

ENSAYOS DE DESCARGAS PARCIALES IN-SITU, EN CABLES DE DISTRIBUCION Y POTENCIA

INEFICIENCIA DE LA TECNICA DE ONDAS OSCILANTES AMORTIGUADAS (OSW *Oscillating Wave Testing* - DAC: *Damped Alternating Voltage*)



Inducor Ingeniería S. A. - Buenos Aires Argentina - www.inducor.com.ar

RESUMEN

Durante las pruebas off-line de diagnóstico / degradación de cables instalados, y en especial, para la identificación puntual de los sitios que producen descargas parciales (mapa de descargas), se requiere siempre energizar a los mismos con tensión de ensayo, generalmente con niveles superiores a los nominales.

Los equipos de pruebas del tipo resonantes (50/60Hz), concuerdan con las condiciones de servicio; pero al mismo tiempo se consideran pesados y costosos. Existen otras soluciones alternativas como los equipos de excitación a muy baja frecuencia (VLF), cuya utilización se ha masificado durante la última década, y los llamados de **ONDAS OSCILANTES AMORTIGUADAS**, mas conocidos como **DAC** (*Damped Alternating Voltage*) ú **OSW** (*Oscillating Wave Testing*).

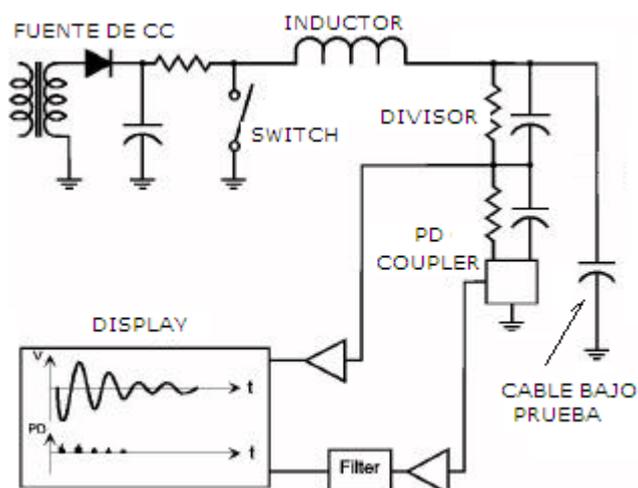
En este escrito, se tratarán de especificar los alcances y las limitaciones de estos sistemas DAC, para la captura e interpretación de las descargas parciales en cables instalados.

PALABRAS CLAVE

DAC - Damped Alternating Voltage – DP Descargas Parciales - Trazado (mapeo) de DP – VLF -Tiempo de ignición (PDIV) – Tiempo de extinción (PDEV).

EL METODO OSW ó DAC:

El sistema OSW/DAC, produce **Ondas Oscilantes Amortiguadas**, cargando primero el cable bajo prueba con CC, y luego descargando al mismo sobre un inductor.



Esquema eléctrico del sistema DAC de Ondas Oscilantes Amortiguadas

Las frecuencias de estas oscilaciones, estarán en el orden de las decenas de Hertz, hasta los kilo-Hertz, dependiendo del circuito, y en especial de la carga; o sea de la capacidad del cable. (típico 300Hz). Además, de acuerdo a la calidad del inductor, y a la tangente delta del cable, las ondas oscilantes decaerán en tiempos más o menos rápido.

Es decir que el DAC ú OSW, generará una señal amortiguada, que en los primeros instantes poseerá xxx kV, pero que inmediatamente se irá atenuando hasta su extinción, con un tiempo de decaimiento (*decay time*) de unos 0,3 a 1 seg., en el mejor de los casos.

Es fácil interpretar que el método DAC/OSW, no constituye y no sustituye a un ensayo de tensión aplicada o de tensión resistida (*withstand tests*), precisamente por que no puede cumplir con la cantidad de ciclos o con el tiempo mínimo de exposición, para que la tensión de prueba someta a un "esfuerzo" a la aislación, y luego poder declararla como apta o no apta (pasa o no pasa); por lo tanto, su aplicación solo es compatible adicionando al mismo, un sistema paralelo de detección y ubicación (mapa) de descargas parciales.

En síntesis, la función del método DAC/OSW, es únicamente la de energizar al cable, para así poder medir sus DP mediante el uso de otro sistema aparte (medidor de DP).



Es decir que si alguien desea hacer una prueba de aislación, en forma previa a una medición de descargas parciales sobre un cable, deberá llevar dos fuentes; una para tensión aplicada, y otra para la medición en sí; mientras que una misma y única fuente del tipo VLF, cumpliría con ambos requisitos (**Ninguna normativa avala al método OSW/DAC como método de tensión aplicada o resistida**).

Un equipo que opere bajo el modo OSW/ DAC, no reemplaza y no sustituye, al alcance y prestación de una fuente del tipo VLF (*Very Low Frequency*).

EL METODO OSW / DAC EN LA MEDICION DE DESCARGAS PARCIALES

Dado que como se aclaró anteriormente, el método DAC solo se aplica para alimentar temporalmente al cable bajo prueba durante una medición de DP, es necesario entonces analizar su influencia (viabilidad /limitaciones), en el proceso de captura e interpretación de dichas señales.

RESISTENCIA A LAS DESCARGAS (PD- resistant).

Para una correcta interpretación de las descargas parciales, es importante conocer y tener en cuenta el tipo de material con que el cable está constituido, dado que cada material, posee lo que se conoce como una determinada "resistencia" a la dependencia de las descargas para producirle daños. (PD- resistant).

El orden de esta "resistencia" a las descargas es el siguiente:

XLPE << EPR << LAMINADO (PILC).

Los cables "DP resistentes", pueden soportar cantidades substanciales de DP por largos periodos de tiempo, sin fallar, **pero lamentablemente el XLPE, es el que menos "oposición" presenta ante los efectos de las DP.**

Cuando un cable conteniendo tramos o sectores degradados, es retirado del servicio para realizar un ensayo "off-line" de DP, la actividad de estas DP se extingue cuando la tensión de servicio es removida.

En un ensayo off-line, para re-iniciar la actividad de las DP a una tensión de prueba similar a la tensión de servicio, es necesario elevar primero la tensión aplicada a aproximadamente 1,5 veces la de servicio, por al menos unos minutos, dado que la tensión de ignición de las descargas (PDIV), es generalmente mayor a la tensión requerida para mantener las descargas una vez iniciadas las mismas (tensión de extinción) (PDEV).

Generalmente, un ensayo (stress) de unos minutos, es requerido para asegurar que un electrón inicie el proceso de descargas (ionización-avalancha). En la práctica, la tensión de ignición de las descargas (PDIV), generalmente es de 1,3 a 1,5 veces la tensión de extinción de las mismas (PDEV), por lo tanto, en un ensayo off-line, realizado con una fuente externa, la tensión de prueba deberá ser elevada por encima de la tensión nominal del cable para lograr ser iniciada (encendida) la actividad de descargas, que originalmente existían en servicio.

A diferencia del caso anterior (off-line), si el cable fuera ensayado en condición on-line, sin remover la tensión de servicio, esta actividad de las descargas ya estaría presentes al momento del ensayo, y únicamente las descargas del tipo intermitentes, o sea la que poseen una tensión de extinción próximas a la tensión de servicio, serían las mas difíciles de capturar, aún con los instrumentos adecuados.

Por lo tanto, los slogans publicitarios de *someter al cable solo a las mismas condiciones de servicio para obtener mediciones de DP*, son un tanto infundadas e irrelevantes, **dado que todo ensayo requiere precisamente de un "esfuerzo" de la aislación para poder emitir conclusiones.**

Según IEEE 400.3-2006, un ensayo en modo DAC, requerirá usualmente de repetidas aplicaciones de la tensión de prueba, ya que el corto tiempo en que el cable es expuesto al pico de tensión (durante cada ciclo de descarga), es tomado como una ventaja y como una desventaja a la vez.

Por un lado, la corta cantidad de ciclos reduce en cierta manera la posibilidad de daños a la muestra bajo ensayo, (pero sin olvidar que se trata de impulsos), por el otro, las fallas incipientes con alto tiempo reencendido no llegarían a ser activadas durante la corta aplicación de los mismos.

Nada mas desacertado, el slogan de los fabricantes del método OSW/DAC dice:

El cable ensayado sólo permanece unos milisegundos bajo tensión alterna, por lo que no se produce daño alguno sobre el cable.

Aclarando además que: *Solo unas pocas decenas de ciclos de tensión energizan al cable, para que las DP sean iniciadas en forma similar a 50 (60) Hz.*

Pero este discurso, ignora los principios físicos de los denominados: **tiempos de ionización y de resistencia a las DP.**



TIEMPO DE IONIZACION DE UN DEFECTO:

Si bien se trata de un método alternativo, generalmente el método OSW/DAC no podría ser capaz de "exponer" cierto tipos de defectos, ya que precisamente la física básica de las descargas parciales, se sostiene sobre lo que se llama el "tiempo de ionización" de un defecto.

Toda la teoría de descargas parciales, se basa en la ionización de las cavidades u oclusiones dentro de la aislación (defectos), y dicha ionización mas allá de los equipos, está fundamentada en dos variables bien definidas:

- 1) El nivel de tensión aplicada.
- 2) El tiempo de exposición o permanencia de dicha tensión sobre la muestra.

El tiempo de ionización de un defecto, es el tiempo mínimo que una determinada anomalía, requiere de la aplicación constante de la tensión de ensayo, para luego empezar a producir DP (avalancha).

Como ejemplo práctico diríamos, que si aplicamos 10 kV a un cable, midiendo al mismo tiempo DP durante los primeros 3 segundos, podríamos no tener ninguna medición de la actividad de descargas, dando a la muestra como superada; pero si luego de 5 minutos de aplicada la tensión de prueba (en forma constante), la muestra comenzara a producir DP en determinados puntos; significaría que se ha alcanzado el tiempo de ionización requerido por el defecto para exponerse como tal, arrojando un resultado totalmente opuesto al inicial.



Una prueba irrefutable de esto, es que todas las normas para medición de descargas parciales, en transformadores, cables, máquinas, hablan siempre de: primero un tiempo o "intervalo de stress" (sobretensión a la que se somete a la muestra durante xxx minutos), y segundo, de un "intervalo de medición", a una tensión de prueba constante de xxx minutos.

Como podríamos lograr estos tiempos, si los equipos de ondas oscilantes, generan precisamente señales oscilatorias amortiguadas de tan solo unas decenas de ciclos, es decir que nunca la muestra bajo ensayo podría llegar a estar energizada durante xxx minutos en forma constante, de manera de permitir el proceso de ionización que todo tipo de "defecto" posee.

Esto comprueba que el método OSW/DAC, será eficiente para la captura de determinados tipos de defectos, pero que en definitiva, no logrará detectar mucho otros que posean tiempos de encendido superiores al stress que genere al cables durante sus ciclos.

Cuando las distintas normas hablan de un determinado intervalo o tiempo de medición de DP, en realidad están expresando que la muestra deberá estar sometida a determinados **ciclos de tensión**

(stress - ionización), para luego medir su actividad de DP; y aclaran que en caso de no lograr completarse el tiempo de ensayo (interrupción de la tensión de prueba), deberá repetirse íntegramente el intervalo, ya que este no podrá ser aditivo (o sea que la sumatoria de pequeños cantidades de ciclos no pueden formar el total requerido).

Entre ellas IEC C57.113 para transformadores; IEC 60840-2004 // IEC 60502-2 // IEC 60076-3-2000 para cables, etc.

Aun los ensayos de TENSION RESISTIDA o de tensión aplicada, (withstand tests), especifican no solo el nivel de tensión de prueba a aplicar, si no también, los tiempos de exposición mínimos de la tensión de prueba.



En contraposición al método OSW/DAC, si utilizáramos ahora una fuente del tipo VLF, en donde a 0.1Hz el radio de crecimiento de las ramificaciones de descargas (nivel de evolución de un defecto), es 5 veces mayor que el correspondiente a 50Hz, para una correcta aplicación (normalizada) de un ensayo de Tensión Resistida y luego uno de DP, el tiempo mínimo requerido de aplicación de la tensión de prueba, es una condición que debe ser cumplida rigurosamente.

Esto último es tomado como una ventaja para determinados fines de análisis de estados de cables, ya que esta condición, fuerza a la ruptura (exposición) de las fallas incipientes, o de los puntos con máxima concentración de descargas parciales dentro del cable, surgiendo la variable TIEMPO como un factor clave para la eficacia de este ensayo, y para lograr exponer los defectos pre-existentes.

LA FRECUENCIA DE REPETICION:

Los métodos profesionales y clásicos, basados en normativas, miden descargas parciales durante un monitoreo de confirmación de determinados minutos u horas, preseleccionados por el usuario, y mientras se aplica la tensión de prueba en forma constante. De esta manera, no solo permiten ese tiempo de ionización, sino que a la vez determinan la persistencia o frecuencia de repetición de la emisión de DP de un determinado defecto.

Esto asegura que no solo se obtendrá una medición en unidades de pico o nano-Coulombs en determinado lugar del recorrido del cable, sino que también, se tendrá otro factor clave que es la cantidad de veces que un determinado defecto produjo descargas, durante esos xxxxx minutos de monitoreo contante.

Lo expresado, es sumamente importante, por que toda medición profesional de DP no puede llegar a emitir conclusiones del estado de gravedad de un defecto, sin que la magnitud (pico /nano Coulombs) **esté referenciada con la frecuencia de repetición de la misma.**

Una cosa es la medición puntual de descargas (magnitud), y otra su frecuencia de repetición, lo cual generalmente es mas importante que la anterior.

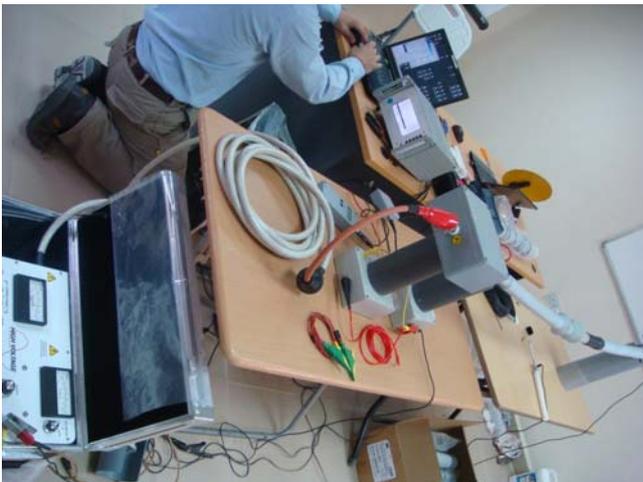
Una descarga de 100 pC, que se repite una vez cada 30 seg., es menos peligrosa que una de 50 pC, pero que se repite 10 veces por segundos.

Aquí el factor en juego, es el efecto calor (dentro de la aislación) generado por las descargas, y éste se encuadra en función directa con la frecuencia de repetición.

Los diversos programas estadísticos, cargados con estas variables medidas, son los que se encargan de emitir en forma automatizada este dictamen de peligrosidad en cada sitio del cable.

TODOS LOS TIPOS DE DEFECTOS, ESTAN RELACIONADOS CON LA MAGNITUD Y LA FRECUENCIA DE REPETICION (IEEE 400.3-2006)

Lograr una medición de la frecuencia de repetición de un determinado defecto, mediante el método OSW / DAC, es algo irrealizable, dado los escasos ciclos de aplicación.



CONCEPTOS DE LA FISICA DE LAS DESCARGAS

La existencia de descargas no indicaría que las mismas puedan causar una falla, sin antes tener la

información adicional, concerniente al origen (fuente) de la misma y a su frecuencia de repetición.

Algunos defectos no producen DP. En general, los defectos solo podrían llegar a producir DP, si el esfuerzo (stress) o la intensidad de campo eléctrico local, excede al stress de ignición de las mismas.

Una aproximación sobre la magnitud de un defecto y su estado actual de progresión, puede ser determinada por el nivel de las descargas, y por su frecuencia de repetición.



Para que las descargas parciales se presenten, es necesaria una imperfección (anomalía), que tenga un campo de inicio más bajo al que se halla sometido en servicio, como por ejemplo una inclusión de gas; o como alternativa, que se aumente fuertemente el campo eléctrico en la aislación, tal vez por la penetración de una partícula metálica filosa.

Ambas clases de imperfecciones, pueden ocurrir durante la producción (manufactura), manteniéndose desapercibidas durante las pruebas iniciales, o pueden desarrollarse durante el servicio. En las descargas parciales, una avalancha de electrones requiere siempre de un electrón libre inicial, que sea acelerado en el campo eléctrico, lo suficientemente fuerte como para desencadenar una avalancha de electrones.

Con la baja energía disponible en la superficie de una cavidad esférica, ocluida en polietileno fresco, ningún electrón libre es habilitado a iniciar las DP, a pesar de que el campo eléctrico interno de esa burbuja de gas, sea mayor que el campo inicial. Por lo tanto, no se producen DP hasta que un electrón libre sea provisto de cargas. De este modo, el lapso de tiempo que ocurre hasta que se presenta la descarga en la cavidad de un material polimérico, inicialmente fresco, **puede alcanzar varias decenas de minutos dependiendo del tamaño de la cavidad (oclusión interna).**

CONCLUSION

Más allá de los slogans publicitarios de los fabricantes de sistemas para ensayos, la física de las descargas parciales es quien domina las aplicaciones y la efectividad de los mismos.

No sería lógico obtener en solo una decena de ciclos de medición (tiempo ínfimo), y a tensión variable -o sea con el OSW - el mismo análisis que se lograría durante la aplicación de decenas de minutos de monitoreo permanente y a una tensión constante, donde el factor stress y la Frecuencia de Repetición, juegan el papel más importante en la **clasificación de la gravedad de un defecto**.

El tiempo de encendido de determinados tipos de defectos, el nivel de tensión de stress para lograr su exposición y cuantificación, y el tipo de aislación del cable bajo prueba, marcan las reglas del sistema de ensayo a seleccionar, y sus limitaciones.

Para una correcta interpretación de las descargas parciales, es importante conocer y tener en cuenta el tipo de material con el que está constituido el cable, dado que cada material posee **lo que se conoce como una determinada "resistencia" a la dependencia de las descargas para producirle daños. (PD- resistant)**.



La elección del método OSW *Oscillating Wave Testing* o DAC, como medio para energizar con tensión de ensayo a un cable, que será sometido al proceso de medición de descargas parciales, requiere del conocimiento por parte del operador de los siguientes conceptos que se resumen:

1- El método OSW, solo se refiere al proceso de energización de un cable mediante la generación de señales alternas amortiguadas, es decir que no constituye por sí solo un sistema de medición de descargas, sino una forma de generar una determinada y más económica tensión de prueba.

2- El método OSW, no sustituye, no reemplaza, y no constituye un método para la realización de ensayos normalizados de tensión aplicada, para lo cual se deberá disponer de otro tipo de fuente alternativa.

3- El método OSW, adicionado a un sistema de medición de descargas parciales, dado el corto tiempo de exposición de los ciclos de tensión de prueba sobre la muestra bajo ensayo, solo podrá lograr captar, aquellos tipos de defectos que posean bajo tiempo de encendido (ionización), o sea los groseros, pero pasando inadvertido ante los otros.

4- El método OSW, tanto como el resto de las fuentes de ensayos para descargas parciales, requiere de la aplicación de una sobre tensión, para lograr exponer (tensión de ignición) a aquellas fallas incipientes que se encienden a tensiones mayores que las de servicio; por lo tanto, su virtud como método, no podrá estar fundamentado en una menor degradación del cable bajo prueba, ni en la menor cantidad de ciclos al que este lo exponga.

Técnicamente, para conformar un capacitor cilíndrico ideal, un cable polimérico de triple extrusión consiste en 3 capas, en donde la aislación principal de XLPE es terminada en ambos lados con una fina capa de material polimérico semiconductor.

Esta estructura de capas, causa una dispersión de las señales de altas frecuencias (DP), esto significa que el tiempo de desplazamiento de las señales de DP, no es uniforme sobre la frecuencia.

En consecuencia, el frente del impulso de DP, originariamente excesivo en su lugar de origen, es suavizado más adelante por este efecto, y por la mencionada atenuación, **de manera que la precisión en la ubicación de su lugar de origen, es cada vez más limitada a medida que el defecto se ubica en forma más lejana al extremo del cable en el que se halla ubicado el sistema de medición.**

Comparada con los cables de polietileno, esta atenuación de los impulsos de alta frecuencia es mucho más fuerte para los cables del tipo EPR.

Sin embargo, la atenuación más grande se encuentra en los cables de papel impregnado.

Aquí, en cables PILC, mayores a un par de cientos de metros, la reflexión en el extremo final, se hace cada vez más oculta en el piso del ruido (línea de ruido base).

La forma o frecuencia de la fuente de alta tensión elegida, no influye en la obtención de la ubicación de la actividad de las descargas parciales en un cable, siempre y cuando las imperfecciones produzcan DP, a la tensión de prueba que se utilice y durante el tiempo de exposición de la misma.

Así, en principio, cualquier fuente de alta tensión podría ser utilizada para ubicar DP; pero es la propia naturaleza de estas DP, la que las convierten en efectivas o no para cada caso.

NO EQUIVOCHEMOS LOS CONCEPTOS:

1) ENSAYOS DE TENSION RESISTIDA (WITHSTAND TESTS); (IEEE 400-2001 Pto5.4.1). Son todos aquellos ensayos que pueden ser realizados tanto en CC -VLF y/o CA 50Hz, y cuyos resultados deberán ser del tipo **ruptura o no ruptura, excluyendo consideraciones de carácter predictivo, y categorizados como "Ensayos de tipo Destructivo",** significando esto, que por la ejecución del propio ensayo, la muestra puede ser perforada, obligando a su reparación y re-prueba (repetición del ensayo) antes de la puesta en servicio. **NO ES UN ENSAYO DE DIAGNOSTICO.**

2) NO EXISTE EL ENSAYO DE TENSION RESISTIDA "MAS LEVE" O A "MENOR TENSION" LAS PROPIAS NORMAS DICTAN LOS NIVELES EN CADA CASO.

3) El método OSW solo generará 50Hz cuando el cable posea una longitud de aproximadamente **72 km** (14,44 uf) según la ecuación $f = 1/2 \times \pi \sqrt{LC}$, (con $L=0,7\text{Hy}$)
Existe este cable en la práctica?. No.

Para un cable promedio de 2 km la frecuencia del OSW será entonces de **300 Hz**, y después de ello el sistema se sobrecalienta y causa pérdidas reactivas.

Para un típico cable promedio de 1 km (0,2uf), la frecuencia del OSW será entonces de 425 Hz. (casi 10 veces la de servicio). Con la sola variación de 1km de cable, la variación de frecuencia es de nada menos que 125Hz.

4) ENSAYOS DE TIPO O CATEGORIA DESTRUCTIVA: Aquellos que por su aplicación, incluyen la probabilidad de que la muestra pueda ser perforada, obligando a su reparación y re-prueba (repetición del ensayo), antes de la puesta en servicio.

5) VLF: Tensión de prueba de frecuencia alternada, desde 0,01Hz a 1Hz, con formas de ondas del tipo SINUSOIDAL - COSENO RECTANGULAR - BIPOLAR RECTANGULAR.

Para ensayos de descargas parciales y tangente delta (ensayos de diagnóstico), la forma de onda del equipo de ensayo, **debe ser estrictamente sinusoidal**

Dicho de otro modo, ensayando un cable en VLF, un potencial o incipiente defecto existente, es forzado a la ruptura más rápidamente, y es lo que se busca en todo ensayo de TENSION RESISTIDA.

El principio de aplicación del VLF, dice que si un cable soporta la tensión de prueba de hasta $3U_0$, durante 15 a 60 minutos, puede ser puesto en servicio, (energización confiable), de lo contrario, se quemará durante la realización del ensayo, como de TODAS FORMAS OCURRIRA ESTANDO EN SERVICIO.

Las ventajas y beneficios del **VLF** tienen más de cincuenta años en el ámbito de los ensayos para máquinas rotantes, con un prestigio ganado por sus amplias ventajas en el campo de la investigación predictiva de defectos.

LAS NORMAS MANDAN:

Tener en cuenta que las siguientes normas NO incluyen, ni mencionan al método OSW /DAC, como permissible o aplicable para su cumplimiento:

IEC 60840 Power Cables with extruded insulation about 30kv – Test method.
Motivo: IEC 60840 solicita tensiones de prueba de 20 a 300Hz, pero mantenidas estables durante una hora (Pto 15.2 AC VOLTAGE TEST OF THE INSULATION)

IEC 60270 Partial Discharge Measurements.
Motivo: Normativa que NO tiene relación con el método OSW como fuente de generación de AT – No lo menciona ni es de su incumbencia.

IEC 885-3 Test methods for partial Discharges measurements on lengths of extruded cables
Motivo: Normativa que NO tiene relación con el método OSW como fuente de generación de AT – No lo menciona ni es de su incumbencia.

IEC 60060-3 High Voltage Test Techniques Part 3 Definition and requirements for on-site testing.
Motivo: Especifica que la duración del ensayo deberá ser de 60 segundos. (Pto 6.6 Withstand Test Procedure)
La tensión de ensayo deberá ser estable y prácticamente no afectada por la carga (Pto6.3.3. Generation of the test Voltage)
Recordar que aquí, con el OSW, la tensión es precisamente oscilante y variable en todo momento.

El lector sabrá sacar sus conclusiones.

