación de un Laboratorio de descargas parciales.

La medición de descargas parciales:

Por lo anteriormente expuesto en el capítulo 3 , es obvio que para lograr una buena sensibilidad en la medición de Descargas Parciales, el circuito eléctrico debe cumplir con las siguientes características.

Refiriéndonos a la figura B.1.

1).- Transformador de Aislamiento.

La alimentación principal del circuito de alimentación - como ya hemos dicho, puede llevar determinadas interferencias -- que afectan la medición, lo cual se puede disminuir utilizando - un transformador de aislamiento con doble pantalla. La función de este transformador es eliminar la componente asimétrica de la perturbación y se obtienen mejores resultados cuando la pantalla del primario se conecta a la tierra principal, mientras que la del secundario se conecta a la red de tierra del laboratorio.

La capacidad (KVA), del transformador de aislamiento debe ser la misma del transformador elevador. Entre las principales características se debe tomar en cuenta el valor de la capacitancia entre:

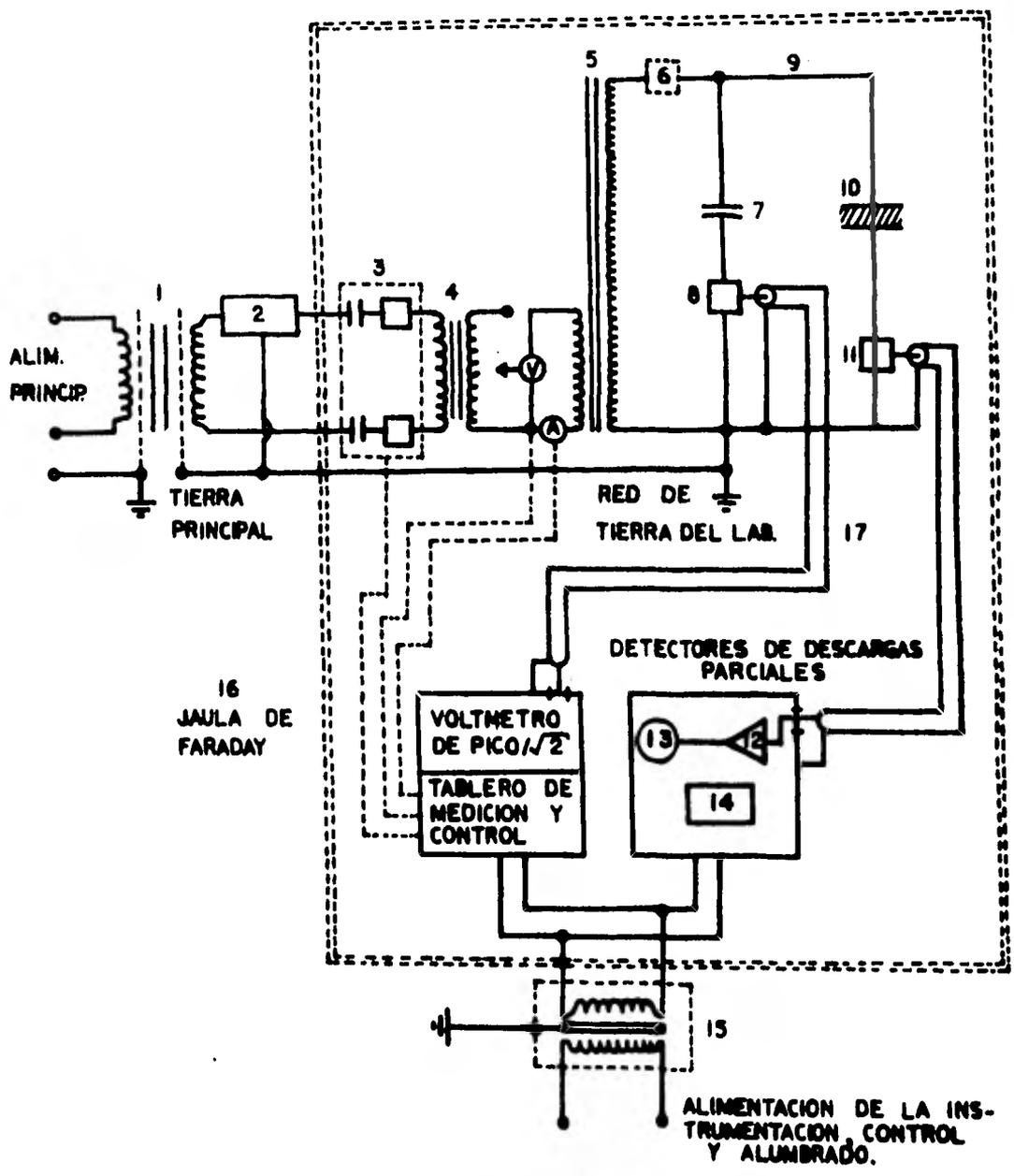


FIG. B-1.-CIRCUITO BASICO PARA LA MEDICION DE DESCARGAS PARCIALES EN UNA JAULA DE FARADAY.

- Devanado primario y pantalla primaria a tierra 2000 pf
- Pantalla primaria y pantalla secundaria a tierra 1000 pf
- Devanado secundario y pantalla secundaria a tierra 500 pf
- Debe ser libre de descargas paricales.
- Potencia y tensión nominales.

2).- Filtro de Paso Bajo.

Como complemento del transformador de aislamiento se utiliza un filtro de paso bajo para eliminar la componente asimétrica de la interferencia, el cual debe ser capaz de rechazar las frecuencias dentro del ancho de banda del detector de descargas parciales, pero debe dejar pasar la frecuencia industrial de prueba.

El filtro debe diseñarse para soportar la tensión y corriente nominal a 60 Hz, del primario del transformador elevador. Dentro de las características básicas adicionales que se deben considerar, se encuentran las siguientes:

- La atenuación en la gama de frecuencia de medición (ancho de banda de los detectores de descargas parciales) debe ser 60 db.
- La frecuencia de corte debe ser tan baja como sea posible, del orden de 300 Hz a 3 db de atenuación.
- La corriente de fuga a frecuencia industrial (60 Hz) debe ser menor del 2% de la corriente nominal.
- La caída de la tensión a la corriente y frecuencia nominal debe ser lo más baja posible.

- Debe ser libre de descargas parciales.

3).- Contacto Principal

Cuando se realiza la prueba de descargas parciales, el contacto provisto con fusibles con capacidad interruptiva adecuada, debe ser capaz de energizar e interrumpir el circuito de la alimentación principal.

Las características básicas que se deben tener en cuenta para su selección, se tienen las siguientes: corriente nominal, voltaje nominal, frecuencia y capacidad interruptiva.

4).- Regulador de tensión.

Para poder realizar una prueba de descargas parciales a diferentes tensiones desde cero, hasta la nominal, es necesario utilizar un regulador de tensión, el cual debe trabajar en forma continua (corriente nominal) en las diferentes tensiones de prueba.

El regulador debe poseer microswitches de fin de carrera para que pueda ser energizado solamente cuando el voltaje de salida sea mínimo (cero)

Es recomendable utilizar un regulador de tensión con bobina móvil en vez del regulador de pasos (escobillas), dado que éste último produce interferencias en el momento en que se varía la tensión (descargas entre contactos). Cuando el regulador presenta descargas parciales de magnitud considerable, se debe colocar un filtro entre el regulador y el transformador elevador.

La capacidad (KVA) del regulador de tensión debe ser la

misma del transformador elevador. Las características principales que se deben considerar para su selección se encuentran las siguientes: potencia nominal, tensión primaria y secundaria, corriente nominal, frecuencia, impedancia de corto circuito, capacidad dinámica (corriente) de soporte de corto circuito, distorsión de la onda senoidal de corriente y voltaje, ruido acústico y nivel de descargas parciales.

5).- Transformador elevador.

Una vez que se tienen definidas la tensión máxima de --- prueba y capacitancia máxima del objeto, se calcula la potencia (KVA) del transformador elevador con la siguiente ec.:

$$\begin{aligned} \text{KVA} &= W ((C_a + C_o) V^2 \times 10^{-3} \times 10^{-6}) \\ &= 2 f (C_a + C_o) V^2 \times 10^{-3} \times 10^{-6} \\ &= 2 \cdot 60 \times 10^{-3} (C_a + C_o) V^2 \times 10^{-6} \\ &= 0.377 (C_a + C_o) V^2 \times 10^{-6} \end{aligned}$$

donde:

C_a = Capacitancia del capacitor de acoplamiento en pf.

C_o = Capacitancia del Objeto bajo prueba en pf.

V = Voltaje máximo de prueba en kV.

Si se quiere más exacto el cálculo anterior se debe tomar en cuenta un factor adicional debido a la capacitancia parasita (C_p), la cual se debe sumar a la capacitancia del capacitor de acoplamiento y objeto de prueba.

El transformador debe estar provisto de electrodos apropiados para evitar la presencia de corona.

La utilización de un transformador de alta tensión en la medición de descargas parciales exige un diseño libre de descargas parciales, sin embargo, desde el punto de vista práctico resulta bastante difícil y anti-económico, es por esto que se debe -- ser cuidadoso al seleccionar el nivel máximo permisible de descargas parciales, dependiendo de los objetivos que se persigan con el laboratorio; a manera de ejemplo se puede sugerir que si el laboratorio está destinado a investigación se puede considerar un nivel de descargas parciales de una fracción de μC . como máximo, para el caso de un laboratorio para pruebas de rutina se pueden tolerar algunos μC .

Para selección de transformador elevador se deben considerar las características principales siguientes: potencia nominal, tensión primaria y secundaria, corriente nominal, frecuencia, impedancia de corto circuito, capacidad dinámica de soporte de corto circuito, distorsión de la onda de corriente y voltaje ruido acústico y nivel de descargas parciales.

6).- Filtro Eventual.

Cuando el transformador elevador presenta un nivel de -- descargas parciales alto en comparación con la sensibilidad requerida en la medición, se impone la necesidad de utilizar un -- filtro en el lado de AT del transformador. Si la medición se -- realiza con un detector de descargas parciales de banda ancha el empleo de dicho filtro puede resultar caro.

En cambio para la medición de la radio-interferencia por norma debe colocarse un filtro resonante paralelo LC (resulta ba -- rato), dado que la prueba se realiza a una sola frecuencia -----

(500 Hz ó 1000 Hz); el filtro tiene por un lado la finalidad de disminuir las interferencias que pudiera aportar el transformador y por otra presentar una impedancia elevada (10 a 20 K) para eliminar la posibilidad de que la corriente de radio-disturbio circule por la capacitancia parásita del transformador.

7).- Capacitor de Acoplamiento.

La prueba de descargas parciales requiere la utilización de un capacitor de acoplamiento, que tiene la función por un lado de permitir un camino fácil a la corriente originada por el fenómeno de las descargas parciales y por otro bloquear el voltaje aplicado de frecuencia industrial cuando la impedancia de medición se conecta en serie con dicho capacitor.

Para lograr una buena sensibilidad en la medición es recomendable utilizar un capacitor de acoplamiento con una capacitancia mayor que 1000 pf.

El capacitor debe estar provisto de electrodos apropiados (como se describe en el inciso 9) para evitar la presencia de corona.

El capacitor debe estar libre de descargas parciales, sin embargo, son válidas las sugerencias del inciso 5.

Entre las características principales que se deben tomar en cuenta para su selección, se tienen las siguientes:

Voltaje nominal

Capacitancia nominal

Coefficiente de ruptura

Coefficiente de temperatura

factor de disipación

frecuencia y nivel de descargas parciales.

8).- Unidad Secundaria.

El capacitor de acoplamiento se utiliza también como divisor de tensión capacitiva, requiriéndose una unidad capacitiva secundaria para que le llegue al voltmetro de pico, una tensión de entrada adecuada. Además es necesario que en el tablero de medición y control haya un interruptor que conecte la unidad secundaria para la medición de la tensión o en su defecto corto -- circuito para la medición de descargas parciales.

9).- Electrodo y Conectores de Alta Tensión.

Todos los equipos que están expuestos a la alta tensión (transformador elevador, capacitor de acoplamiento y objeto a bajo prueba) deben estar provistos de electrodos y conectores de AT (esferas y tubos cilíndricos) diseñados adecuadamente para evitar la presencia de corona. El uso de electrodos tipo doble toroide resulta ventajoso en comparación con los electrodos esféricos dado que los conectores se pueden introducir sin ningún arreglo especial. Los electrodos normalmente se fabrican de aluminio con sus superficies completamente lisas, para evitar irregularidades y como consecuencia la existencia de corona; sin embargo, cuando se tienen tensiones elevadas resultan electrodos de tamaños muy grandes con sus correspondientes dificultades de rigidez mecánica; para proporcionarles mayor consistencia mecánica se utilizan electrodos tipo pólicon, otra de sus ventajas es que se facilita las conexiones.

10).- Objeto Bajo Prueba

Existen detectores de descargas que no dan directamente la lectura en pC, siendo necesario la medición de la capacitancia del objeto bajo prueba para poder calcular el nivel de descargas parciales en pC.

El objeto bajo prueba debe estar provisto de electrodos apropiados (como se dijo en el inciso 9) para evitar la presencia de corona.

11).- Impedancia de Medición.

La impedancia de medición se puede conectar tanto en serie con el capacitor de acoplamiento como en paralelo. Normalmente se conecta en serie con el capacitor, cuando el objeto bajo prueba posee gran capacitancia (o cuando tiene gran probabilidad de falla), con la finalidad de que la corriente de carga elevada no pase a través de dicha impedancia (de todas formas debe estar protegida con explosores de gas).

12 y 13).- Detector de Descargas Parciales.

El instrumento que se utiliza para la medición de las descargas parciales es el medidor de carga máxima aparente, el cual convierte el voltaje a través de la impedancia de medición en una lectura proporcional a la carga aparente.

El detector balanceado, como vimos antes, tiene la ventaja de rechazar las interferencias externas, por lo que se justifica su utilización en donde se tiene poco blindaje.

14).- Calibrador.

Dado que en la práctica se desconocen los valores de los parámetros involucrados en la medición de las descargas parciales para encontrar un comportamiento matemático, resulta necesario hacer una calibración de la medición, inyectando al circuito un valor de carga conocida y registrando la lectura en el instrumento. La calibración debe realizarse en forma rutinaria para cada medición (dependiendo del diseño del detector) o al menos después de cada cambio de circuito de medición. Además es necesario verificar en forma completa las características del detector de descargas parciales en intervalos de tiempos que no excedan de un año.

Para la calibración del detector de descargas parciales se requiere un generador de pulso patrón, el cual emite pulsos rectangulares en serie con una capacitancia (Cc) pequeña (Cc menor de 0.1 de la capacitancia del objeto bajo prueba).

15).- Transformador de Aislamiento.

Para eliminar las interferencias de la alimentación de los instrumentos de medición, control y alumbrado, se debe utilizar un transformador de aislamiento (puede ser de una pantalla) con las características del inciso 1.

16).- Jaula de Faraday.

Como se dijo anteriormente, para lograr una mejor sensibilidad (disminución de los campos electromagnéticos externos en la medición de descargas parciales resulta conveniente utilización de la jaula de Faraday.

El diseño de la Jaula de Faraday se realiza tomando en cuenta las dimensiones de los diferentes equipos de alta tensión que normalmente van a estar dentro de la misma (para el objeto bajo prueba se considera el más crítico), así como los parámetros tensión máxima de prueba, presión y temperatura. Las dimensiones se obtienen considerando la distancia mínima permisible en cualquiera de los planos y una vez dimensionados los electrodos, así como la cabina de medición y control.

La jaula de faraday puede ser de malla metálica, lámina de cobre, aluminio o acero dependiendo de la sensibilidad requerida y del aspecto económico. Cuando se requiera alta sensibilidad en la medición de descargas parciales puede resultar ventajoso utilizar doble blindaje aislados entre sí y solamente unidos en un punto, la alimentación.

Dentro de las características principales se deben considerar, las siguientes:

- Las puertas deben garantizar buena continuidad eléctrica.
- La cabina de medición y control, debe estar protegida con malla metálica.
- El alumbrado debe ser de tipo incandescente.
- Cuando la jaula está completamente cerrada debe utilizarse aire acondicionado para la disipación del calor de la alimentación en la parte exterior de la jaula.
- Cualquier alimentación telefónica que entre a la jaula debe ser filtrada.
- Atenuación.
Campo eléctrico 110 db.

17).- Cables coaxiales de impedancia adecuada.

Si el detector de descargas parciales se localiza a cierta distancia del circuito de prueba, la interferencia captada -- por los cables de conexión de Z_m al detector, principalmente se puede minimizar utilizando cables coaxiales de una o doble pantalla de blindaje. Así también el aterrizamiento en un solo punto de pantalla externa nos dará mejores resultados. Sin embargo, - paralelamente con el aterrizamiento en un solo punto, la corriente de interferencia puede fluir en la pantalla más externa debido al efecto capacitivo entre la pantalla del cable y la tierra del sistema, como se muestra en la fig. 3.14 .

B.2 Graficador.

Para pruebas en la industria, la observación por medio de un osciloscopio se dificulta un poco, en este caso es usado también para la observación y medición de descargas parciales un recordograma o graficador de descargas. Este es un aparato que detecta la cresta de los impulsos más altos que producen las descargas. Una gráfica similar se muestra en la siguiente figura.

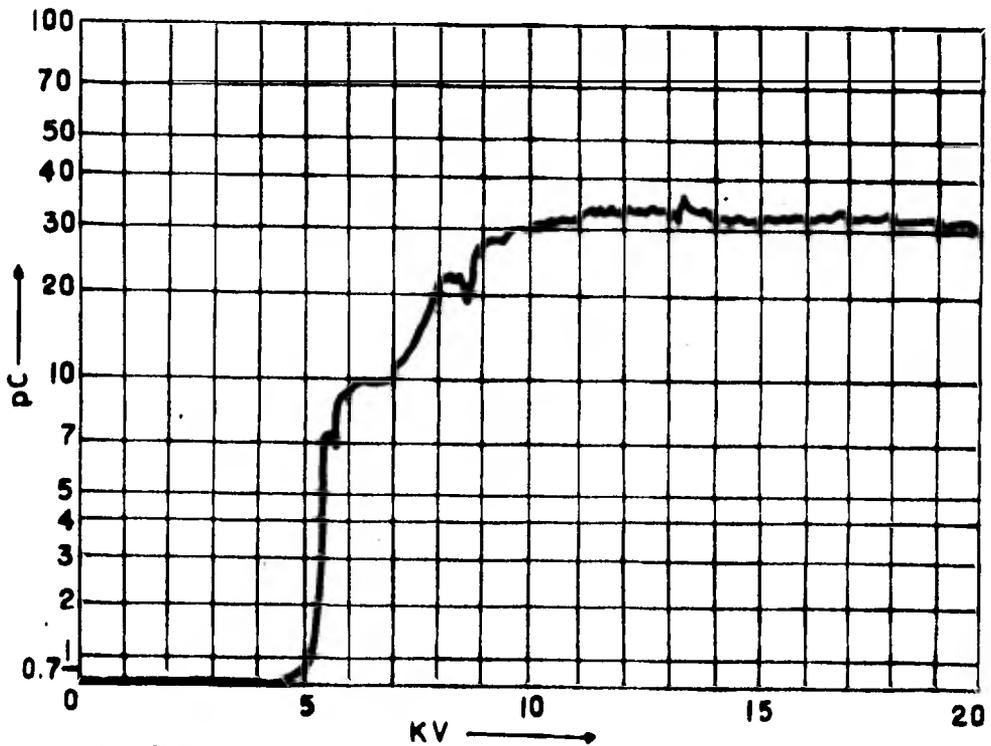


Fig. B.2 Recordograma, Magnitud de Descarga Vs. Voltaje.

A P E N D I C E " C "

ATENUACION DE IMPULSOS EN CABLES.

C.1 Atenuación en Cables.

Como se sabe, los impulsos que ocurren en la resistencia de detección (impedancia de medición), son distorcionados en el amplificador, los valores de cresta de los impulsos medidos son más pequeños que los originados en el punto de la descarga. Si una señal cuadrada es amplificada, el voltaje resultante se incrementa exponencialmente hasta el extremo del cable a partir de to. Si el coeficiente de transmisión es 1 el voltaje final es dado por:

$$V' = e' e^{-to/\alpha}$$

donde:

e = es el pico de la señal original.

α = es la constante del amplificador.

Las señales son atenuadas cuando viajan, de acuerdo a -- Rindemberg , las señales decrecen a primera aproximación exponencialmente con la distancia, el efecto de la atenuación está dada por:

$$e'_{at} = e' e^{-x/y}$$

donde:

x = es la long. del cable recorrido por la señal.

y = es la atenuación del cable.

Una idea de la atenuación está en la tabla de la figura-C.Q. donde el peso de la señal es dado como una función de la -- distancia al detector.

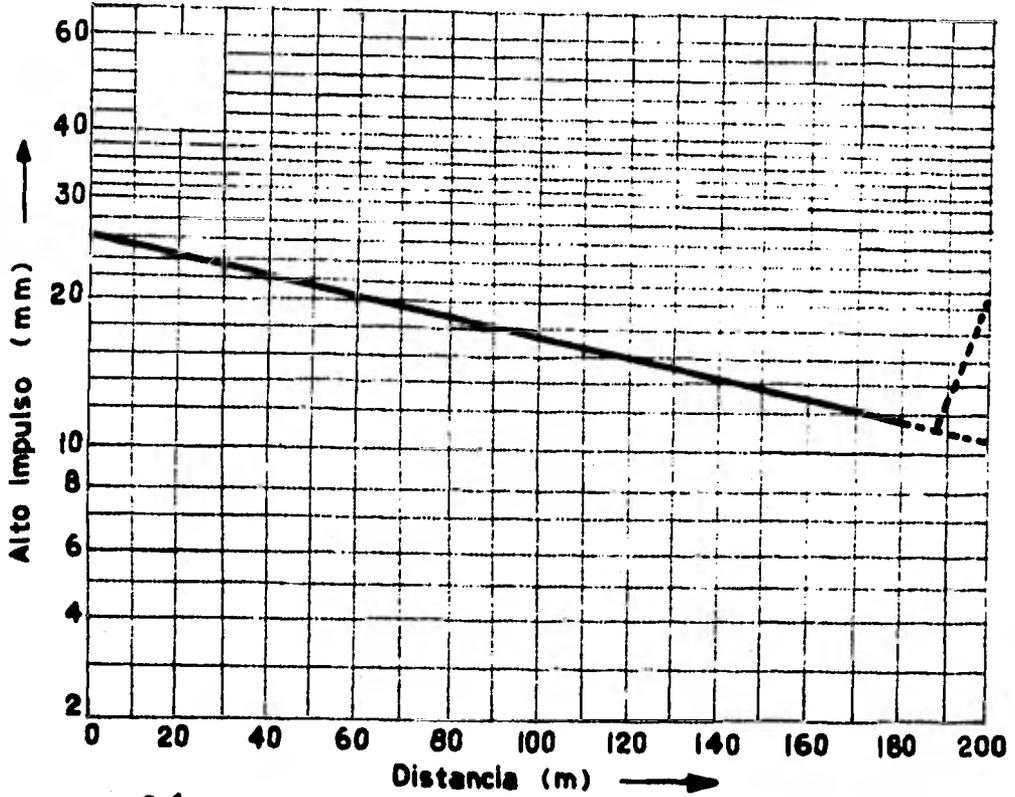


Fig. 6.1 Atenuacion de Ondas Viajeras

BIBLIOGRAFIA:

"DISCHARGE DETECTION IN HIGH VOLTAGE EQUIPMENT"
F KREUGER UNIVERSITY MICROFILMS MICHIGAN, USA.

- "Prueba de Descargas Parciales en Transformadores de Distribución" Tesis Tomas Asain Olivares. IIE México, 1981.
- "Corona Measurements" Engineerings Dielectrics Vol. 1 por Bartnikas and Mc. Mahon. ASTM- STP.
- Recomendación del CEI No. 270 Medida de las Descargas -- Parciales.
- "La importancia de las Descargas Parciales en Equipo de - Alta Tensión" Ing. A. Cardenas L. Conferencia presentada en el VI Seminario del IEEE en Mexico.
- "Nuevas Técnicas para la Verificación del Aislamiento de transformadores de Medición" Ing. Pedro Maigler Balteau, S. A. de C.V.
- "Método de Prueba para Determinar el Nivel de Extinción - de Descargas Parciales en Cables" DNJ 30, 1977.
- "NEMA Revisions of American National Standart C57.12.90 - 1958 Pub. TR.1 Part. 9 Page 1.
- "Miscelaneous Application Discharge Detection" J. H. Mason October 1972.
- "Medición de Descargas Parciales" CCONNIE México CAT.3-1 1978.

