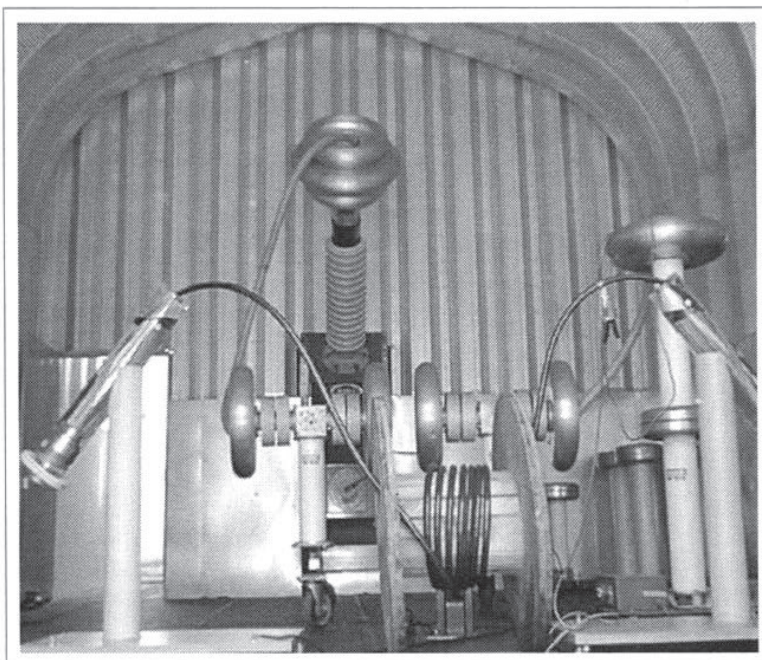


MONTAJE DE LA PRUEBA DE DESCARGAS PARCIALES COMO TÉCNICA PARA EL DIAGNÓSTICO DEL AISLAMIENTO EN CABLES ELÉCTRICOS



RESUMEN

Los cables eléctricos son de vital importancia en los sistemas de potencia, ya que por ellos se transporta la energía eléctrica. En los cables se presenta un problema que afecta su aislamiento a largo plazo: las cavidades internas de gas que quedan en el proceso de fabricación; es aquí donde se generan las descargas parciales, que causan deterioro progresivo del material aislante. En este artículo se muestra el montaje de la prueba y se presentan los resultados de la medición de descargas parciales sobre cables realizada en el Laboratorio instalado en la Universidad del Valle, se describe también la metodología desarrollada para llevar a cabo los ensayos en cables de potencia de media tensión.

PALABRAS CLAVES

Descarga parcial, aislamiento eléctrico.

ABSTRACT

This paper shows the partial discharges test assembly and the result of measurements carried out on cables in the Laboratory built at the Universidad del Valle. At the same time, a description of the methodology developed to carry

- **LUIS FELIPE AGUIRRE**
Ingeniero Electricista
Universidad del Valle

- **ALEJANDRO CORREA**
Ingeniero Electricista
Universidad del Valle.

- **JUAN CARLOS VÉLEZ M.**
Ingeniero Electricista.
Ingeniero de prueba Laboratorio
de Alta Tensión Universidad del Valle.

- **GUILLERMO APONTE MAYOR, M.Sc**
Ingeniero Electricista.
Profesor Titular Universidad del Valle.

*Grupo de Investigación en Alta Tensión
GRALTA*

14

* Recibido : Diciembre 2002
* Aceptado: Septiembre 2003

out the test on MV power cables is introduced.

KEYWORDS

Partial discharges, electrical isolation.

1. INTRODUCCION

Los aislamientos a base de polímeros de los cables de potencia deben cumplir con unas especificaciones de calidad muy altas, especialmente en lo relacionado con su comportamiento a largo plazo. Las características de estos materiales para soportar el efecto de los agentes externos que los envejecen y debilitan gradualmente, deben ser verificados mediante pruebas de laboratorio. Una de las causas de deterioro son las descargas parciales, que se presentan en aquellos puntos del material donde existen impurezas o cavidades, generalmente debidos a problemas en el proceso productivo. Las descargas parciales son pequeños arcos, que involucran una porción del material cuando es energizado, sin embargo el cable puede continuar con su trabajo durante mucho tiempo, antes de que el deterioro causado por las descargas lo lleve a la falla total.

2. CABLES DE POTENCIA

Los cables para media y alta tensión son siempre del tipo de "campo radial", pues el diseño de pantallas en el conductor y el aislamiento hace que no existan componentes tangenciales del campo eléctrico con el fin de evitar descargas superficiales [1]. Los cables de potencia, por consiguiente, constan de los elementos indicados en la figura 1.

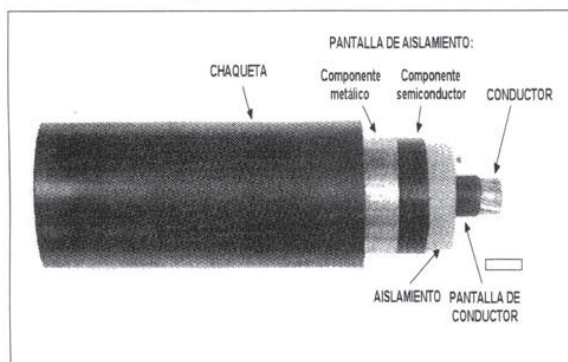


Figura 1. Construcción de un cable de potencia

2.1. Aislamiento en cables de potencia

Es el elemento encargado soportar el voltaje aplicado al conductor central y es el directamente responsable de

la vida útil del cable. En los cables de potencia, el aislamiento usado actualmente es a base de polímeros, los cuales, de acuerdo a su comportamiento frente al calor, se dividen en dos grupos:

Termoplásticos:

Son materiales que se ablandan con el calor, lo que permite moldearlos repetidas veces sin que pierdan sus propiedades plásticas. Entre estos se encuentran el PVC, el polietileno, el nylon y el polipropileno.

Termofijos o termoestables:

Son materiales que después de someterlos a la acción del calor para darles forma, no pueden ser moldeados nuevamente ni recuperados. En los cables de potencia el material más empleado es el polietileno reticulado (XLPE), que se obtiene a partir del polietileno por procedimientos químicos que consiguen eliminar la condición termoplástica y mejorar las propiedades mecánicas, químicas, ambientales y de trabajo a mayores temperaturas; otros materiales de este tipo son el caucho - propileno-etileno (EPR) y el caucho vulcanizado (EPDM).

El aislamiento en un cable es más efectivo si su espesor es mayor. Esto lo define el nivel de aislamiento. Un cable con nivel de aislamiento 100% tiene aplicación en sistemas aterrizados provistos de protección de modo que las fallas a tierra se clarifiquen en menos de un minuto; un cable con nivel de aislamiento 133% se diseña para sistemas no aterrizados.

2.2. Pruebas del aislamiento

Para verificar la calidad del aislamiento de los cables de potencia se realizan una serie de pruebas, las cuales se pueden agrupar en [1]:

- **Pruebas de rutina:** permiten el control de calidad de materiales que se emplean en la producción, para que pueda haber seguridad de que la calidad de los cables acabados esté dentro de las especificaciones estándar.
- **Pruebas de diagnóstico:** permiten determinar los requisitos del sistema de cables para poderlos cargar hasta sus límites, ayudando a prevenir salidas y suspensiones inesperadas, o se pueden usar con fines de mantenimiento.

Las pruebas más importantes que se le realizan a los cables son: pérdidas dieléctricas (tand), rigidez dieléctrica, impulso, tensión aplicada, resistencia de aislamiento y descargas parciales.

3. LAS DESCARGAS PARCIALES (DPs)

En la fabricación de un aislante, cantidades diminutas de gas de baja rigidez dieléctrica quedan aprisionadas dentro del mismo constituyendo cavidades de forma y tamaño muy variado [2]. Al energizar el material, y como resultado de la diferencia de potencial a través de la cavidad, el esfuerzo en ella puede alcanzar el valor disruptivo del gas ahí encerrado, presentándose una descarga a través de las paredes opuestas y en la dirección del campo eléctrico. Estas descargas, que no puentean completamente los electrodos, se llaman descargas parciales. Aunque su magnitud y energía disipada son pequeñas, ellas ocasionan deterioro progresivo y pueden llevar a la falla total del material a largo plazo. Se distinguen cuatro tipos de descargas parciales [3]:

Descargas internas: ocurren en oclusiones de baja rigidez dieléctrica, usualmente cavidades llenas de gas, como se muestra en la figura 2(a).

Descargas superficiales: se presentan cuando existe una componente del campo paralelo a una superficie dieléctrica, como en las terminaciones de cables. Ver figura 2(b).

Descargas corona: se presentan en los gases cerca de las puntas agudas donde la concentración del campo eléctrico es lo suficientemente alta para causar ruptura parcial del gas circundante, como se ilustra en la figura 2(c).

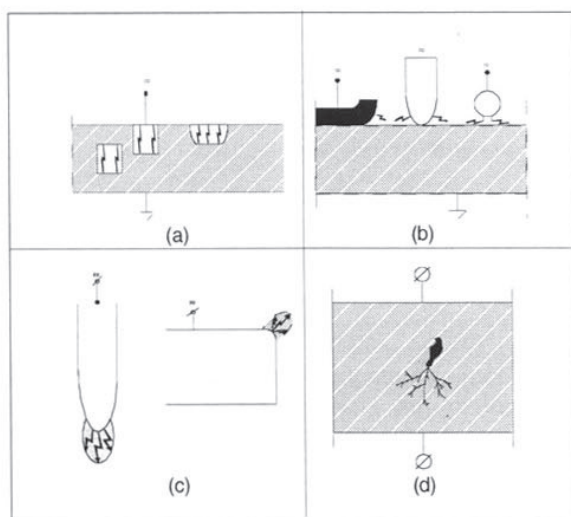


Figura 2. Clasificación de las descargas parciales

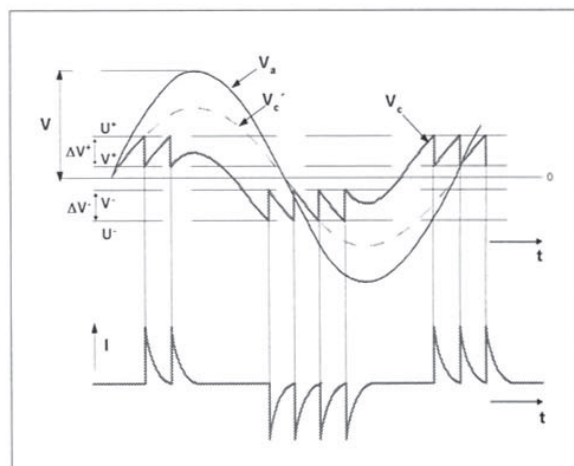


Figura 3. Secuencia de las descargas parciales

3.1. Secuencia de las descargas parciales

Según la figura 3 [4], el alto voltaje a través del dieléctrico es V_a y el voltaje a través de la cavidad, V_c ; V_c' es el voltaje en la cavidad sin no sufriera ruptura. Cuando V_c alcanza el valor de ruptura U_+ , se presenta una descarga en la cavidad. El voltaje entonces cae a V_+ donde la descarga se extingue. Después de esto, el proceso se repite varias veces hasta que V_a llega a su valor pico, y V_c cae ahora a U_- antes de que ocurra una nueva descarga, debido a que el campo eléctrico principal y el campo de las cargas superficiales en las paredes de la cavidad que quedaron después de la última descarga se contrarrestan. Las descargas en la cavidad ocasionan impulsos de corriente en los terminales de la muestra, que se concentran en las regiones donde el voltaje aplicado pasa por cero. Cuando ocurre una descarga en una cavidad de un cable, la carga de la misma se divide por la mitad y ambos pulsos viajan en direcciones opuestas sufriendo distorsión en magnitud y forma (más no en su área), y reflejándose en un terminal abierto. El circuito equivalente de un cable bajo estas condiciones se muestra en la figura 4.a, donde C_c , C_b y C_a son las capacitancias de la cavidad, del aislamiento en serie con la misma y del aislamiento sano, respectivamente. Normalmente $C_b \ll C_c \ll C_a$ y C_a es aproximadamente igual a la capacitancia del cable. Si el cable es muy largo, C_a se cambia por su impedancia característica [5], como se muestra en la figura 4(b).

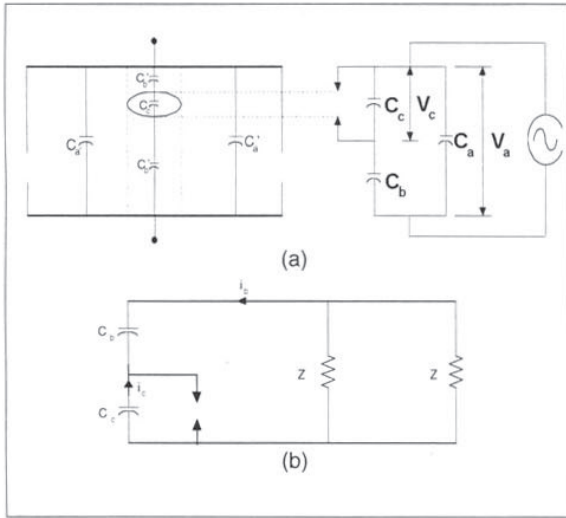


Figura 4. Circuito equivalente de un cable con DP's

4. EQUIPO MONTADO PARA LA DETECCIÓN ELÉCTRICA DE DP's

El objetivo fundamental de la evaluación de descargas es comprobar, en una prueba no destructiva, si el aislamiento tiene una expectativa de vida suficiente. Cuatro pasos se requieren para este juicio: detección, medida, localización y evaluación.

Es posible medir la carga eléctrica causada por la descarga de la cavidad debido a que generan impulsos de voltaje repetitivos de alta frecuencia que pueden ser descubiertos por un amplificador electrónico de características adecuadas. Para pruebas de equipo de media tensión con elevadas capacidades se utiliza un circuito resonante paralelo, con el fin de reducir drásticamente la potencia reactiva exigida al circuito de alimentación. El funcionamiento de este equipo está basado en la compensación de la carga capacitiva mediante un reactor cuya inductancia puede ajustarse entre límites prefijados (figura 5).

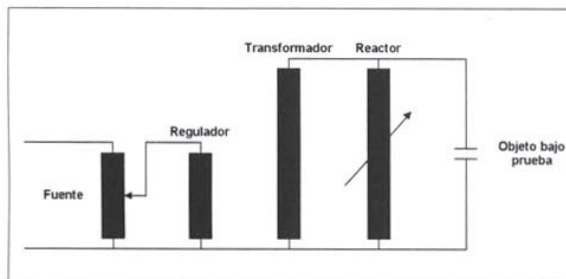


Figura 5. Circuito resonante paralelo

Al circuito utilizado para realizar la prueba de DP's en la Universidad del Valle es del tipo detección directa, utilizando equipos marca BIDDLE. Aquí el objeto bajo prueba C_x está conectado al punto de tierra del sistema. El circuito consta básicamente de los siguientes elementos (ver figura 6):

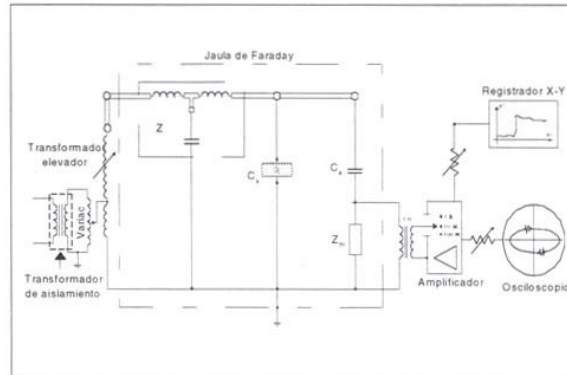


Figura 6. Circuito de detección directa

Transformador de aislamiento: filtra los disturbios de la red externa entregando una onda completamente sinusoidal.

Variac: permite una variación muy fina del voltaje aplicado al primario del transformador elevador.

Transformador elevador: suministra la tensión de prueba al circuito de medición. Incluye el reactor variable de puesta en resonancia.

Filtro de alto voltaje Z: bloquea las señales de alta frecuencia en ambos sentidos, a saber, de la fuente hacia el circuito de medición (interferencia), y del circuito de medición a la fuente (señales de las descargas parciales).

Divisor de voltaje capacitivo / condensador de acople C_k : brinda un camino de baja impedancia a las señales de descargas parciales hacia el circuito de detección. Además, permite llevar la señal de voltaje de prueba hasta los equipos de medida.

Impedancia de medición Z_m : obtiene un valor de tensión para llevarlo al elemento detector.

Objeto (cable) de Prueba C_x : representa una capacitancia que se debe tener en cuenta al llevar el sistema a resonancia. Sus terminales se conectan al circuito a través de vasos aislados en aceite con el fin de evitar descargas superficiales.

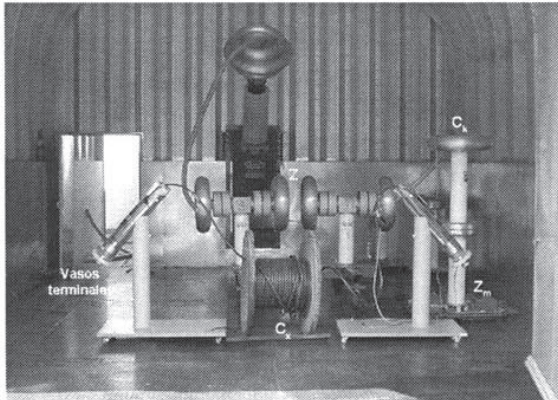


Figura 7. Elementos del circuito de medición

Impedancia de medición Z_m : obtiene un valor de tensión para llevarlo al elemento detector.

Objeto (cable) de prueba C_x : representa una capacitancia que se debe tener en cuenta al llevar el sistema a resonancia. Sus terminales se conectan al circuito a través de vasos aislados en aceite con el fin de evitar descargas superficiales.

Consola de control: incluye los controles encargados de la aplicación del voltaje de prueba y de la puesta en resonancia.

Equipo detector: transforma y amplifica los pulsos de descargas detectados y muestra los resultados en un osciloscopio y un registrador X - Y (pC vs. kV de prueba).

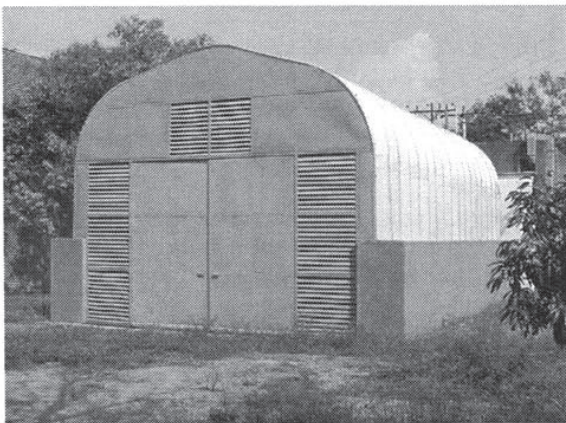


Figura 8. Jaula de Faraday

Todos los elementos correspondientes a la figura 7 se encuentran apantallados dentro de una Jaula de Faraday (figura 8) con el fin de aislar disturbios electromagnético externo.

Los equipos van aterrizados a un solo punto común con el fin de evitar mallas de tierra que generan perturbaciones. Cuando se presenta una descarga parcial en el cable de prueba, se produce un desplazamiento de carga hacia tierra proveniente del voltaje almacenado en C_k , generándose pulsos de corriente a alta frecuencia; la impedancia Z evita que éstos vayan a la fuente y hace que circulen por la bucla formada por C_k , Z_m y C_x . Z_m lleva estos pulsos hacia el detector en donde se pueden visualizar [1].

Los pulsos de corriente de alta frecuencia de las descargas se magnifican y superponen sobre la señal de prueba sinusoidal de 60 Hz para visualizarlas en un osciloscopio. Dependiendo del ángulo y la forma de los pulsos sobre la onda de prueba, se puede obtener una interpretación del tipo de las descargas. Entonces, combinando la escala cíclica de tiempo con una medida proporcional a las descargas, se forma una elipse cuya parte superior representa la parte negativa de la onda seno, y la inferior, la parte positiva, como se muestra en la figura 9.

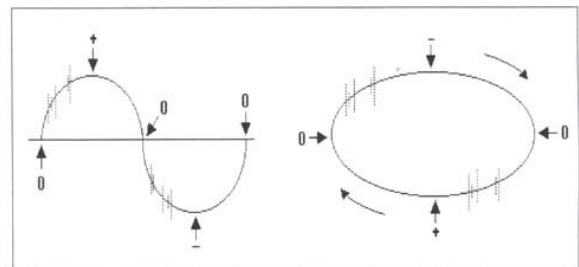


Figura 9. Equivalencia de la onda de voltaje de prueba y la elipse del osciloscopio

La calibración del circuito de detección es simple. Consiste en inyectar una carga conocida a la muestra, que será simulada por un escalón. Así, la magnitud de la descarga puede determinarse superponiendo este pulso a la señal del osciloscopio y comparándolo con aquellos detectados de descarga. Lo anterior puede realizarse interna o externamente aplicando el pulso de calibración en Z_m o a través del cable, respectivamente.

5. EVALUACIÓN DE LAS DP's

Existen varias características que pueden ayudar a determinar qué tipo de descarga se presenta, entre éstas se tienen:

Oscilograma: Los patrones de descarga como se observan en un osciloscopio dan una indicación valiosa del tipo y origen de las descargas. Por ejemplo, en la figura 10.(a) se tiene un patrón que corresponde a

descargas internas en el material aislante. En él, los pulsos en ambos semiciclos son simétricos en ubicación y magnitud; en la figura 10.(b) se tiene un patrón de descargas internas en la frontera con un electrodo, donde se observan que los pulsos en los dos semiciclos difieren en magnitud y número.

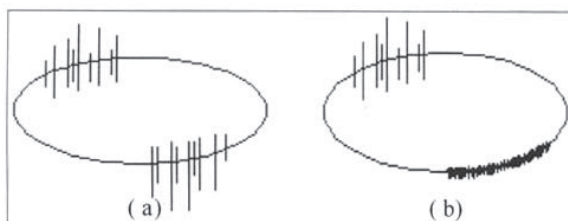


Figura 10. Ejemplos de oscilogramas

Diagrama X - Y: la magnitud de la descarga parcial se registra como función del voltaje de prueba. Es útil para evaluar los voltajes de iniciación y extinción de las descargas. En la figura 11 se muestra un ejemplo de un diagrama X - Y correspondiente a descargas internas en el aislamiento.

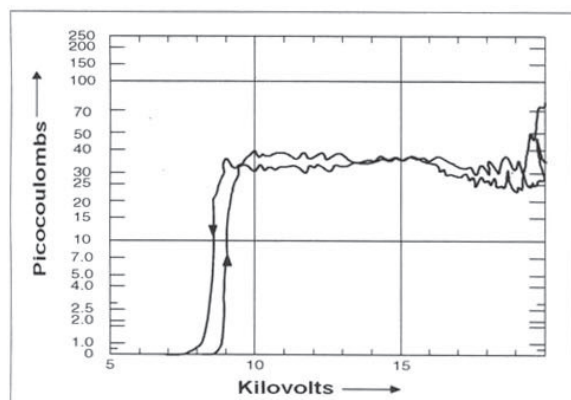


Figura 11. Ejemplo de un diagrama X - Y

En muchos casos, dos descargas de diferente tipo pueden presentar iguales oscilogramas, pero se diferencian en su diagrama X - Y.

Efecto del tiempo: En algunos casos la magnitud de la descarga y el voltaje de extinción cambian con el tiempo de aplicación del voltaje.

Ambiente: el carácter o la ubicación de la descarga se pueden determinar haciendo cambios en torno a la muestra.

6. NORMATIVIDAD

La tabla 1, se refiere a las normas internacionales más importantes para la realización de la prueba de descargas parciales en cables de potencia [1]. El acondicionamiento se refiere a la tensión que inicialmente se aplica al cable, siendo V_0 la tensión nominal fase a tierra del mismo, por un tiempo T . Esto se hace con el fin de evitar descargas parciales que persistan por debajo de los voltajes tanto de iniciación como de extinción. En las casillas correspondientes a la ICEA T-24 - 380 e IEEE Std 48, Vext se refiere a valores esperados del voltaje de extinción, que están definidos en las mismas normas. Posteriormente se disminuye gradualmente el valor de esta tensión hasta llegar a una cierta magnitud donde se realiza la medida de la actividad de descarga, mostrado como "Prueba PD a". Qa representa el máximo valor de descargas parciales tolerables por la norma en pC. De la tabla se puede observar que la norma más exigente es la AEIC CS 5-94, aunque la misma, pero en su versión de 1987 también lo es, seguida por mediciones a diferentes niveles de voltaje para examinar el efecto del tiempo. La IEC 840 requiere, para cables de 30 a 150 kV una prueba opcional a $1.5V_0$ después de un acondicionamiento de $2.5V_0$ por 30 minutos. A pesar de los efectos que ejerce el efecto del tiempo, el nivel de descargas máximo permitido es 10 pC, el mismo que con la prueba "obligatoria". La ICEA T-24-380, al ser una norma realizada por la Asociación de Ingenieros de Cables Aislados de Potencia, es la más usada de las presentadas en la tabla 1.

Tabla 1. Normas para la prueba de descargas parciales en cables de potencia

Standard	Acondicionamiento		Prueba PD a	Q_a
	V	T		
IEC-840 30 - 150 kV	$1.75 V_0$	10 s	$1.5 V_0$	10
	$2.5 V_0$	30 min	$1.5 V_0$	10
IEC 885 pt. 2	$1.75 V_0$	1 min	$1.5 V_0$	20
AEIC CS5-94	7.9 kV/mm	10 - 180 s	7.9 kV/mm	5
AEIC CS5-87 5-35 kV 5-35 kV 5-35 kV	$4V_0$	≤ 3 min	$4 V_0$	10
			$3 V_0$	5
			$2.5 V_0$	5
			$1.5 V_0$	5
ICEA T 24 380	$1.2V_{extin}$	≤ 3 min	V_{extin} esperado	5
IEEE Std 48	$1.2V_{extinción}$	3 - 60 s	$V_{extinción}$	3

Los comités encargados de realizar y actualizar las normas se han puesto gradualmente de acuerdo durante los últimos años, sin embargo, todavía hay diferencias marcadas en los requisitos de acondicionamiento y en los niveles de voltaje en los cuales se debe efectuar la medida. Es importante tener

presente que las características de descargas parciales pueden verse afectadas por cambios en el procedimiento de prueba, por lo tanto, en el reporte siempre debe especificarse el procedimiento usado.

7. PROCEDIMIENTO SINTETIZADO PARA REALIZAR LA PRUEBA DE DESCARGAS PARCIALES EN CABLES DE MEDIA TENSIÓN

El cable debe estar limpio y seco enrollado en un carrete, pues el polvo y la humedad pueden generar ruido que distorsiona las mediciones. Los terminales del cable deben instalarse en los vasos aislados en aceite. Para esto, deben adecuarse como se muestra en la figura 12. Parte de la capa semiconductora externa debe quedar dentro del aceite con el fin de evitar ruido. Uno de los vasos se conecta al terminal de alta tensión, y la pantalla metálica del cable de prueba de ese mismo lado, se aterriza.

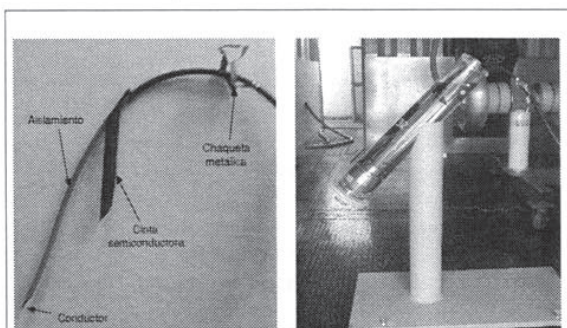


Figura 12. Adecuación de los terminales del cable

El recinto correspondiente a la jaula de Faraday debe estar totalmente limpio y cerrado. Todos los bordes y bornes de los equipos deben estar igualmente limpios y secos, y verificar que no hayan objetos o partes puntudas. El polvo, las virutas metálicas y la humedad en equipo, piso y paredes pueden generar ruido. Se realiza la calibración del equipo para una sensibilidad de 5 pC. Se energiza el cable. Hay que tener en cuenta la capacitancia del mismo para seleccionar el tap del transformador principal, y si es necesario, para llevar el sistema a resonancia. Se realizan los procedimientos de aplicación del voltaje de acuerdo a la(s) norma(s) seleccionada(s) (ver tabla 1).

Se registran los resultados mostrados en el osciloscopio y el graficador X - Y.

8. PRUEBAS

El funcionamiento del equipo se probó mediante ensayos efectuados sobre tres cables de potencia de 15000 V:

Cable 1: Cable fuera de servicio, de 50m de longitud, aislamiento XLPE con nivel 100%.

Cable 2: Cable fuera de servicio, de 38m de longitud, aislamiento XLPE con nivel 100%.

Cable 3: Cable nuevo, de 15m de longitud, aislamiento XLPE con nivel 133%.

A los tres cables se les efectuaron pruebas según lo especificado en las normas ICEA T-24-380 e IEC 840. Los resultados demostraron que sólo el cable 1 estaba defectuoso, al presentar descargas máximas de 85 pC para la norma ICEA y 60 pC para la IEC. Los oscilogramas y diagramas X-Y se muestran en las figuras 13 y 14.

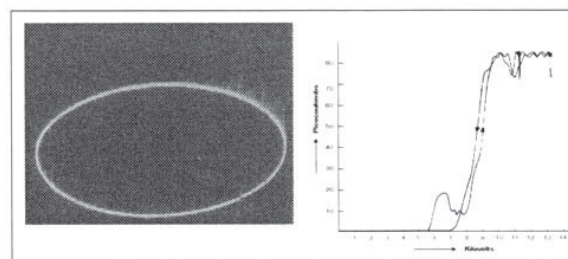


Figura 13. Aplicación de la norma ICEA T-24-380 al cable 1

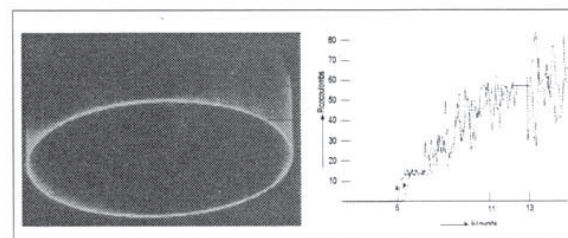


Figura 14. Aplicación de la norma IEC 840 al cable 1

Los diagramas X-Y muestran que los voltajes de iniciación y extinción según la ICEA fueron 8kV y 7.3kV, respectivamente. A pesar de que el voltaje de iniciación es mayor al de operación (7621VF-T), este valor es muy fácil de alcanzar por transitorios de voltaje, iniciando descargas que no se extinguirán hasta que el nivel de tensión esté por debajo de 7.3kV. Según la IEC, los niveles de iniciación y extinción fueron 6 y 6.5kV, respectivamente. Estas discrepancias en cuanto a los resultados de ambas normas se deben a las diferencias en la aplicación del voltaje, al tiempo de acondicionamiento y a las cargas residuales en las cavidades después de efectuar pruebas anteriores, en otras palabras, las características de las descargas dependen del procedimiento que se tome para medirlas, y del número de aplicaciones seguidas del voltaje de prueba. De acuerdo al patrón de descargas y a la forma del gráfico X-Y, éstas ocurren en cavidades internas limitadas sólo por material aislante. Como los cables 2 y 3 no presentaron descargas con la aplicación de las

normas anteriores, el voltaje de prueba se elevó hasta 40KV. Sólo el cable 2 presentó descargas a este nivel. Los resultados de la figura 15 muestran descargas superficiales en las puntas, mayores a 1000 pC, que se inician a los 40kV y se extinguen a los 38 kV.

Se le realizaron incisiones al cable 3, y se aplicó la prueba ICEA. Los resultados se muestran en la figura 16. Las descargas máximas fueron de 18 pC; se iniciaron a los 6 kV y se extinguieron a los 6.8 kV. En estas condiciones el cable no cumple con los requisitos de la ICEA para descargas parciales. De acuerdo al patrón de descargas y a la forma del gráfico X-Y, éstas ocurren en cavidades internas limitadas sólo por material aislante.

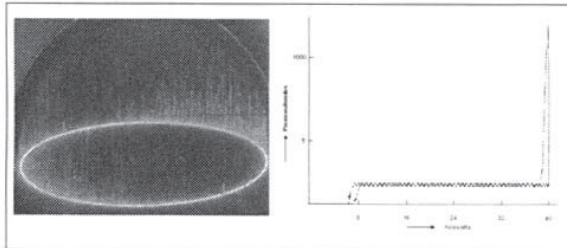


Figura 15. Ensayo a 40 kV del cable 2

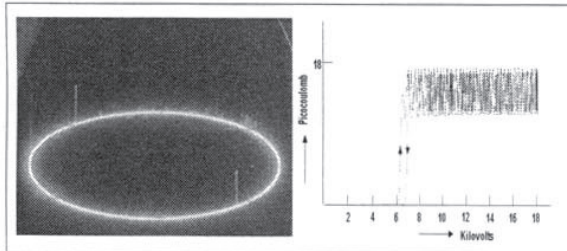


Figura 16. Aplicación de la norma ICEA T-24-380 al cable 3 con incisión

9. CONCLUSIONES

La prueba de descargas parciales se implementó satisfactoriamente en el Laboratorio de Alta Tensión, teniendo en cuenta que por las características de la etapa de detección, éste se empleará inicialmente para mediciones en cables.

El carácter de las descargas parciales varía con la forma de aplicación del voltaje de prueba; los resultados pueden verse afectados por el cambio de procedimiento de ensayo, por lo que siempre debe ser especificado en el reporte. Asimismo, dependen de la exposición previa a condiciones térmicas, eléctricas o de envejecimiento.

Las descargas parciales son fenómenos fuertemente afectados por una gran diversidad de factores, lo que implica una reproducibilidad relativamente baja. La medición de DP's, debe realizarse en conjunto con otras pruebas para un correcto diagnóstico del cable a ensayar.

10. AGRADECIMIENTOS

Los autores manifiestan sus agradecimientos a COLCIENCIAS y CENTELSA por la financiación del proyecto, así mismo a los doctores Antonio Mejía y Rogelio Cortegoso, por la asesoría prestada durante la ejecución del trabajo.

11. BIBLIOGRAFÍA

- [1] AGUIRRE, F. CORREA, A. "La Prueba de Descargas Parciales como Técnica de Diagnóstico del Aislamiento para los Cables Eléctricos de Potencia". Tesis de grado Universidad del Valle. Facultad de Ingeniería. 2002.
- [2] RUGELES JONES, Julio. Cálculo y Medición de Descargas Parciales. UNIVERSIDAD DEL VALLE, 1997.
- [3] BARTNIKAS, R. y Otros. Engineering Dielectrics,; Corona Measurement and Interpretation. Philadelphia, 1979. ASTM.
- [4] KREUGER, F. Partial Discharge Detection in HV Equipment. BUTTERWORTHS, 1989.
- [5] LUTHER, R. Evaluation of Field Aged Crosslinked Polyethylene Cables by Partial Discharge Location. IEEE Transactions on Power Delivery, Vol 9, No 2, april 1994.
- [6] Informe "Diagnóstico de la Calidad de los Aislamientos Eléctricos Empleando el Método de las Descargas Parciales" Proyecto Univalle-Centelsa-Colciencias., Julio 2002.

AUTORES



LUIS FELIPE AGUIRRE, Ingeniero Electricista de la Universidad del Valle 2002. Tesista en Descargas Parciales del Grupo de Investigación en Alta Tensión.



ALEJANDRO CORREA, Ingeniero Electricista de la Universidad del Valle 2002. Tesista en descargas parciales del Grupo de Investigación en Alta Tensión.



JUAN CARLOS VÉLEZ, Ingeniero Electricista de la Universidad del Valle 1999. Estudiante del Programa de Maestría en Sistemas de Generación de Energía Eléctrica. Ingeniero de Pruebas del Laboratorio de Alta Tensión. juanvel@libertad.univalle.edu.co



GUILLERMO APONTE, Ingeniero Electricista de la Universidad del Valle 1978. M.Sc del Instituto de Ciencia y Tecnología Universidad de Manchester UMIST Inglaterra 1985. Especialista en Transmisión y Distribución de Energía Eléctrica de la Universidad del Valle 2000. Director del Laboratorio de Alta Tensión.