

PRUEBA Y DIAGNOSTICO DE CABLES DE ENERGIA MEDIANTE EL USO DE TECNOLOGIA VLF (VERY LOW FREQUENCY)

(Parte IV)

PREGUNTAS FRECUENTES – ALCANCES Y LIMITACIONES –

INTRODUCCION:

A principios del año 1998, comenzó a existir un acuerdo mundial, casi unánime, referido a que las pruebas en C.C., no solo dañaban el dieléctrico de un cable tipo termo rígido estable, sino que también resultaba ser un método ineficaz para determinar la calidad de la aislación del mismo.

Prueba suficiente es el hecho de que las normas europeas solicitan las pruebas VLF de cables desde hace años, y en USA, los organismos de estudio y normativas: IEEE, EPRI, CEA, entre otros, contradicen definitivamente las pruebas C.C. desde hace ya bastante tiempo, por lo que IEEE ha establecido una actual y vigente norma para ensayos en VLF, denominada IEEE-400.

Por definición de la IEEE, un equipo de ensayo bajo el sistema VLF, será todo aquel que pueda generar una señal de corriente alternada, de una frecuencia del orden de los 0,01Hz a 1Hz.



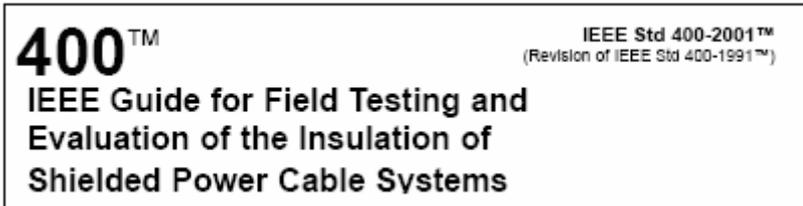
Este documento intenta contestar muchas de las preguntas acerca de las pruebas de aislación, con tecnología VLF, y sobre sus aplicaciones:

www.inducor.com.ar
VLF sales and applications

NORMATIVAS IEEE VIGENTES PARA APLICACION Y USO DEL VLF EN CABLES DE ENERGIA

IEEE Std400-2001 Enero del 2002 (Revisión de la IEEE Std400-1991)
 GUIA PARA ENSAYOS EN CAMPO Y EVALUACION DE LA AISLACION
 DE CABLES DE POTENCIA APANTALLADOS

Describe varios métodos de ensayos en campo sobre cables apantallados de 5 a 500 kv, incluyendo equipos y formas de señales en VLF.



IEEE Std400.2-2004 Marzo del 2005
 GUIA PARA ENSAYOS EN CAMPO DE CABLES DE POTENCIA APANTALLADOS USANDO VLF

Describe los ensayos de tensión resistida (withstand), y de diagnostico (diagnostics), y como deben ser realizadas las mediciones en campo sobre cables de potencia apantallados, extruidos o laminados.



(VER CAPITULO ARGENTINO)

¿Qué significa VLF?

VLF son las siglas usadas habitualmente para referirse a Very Low Frequency. Se considera generalmente que VLF es 0,1 Hz o menos. El equipo es simplemente un probador de aislación en corriente alterna, que trabaja a muy baja frecuencia. En 0,1 Hz, la duración de un ciclo completo es de 10 segundos, en vez de los 20 milisegundos correspondientes a 50 Hz. Los equipos VLF han sido usados durante décadas para pruebas de maquinas rotantes (IEEE 433-1974).



¿Dónde se usa VLF?

La prueba VLF se usa en cualquier aplicación que requiera pruebas C.A., sobre cargas de alta capacitancia. La mayor aplicación es para probar el dieléctrico de cables, seguido de pruebas de grandes máquinas rotantes, y ocasionalmente para pruebas de aisladores, interruptores y tableros eléctricos. El Hipot VLF es también una herramienta muy eficaz para el acondicionamiento de fallas en cables (reducción de la tensión de ignición o de cebado de una falla).

¿Qué tensiones hay disponibles en equipos VLF?

Hoy en día los probadores de aislación con tecnología VLF, se comercializan en tensiones máximas que van desde los 20 a los 200 KV, pero un factor a tener en cuenta al momento de seleccionar un equipo VLF, es su capacidad de carga máxima de prueba, existiendo modelos desde los 2 u F, hasta los 55 u F.

¿Porqué 0,1 Hz?

Tomemos el siguiente ejemplo:

Un cable de 3,048 m de 15 Kv, tiene aproximadamente 1 F de Capacidad.

La Reactancia Capacitiva a 60 Hz es: $X_C =$ Reactancia Capacitiva

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C}$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{1}{2\pi(60\text{Hz})(10^{-6} F)} = 2,650\Omega$$

Para aplicar una tensión de prueba de 22 kV, recomendado por IEEE, se requeriría de una fuente de alimentación con capacidad de 8.3 A ó 183 kVA. Obviamente no práctico para uso en campo.

$$I = \frac{V}{X_C} = \frac{22,000V}{2,650\Omega} = 8.3A$$

Pero, en 0.1 Hz, la Reactancia Capacitiva se reduciría a:

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{1}{2\pi(0.1\text{Hz})(10^{-6} F)} = 1.6M\Omega$$

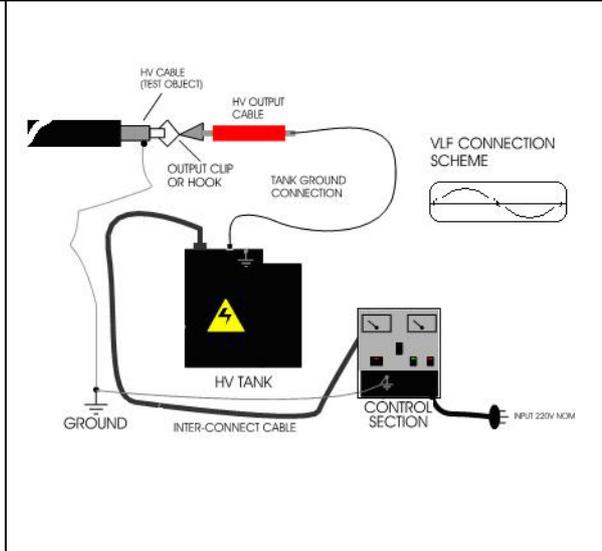
Entonces, ahora para los mismos 22 kV. se requerirían sólo de:

$$I = \frac{V}{X_C} = \frac{22,000V}{1.6 \times 10^6 \Omega} = 14mA$$

De esta forma, para los mismos 22 kV aplicados, se requerirá 14 mA únicamente (0.302 kVA), para energizar la muestra, o sea una potencia 605 veces menor que a 60 Hz. Además esto demuestra que con la misma potencia, a 0.01 Hz, se puede llegar a probar un cable 6000 veces mas largo que uno en 60 Hz.

¿Cómo se realiza un ensayo en VLF ?

Al igual que en una prueba de aislación normal (tensión resistida), los ensayos conducidos con equipos VLF, requieren que la muestra (cable monopolar en este caso), se encuentre aislado en su conductor central, y con su pantalla a tierra. Se conectará la salida de alta tensión del VLF a dicho conductor; y la tierra del equipo, rígidamente unida a la tierra del sistema. Luego se aplicará la tensión de prueba hasta el máximo requerido de ensayo, y durante un tiempo prefijado: ambas variables (tensión máxima/tiempo), se encuentran establecidas en las normas IEEE.400.2-2004. Como en todo ensayo de tensión resistida, los resultados serán expresados en términos simples de pasa/no pasa (ruptura o no ruptura).



¿Existen unidades VLF con formas de onda diferentes a la senoidal?

Es de esperarse que una unidad VLF genere una onda senoidal casi perfecta a su salida. Sin embargo existen diseños alemanes de unidades VLF, que generan una forma de ondas trapezoidales o cuadradas, con transiciones cosenoidales entre polos. A menudo intentan difundir que es superior a la onda senoidal, pero en realidad no existen muchas opciones para este argumento, y en definitiva, solo es cierto que no fabrican VLF con onda senoidal. ¿Cómo se puede argumentar contra una señal senoidal?.

Pero el detalle a tener en cuenta (suma importancia), es que para que una unidad VLF pueda ser utilizada además como fuente de AT en ensayos de diagnostico de cables (ensayos complementarios), entre ellos: tangente delta y descargas parciales, deben producir si o si una señal senoidal a su salida, por lo tanto, mas allá de los slogans publicitarios, aquí se torna imprescindible al momento de decidir la compra de una unidad VLF, el observar atentamente en sus especificaciones, que tipo de onda genera.

¿Cuál sería la tensión de prueba y la duración del ensayo?

Los organismos IEEE/EPRI/CEA y otros entes mundiales de ingeniería y normalización, recomiendan niveles de prueba para dieléctrico de cables, de 2 a 3 veces la tensión U_0 , durante 15 minutos. Para un cable de 15 kV, que normalmente tiene una tensión U_0 de 7,2 kV a 8 kV, la prueba se realiza a 22 kV. Un sistema de 25 kV se prueba a 40 kV y un sistema de 69 kV se prueba a 120 kV.

TENSION	INSTALACION	ACEPTACION	MANTENIMIENTO
rms voltage in kV	rms or (peak voltage)	rms or (peak voltage)	rms or (peak voltage)
5	9 (13)	10 (14)	7 (10)
8	11 (16)	13 (18)	10 (14)
15	18 (25)	20 (28)	16 (22)
25	27 (38)	31 (44)	23 (33)
35	39 (55)	44 (62)	33 (47)
IEEE Std 400.2-2004	30 minutos @ 0,1 Hz	30 minutos @ 0,1 Hz	15 minutos @ 0,1 Hz

(VER CAPITULO ARGENTINO)

¿Un ensayo en VLF - es una prueba destructiva?

Depende de su significado. La prueba con Hipot VLF no deteriora al cable ensayado, como lo hace la prueba en C.C., donde el daño real al aislamiento se produce durante la prueba, causando así posibilidades de futuras fallas.

Por el contrario, el ensayo en VLF, no causa deterioro al aislamiento por su simple aplicación, ya que se trata de corriente alterna, la misma corriente para la cual ha sido diseñado el cable durante su servicio. De hecho, todo cable es probado en fabrica (ensayo de tipo), con C.A., a más altos niveles que en una prueba de campo.

Cuando la gente dice que las pruebas VLF son destructivas, tienen razón en el caso de que el cable o sus empalmes estén defectuosos, ya que se tratará de forzarlos a la ruptura durante la prueba, que es precisamente lo que debe ocurrir y lo que se está buscando.

Por otro lado y para hablar correctamente, todas la pruebas de tensión resistida, (withstand tests), tanto en C.C. / C.A. como en VLF, son consideradas pruebas del tipo destructivas por la IEEE no por que su simple aplicación intente destruir a la muestra bajo ensayo, si no por que las conclusiones de estos ensayos estarán siempre referidas a términos de "pasa no pasa" (soporta o no soporta), existiendo por lo tanto la posibilidad, que la muestra por su condición de defectuosa, falle durante la prueba.

¿Es posible que un cable falle durante una prueba en VLF?

Precisamente esta es la intención de la prueba VLF. No es una prueba de diagnóstico (*condition assessment testing*), es una prueba de tensión aplicada en C.A.. No hay que tomar lecturas de corriente de fuga. (las corrientes de fuga C.C. dicen poco acerca de la calidad de un cable).

Un cable o soporta (resiste) la tensión de ensayo, o falla durante el mismo. Si un cable tiene defectos, y por lo tanto no resiste la aplicación de 2 ó 3 veces su tensión nominal, significa que no durará en servicio. La idea base es, que si el cable tiene que fallar, que lo haga entonces durante la prueba, y no cuando esté en servicio.



¿Qué normativas respaldan los ensayos en VLF ?

Casi todos los entes de ingeniería del mundo. EPRI, IEEE, CEA (Asociación Eléctrica Canadiense), y otras organizaciones de ingeniería de otros países, casi todos los fabricantes de cables del mundo han aceptado la efectividad del uso del VLF. Las normas de pruebas VLF alemanas (normas DIN-VDE 0276-620 y 0276-1001) existían desde hace 8 años, IEEE ha escrito la norma de pruebas de cables VLF (IEEE 400-2001), y la norma IEEE 433 para pruebas VLF de máquinas rotativas, ya tiene una vigencia de nada menos que 20 años.

IEEE Std400-2001 Enero del 2002 (Revisión de la IEEE Std400-1991)
GUIA PARA ENSAYOS EN CAMPO Y EVALUACION DE LA AISLACION
DE CABLES DE POTENCIA APANTALLADOS

La norma IEEE Std 400-2001 (reemplazante de la IEEE Std400-1991), se define como una guía que intenta describir los procedimientos de ensayos de cables *instalados*, contemplando los distintos *tipos o clases* de tensiones de prueba que pueden ser utilizados, entre ellos el Very Low Frequency.



¿Por qué la tecnología VLF no ha sido difundida más ampliamente?

La tecnología VLF no es nueva. Sin embargo, la razón de no haber sido utilizada más ampliamente mas allá de su primitiva aplicación en ensayos de máquinas rotantes, es porque solo en los últimos 5-10 años se ha logrado determinar que las pruebas en C.C. dañan el dieléctrico del cable, y son un medio ineficaz para determinar su calidad. Las pruebas de VLF en campo, no fueron factibles hasta que H. V. Inc. desarrollará las primeras líneas de equipos, verdaderamente portátiles, y con salida senoidal, produciendo unidades a gran escala. Hoy en día, funcionan en todo el mundo, centenares de unidades VLF.

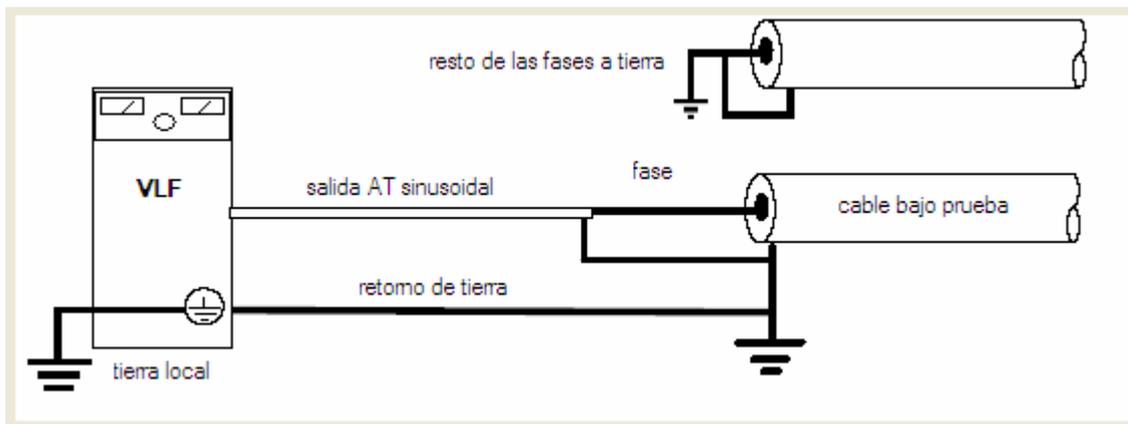
¿A parte del VLF, qué alternativas existen para pruebas de cables instalados?

En realidad no hay muchas opciones.

El ensayo con C.C. no puede ser aplicado durante mucho tiempo. Daña el aislamiento del cable y dice poco sobre su calidad. Si embargo siguiendo con esta tradición, muchas empresas han optado por reducir la tensión de prueba clásica de 4-5 veces la tensión normal U_0 , a bastante menos, como método de reducir "los riesgos" pero perdiendo en definitiva la finalidad del ensayo en sí.

Otras han reducido la tensión de prueba para cables de 15 kV aplicando 15 kV C.C., a pesar que 15 kV es un poco menos que la tensión de pico en C.A. del mismo cable en servicio.

Esta prueba es inútil, excepto quizás para exponer cortocircuito, o errores groseros existentes.



VLF: CAPITULO ARGENTINO: El uso del VLF en Argentina:

A la par de los avances mundiales en la materia, la ASOCIACION ELECTROTECNICA ARGENTINA, en su actualizada REGLAMENTACION SOBRE LINEAS SUBTERRANEAS EXTERIORES DE ENERGIA Y TELECOMUNICACIONES (AEA 95101 año 2007), en su punto 13.1.1 (*tipo de tensiones utilizadas en los ensayos*), acepta e incorpora la utilización de los ensayos bajo sistemas VLF, de acuerdo a lo estipulado en las Normas IEE 400.2-2004 y VDE 0276 parte 1000.

Esta agiornada reglamentación, que reemplazó hace un par de años a su anterior *Reglamentación para líneas Eléctricas Exteriores en General* de Agosto de 1971, nos posiciona en mejor medida, en la realidad de las nuevas técnicas de ensayos.

Se recuerda que una reglamentación de este tipo, no se crea para digamos "*probar resultados*" a partir de su implementación, si no por el contrario, la misma se crea por los resultados obtenidos en años de estudios anteriores a su puesta en vigencia, y de acuerdo a los avances mundiales en la materia según IEC – IEEE- VDE etc; es no decir, no estamos probando a ver que pasa; estamos actualizando.

Continuando con la actual REGLAMENTACION SOBRE LINEAS SUBTERRANEAS EXTERIORES DE

ENERGIA Y TELECOMUNICACIONES (AEA 95101 año 2007), en el punto 13.1.2 “*Ensayos Dieléctricos del Aislamiento*”, del citado reglamento, incorpora acertadamente en su Tabla 13.1 (*Ensayos de Tensión Resistida*), la tensión de prueba en corriente alterna VLF de 0,01 Hz a 1 Hz , fijando el valor de ensayo de 3 Uo para cables instalado, de media tensión, de hasta 33 Kv.

Se debe recordar que esta reglamentación AEA 95101, está orientada a ensayos de *Cables Nuevos Instalados*, contemplando una reducción del valor máximo de la tensión de prueba para cables ya en servicio, o sea aquellos con una antigüedad mayor a seis meses posteriores a su instalación.

De esta manera, la AEA, al igual que sus pares internacionales, habilita la utilización del VLF bajo los siguientes valores de tensión de prueba / tiempo: (recordar que son los factores que definen a un ensayo en VLF).

CABLES NUEVOS INSTALADOS DE MEDIA TENSION DE HASTA 33 KV (Uo = 19 Kv) Tipo: XLPE/PILC/PVC

Valor de tensión de prueba VLF: 3Uo (57 Kv)
Tiempo de ensayo: 30 minutos.
Resultado del ensayo: pasa/no pasa.

CABLES EN SERVICIO DE MEDIA TENSION DE HASTA 33 KV (Uo = 19 Kv) Tipo: XLPE/PILC/PVC

Valor de tensión de prueba VLF: 2Uo (38 Kv)
Tiempo de ensayo: 15 minutos.
Resultado del ensayo: pasa/no pasa.

- Se define como “cable en servicio”, a todo aquel que posea mas de 6 meses posteriores a su instalación.
- Se define como “cable nuevo, instalado”, a todo aquel que se halle en la condición de inicialmente tendido, y con sus accesorios incluidos (empalmes /terminales).

CONCLUSIONES:

Las empresas se enfrentan hoy con una opción eficiente, y con normativas habilitantes, para probar el estado de sus redes subterráneas de energía.

Muchas optan por no cambiar sus tradiciones métodos de ensayos, y sus cables siguen fallando en servicio, teniendo que realizar reparaciones de emergencia, clientes insatisfechos, y pérdida de ingresos: lo que en definitiva no es una buena práctica.

Muchas fallas en cables subterráneos son debidas a una ineficiente ejecución de sus empalmes, y precisamente para estos casos, el VLF ha demostrado ser un gran comprobador de cables, y un método fácil y seguro para mantener la confianza en los sistemas de distribución de energía.



FUENTE: **INDUCOR INGENIERIA S.A.**
Cable Testing Division
Diagnostico de Cables Subterráneos
Localización / Detección de Fallas en Redes de Energía
www.inducor.com.ar