

ENSAYOS DE INSTALACION DE CABLES SUBTERRANEOS DE 132KV

LA NECESIDAD DE ACTUALIZAR Y UNIFICAR CRITERIOS



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

RESUMEN

Más allá de la existencia de comités de estudios de Cables Aislados del CIGRE Argentina, cuyos objetivos dicen versar entre otros, en las “*técnicas de instalación y puesta en servicio de cables aislados de alta tensión, aseguramiento de la calidad, ensayos y tecnología de ensayos*”, en la actualidad, ya se torna como imprescindible, que las empresas de generación, transmisión y distribución que operan el sistema eléctrico de nuestro país, procuren unificar los criterios de ensayos de puesta en servicio de sus redes de 132kV, y actualicen sus especificaciones técnicas, ya que de lo contrario, no tendría ningún sentido decir que algo ha sido tecnológicamente ensayado, o mucho menos, hablar de aseguramiento de la calidad....

Sobre ensayos de aceptación de cables subterráneos de 132kV, dos normativas internacionales tienen vigencia: IEC60840-2011 e IEEE400.2-2013, toda variante aleatoria de las mismas solo nos posiciona, o bien como desinformados, o bien como improvisados. Es sabido que en todo el mundo se producen fallas de cables, el problema es que aquí no sabemos el porqué, ya que no hemos hecho escuela de los ensayos, ni hemos sido nutridos de sus estadísticas.

A LOS EJEMPLOS NOS REMITIMOS:

Empresas como Transba / Transener, siguen basando sus normas de ensayos en la extinta IEC60840-1999, solicitando pruebas en corrientes continua, a un nivel de 228kVCC, aun cuando la propia IEC60840 ha sido pasible de una primera actualización en el año 2004, y una última revisión. (la versión actual), en el año 2011.

Sin embargo, ya en aquella versión superada del año 2004, figuraba como desterrado el uso de la corriente continua como método de ensayo de la aislación principal de un cable, principalmente por su incumbencia en la degradación de las aislaciones termoplásticas.

Importante y actuales obras, como:

PROYECTOS TERNAS SUBTERRANEAS 132 kV, TANDIL
PROYECTOS TERNAS SUBTERRANEAS 132 kV SAN NICOLAS

PROYECTO: E.T. CHIVILCOY 132/33/13,2 KV (AMPL.)

En todas ellas se siguen solicitando pruebas a 228kV de corriente continua, citando erróneamente en sus pliegos, a la IEC60840-1999, (obsoleta hace más de 18 años).

Por otro lado, y a contramano de cualquier otra normativa, empresas como EDENOR, durante los últimos 5 años, en todo tendido nuevo o reparado, solicitan un ensayo de aislación de 5 kVCC (solo 5 kV CC), para luego proceder a energizar el tendido en forma preventiva por 24Hs, sin carga (el denominado *Soak Test*), y si nada ocurre durante ese lapso, entonces todo estaría para ellos en condiciones para funcionar a plena carga.

Por qué Edenor haría esto?: Primero sería de entender que se trataría de un tema económico, para evitar gastos en ensayos, lo cual sería lo mismo que ahorrar dinero al evitar pagar por un seguro, y lógicamente hasta el evento, creeríamos estar ahorrando; el segundo motivo sería el desconocimiento de lo que realmente significa un ensayo de tensión, su importancia, su alcance, y su razón de existir.

Si ellos fueran los referentes de nuestro mercado, algo estaría mal entre nosotros, ya que las distribuidoras y cooperativas eléctricas menores, se nutren de las experiencias de sus mayores.

LA NORMAS VIGENTES PARA ENSAYOS DE CABLES DE 132 KV:

Sobre ensayos de aceptación de cables subterráneos de 132kV, dos normativas internacionales tienen vigencia: IEC60840-2011 e IEEE400.2-2013.

IEC60840-2011: *Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages above 30 kV (Um = 36 kV) up to 150 kV (Um = 170 kV) – Test methods and requirements.*

IEEE400.2-2013 - *IEEE Guide for Field Testing of Shielded Power Cable Systems Using Very Low Frequency (VLF) (less than 1 Hz).*

ENSAYOS DE CABLES DE 132KV SEGUN IEC60840-2011:

Los ensayos *After Installation*, de acuerdo a esta norma, son conducidos en corriente alterna de frecuencia industrial (20 a 300Hz), a un nivel de tensión de prueba entre 1,7 U_o a 2 U_o, para aquellos cables comprendidos entre 30 kV y 150 kV de tensión nominal.

Son considerados los ensayos más onerosos por el equipamiento que requieren, pero a la vez son considerados como los más precisos a la hora de emitir conclusiones sobre la aptitud del cable ensayado, ya que reproducen las condiciones exactas cuando los mismos estén en servicio.

En particular, para ensayos de cables de 132kV, esta norma IEC60840-2011 especifica la aplicación de una tensión de prueba de 132kV (1,7U₀), sostenida durante 60 minutos por cada fase.

Referido a ensayos de cables instalados, los apartados específicos de la IEC60840-2011 son los siguientes:

ENSAYO DE TENSION APLICADA SOBRE LA AISLACION PRINCIPAL:

(AC voltage test of the insulation Pto. 16.3 Tabla 4 Columna 10)

Tensión de Prueba Asignada: 132kV C.A. 20 a 300Hz. Tiempo: 60 Minutos por fase

ENSAYO DE INTEGRIDAD DE LA CUBIERTA EXTERIOR:
(DC voltage test of the Oversheath Pto. 16.2 e IEC60229-2007 Cláusula 5)

Tensión de Prueba Asignada: 10 kV C.C.

Tiempo: 60 Segundos por fase

ENSAYOS DE CABLES DE 132KV SEGUN IEEE400.2-2013:

Recordando que la IEEE400 "*Guide for Field Testing and Evaluation of the Insulation of Shielded Power Cable Systems Rated 5 kV and Above*", es lo que se denomina una norma ómnibus, con más de cinco Sub-Guías específicas, la encargada de conducir los ensayos con tensiones de pruebas tipo Very Low Frequency (VLF $\leq 0.1\text{Hz}$), es la Std.IEEE400.2-2013. "*IEEE Guide for Field Testing of Shielded Power Cable Systems Using Very Low Frequency (VLF) (less than 1 Hz)*".

NOTA: Respecto al uso de normativas, es necesario ser precisos en nuestro vocabulario técnico, ya que IEEE clasifica sus "Standards" en 4 grupos, y no todo el mundo conoce esta diferenciación:

1-Standards

(Estándares): Documentos con requisitos obligatorios. (Los requisitos obligatorios generalmente se caracterizan por el uso del verbo "shall" (deberá). (Debe interpretarse como rigurosidad de cumplimiento – "palabra sagrada").

2-Recommended practices

(Prácticas recomendadas): Documentos en los que se presentan los procedimientos y las posiciones preferidas por el comité IEEE. (Las Prácticas recomendadas se caracterizan por el uso de la palabra: "should" (debería)). (Debe interpretarse no exigencia).

3-Guides

(Guías): Documentos en los que se sugieren enfoques alternativos a las buenas prácticas, pero no se hacen recomendaciones claras.

(Debe interpretarse como una ayuda práctica)

4- Trial-Use Documents

(Documentos de uso de prueba): Publicaciones vigentes durante un máximo de tres años. Pueden ser cualquiera de las categorías de publicaciones de estándares mencionadas anteriormente.

De acuerdo a lo anterior, para IEEE las únicas "palabras sagradas", serían las denominadas STANDARDS, las restantes, permitirían alteraciones o "ajustes". Si bien todas se denominan "Std xxxx", en el título del contenido, se hace referencia si se trata de una Guía o no; ejemplo: Std.IEEE400.2-2013. "IEEE Guide for". Lo cual indica que el contenido es una Guía.

Volviendo al tema de los ensayos *After Installation* de cables de 132kV, la Guía IEEE400.2-2013 establece los lineamientos para pruebas en VLF (muy baja frecuencia), referenciando la aplicación de una tensión de prueba de 1,5U₀ a 2 U₀, expresada en valores picos (multiplicar rms por 1.4), y sostenida durante un mínimo de 30 minutos, a un máximo de 60 minutos por cada fase.

Lo anterior daría un margen de tensiones de pruebas ubicadas entre los 163kV picos y los 215kV picos.

Como regla de criterio, se utiliza un coeficiente de 1.7U₀, expresado en valores picos, lo que igualaría al coeficiente utilizado en la IEC60840-2011:

Siendo U₀= 77kVrms, la tensión de prueba sería:

$1.7 \times 77 \text{ kVrms} = 131 \text{ kVrms}$ ó $131 \times 1.41 = 185\text{kV}$ picos.

Mientras que para el ensayo de la integridad de la cubierta exterior, debido a que son conducidos en corriente continua, y no sobre la aislación principal, se utiliza entonces el mismo apartado específico de la IEC60229-2007 Cláusula 5.

Tensión de Prueba Asignada: 10 kV C.C. – Tiempo: 60 Segundos por fase.

**PROCEDIMIENTOS TECNICOS:
PRUEBAS DE COMISIONAMIENTO SOBRE CABLES DE 132KV DE ACUERDO A
NORMAS: IEC 60840-2011 // IEEE400.2-2013**

**ENSAYOS AFTER INSTALLATION SEGUN
IEC 60840-2011**

APARTADO: ELECTRICAL TESTS AFTER INSTALLATION

ENSAYO DE TENSION APLICADA SOBRE LA AISLACION PRINCIPAL:

(AC voltage test of the insulation Pto. 16.3 Tabla 4 Columna 10 - IEC 60840-2011)
Tensión de Prueba Asignada: 132kV C.A. 20 a 300Hz - Tiempo: 60 Minutos por fase

ENSAYO DE INTEGRIDAD DE LA CUBIERTA EXTERIOR:

(DC voltage test of the Oversheath IEC60840-2011 Pto. 16.2 e IEC 60229-2007 Cláusula 5)
Tensión de Prueba Asignada: 10 kV C.C.
Tiempo: 60 Segundos por fase

ENSAYO DE TENSION APLICADA, SOBRE LA AISLACION PRINCIPAL:

OBJETIVO: Verificar mediante secuencia de aceptación /rechazo, la aptitud dieléctrica del sistema. Acorde a lineamientos de IEC 60840-2011.

DESARROLLO: El ensayo será efectuado mediante la aplicación de tensión de prueba alterna, hasta un nivel de **132 kV CA 50/60Hz**, sobre aislaciones termo-plásticas. Se procederá a la generación de stress eléctrico durante **60 minutos** por cada fase, para aumentar el radio de evolución de defectos incipientes en caso de existir.

Nota: Como todo ensayo de aislación resistida en C.A., sus conclusiones serán indicadas bajo los términos normalizados de pasa/no pasa, y anexados al análisis comparativo de su resultado con respecto a los obtenidos en las otras dos fases.

El procedimiento /alcance del trabajo del ensayo de alta tensión (tensión aplicada), luego del tendido se limitará a:

1. El transporte del equipo de prueba al lugar de trabajo, permanencia, uso y su posterior regreso.

2. Provisión de personal experimentado y calificado para instalar el equipo de ensayo, conexión a los objetos bajo prueba, realizar las pruebas especificadas, y desmontar el equipo de ensayo tras la finalización de los mismos.

3. Confeccionar /proporcionar la documentación de los resultados del ensayo (protocolo normalizado).

PROCESO DE ENSAYO:

Desde los bushings externos de la línea, y sobre cada fase que compone el sistema de cables de clase Um 132kV, se procederá a conectar la salida de alta tensión del equipo de ensayo, estando las otras dos fases conectadas rígidamente a tierra, mediante conexiones temporarias.

El extremo opuesto de la fase sometida a tensión de prueba, deberá estar aislado de tierra, bajo distancias de seguridad acordes a la tensión a aplicar.

De esta manera el sistema de cables quedará preparado para los ensayos de TENSION APLICADA.

El ensayo de tensión aplicada no comenzará hasta dada su aprobación por un representante del cliente. Antes de aplicar alta tensión sobre el cable a ensayar, y con el objeto de determinar la existencia de errores groseros o de puestas a tierra involuntarias, el mismo será sometido a una medición de Resistencia del Aislamiento (RA), a 5kVCC (Megger).

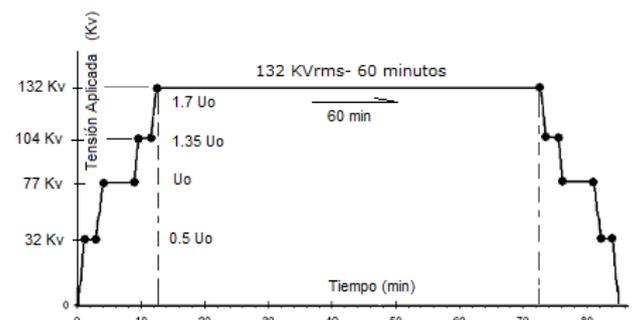
La resistencia de aislamiento medida, deberá superar los 20 Gohms.

Luego de una exitosa medición de RA, se realizará posteriormente el ensayo de tensión aplicada, sobre cada una de las fases, y se procederá a dejar registrado sus valores.

Los ensayos de tensión aplicada en C.A. de frecuencia industrial, se realizarán con un nivel de tensión establecido de acuerdo a IEC60840-2011, correspondiente a un valor máximo final de 132 KV fase/tierra, sostenidos durante 60 minutos, utilizando una señal estrictamente sinusoidal.

La rampa de tensión aplicada al sistema de cables de Um 132 kV, se encuentra en la ilustración siguiente.

La rampa de tensión tendrá una dV/dt de aproximadamente 2 kV/seg.



Para este ensayo está previsto en primer lugar, aumentar la tensión a 39 kV (0.5U₀), y mantenerla estable durante 2 minutos, monitoreando la estabilidad de la tensión y de la corriente.

Si la medición de corriente no es estable, será indicada como un problema, y se dará por terminado el ensayo. Los ensayos sólo se reiniciarán una vez que el cliente autorice a seguir adelante. Si la corriente es estable, y dentro de los límites esperados, la tensión será aumentada a 77kV – correspondiente a U₀ — permaneciendo en esa condición durante cinco minutos.

Si la medición de corriente no es estable, será indicada como un problema y se dará por terminado el ensayo. Los ensayos sólo se reiniciarán una vez que el cliente autorice a seguir adelante.

Si la corriente es estable, y dentro de los límites esperados, la tensión será aumentada a 104 kV – correspondiente a 1,35 x U₀ — permaneciendo en esa condición durante dos minutos.

Nuevamente, se monitorea la corriente de carga. Si todo es aceptable la tensión de prueba será aumentada hasta la tensión máxima de ensayo de 132 kV, correspondiente a 1.7 de U₀, y se mantendrá en ese nivel durante 60 minutos.

Si se detectara un problema, se comunicará a todas las partes para tomar una decisión.

Después de 60 minutos en alta tensión, se dará por terminado el ensayo de sobretensión.

Finalmente, se dispondrá de los detalles de la rampa de tensión/corriente aplicada, con fines informativos.

Luego de efectuado el ensayo de tensión aplicada, se completará una prueba final de Resistencia de Aislamiento (Megger test), y se comparará con los resultados de la RA inicial.

PROTOCOLO A CONFECCIONAR:

El protocolo oficial incluirá todos los lineamientos según ISO, en cuanto al detalle de instrumental utilizado condiciones de trazabilidad – condiciones climáticas – secuencias y resultados de ensayos de acuerdo a normativas vigentes.

Se emitirá un informe preliminar al finalizar los ensayos, que categorice entre otros, el grado de confiabilidad para el ingreso en servicio de la terna.

ENSAYOS AFTER INSTALLATION SEGUN LINEAMIENTOS IEEE400.2-2013

(ENSAYOS EN VLF -VERY LOW FREQUENCY)

ENSAYO DE TENSION APLICADA SOBRE LA AISLACION PRINCIPAL:

Tensión de Prueba Asignada: 1.7 x U₀(rms) = 131KVrms ó 185KV pico C.A. 0.1 Hz – Tiempo: 60 Minutos por fase

ENSAYO DE INTEGRIDAD DE LA CUBIERTA EXTERIOR:

(DC voltage test of the Oversheath IEC60840 e IEC60229 Cláusula 5)

Tensión de Prueba Asignada: 10 KV C.C. – Tiempo: 60 Segundos por fase

ENSAYO DE TENSION APLICADA, SOBRE LA AISLACION PRINCIPAL:

DESARROLLO: El ensayo será efectuado mediante la aplicación de tensión de prueba alterna sinusoidal, hasta un nivel de **132 kVrms o 185kV picos a una frecuencia ≤ 0.1Hz**, sobre aislaciones termo-plásticas. Se procederá a la generación de stress eléctrico durante **60 minutos** por cada fase, para aumentar el radio de evolución de defectos incipientes en caso de existir.

Nota: Como todo ensayo de aislación resistida en C.A., sus conclusiones serán indicadas bajo los términos normalizados de pasa/no pasa, y anexados al análisis comparativo de su resultado con respecto a los obtenidos en las otras dos fases.

El procedimiento /alcance del trabajo del ensayo de alta tensión (tensión aplicada), luego del tendido se limitará a:

1. El transporte del equipo de prueba al lugar de trabajo, permanencia, uso y su posterior regreso.
2. Provisión de personal experimentado y calificado para instalar el equipo de ensayo, conexión a los objetos bajo prueba, realizar las pruebas especificadas, y desmontar el equipo de ensayo tras la finalización de los mismos.
3. Confeccionar /proporcionar la documentación de los resultados del ensayo (protocolo normalizado).

PROCESO DE ENSAYO:

Desde los bushings externos de la línea, y sobre cada fase que compone el sistema de cables de clase Um 132kV, se procederá a conectar la salida de alta tensión del equipo de ensayo, estando las otras dos fases conectadas rígidamente a tierra, mediante conexiones temporarias.

El extremo opuesto de la fase sometida a tensión de prueba, deberá estar aislado de tierra, bajo distancias de seguridad acordes a la tensión a aplicar.

De esta manera el sistema de cables quedará preparado para los ensayos de TENSION APLICADA en VLF.

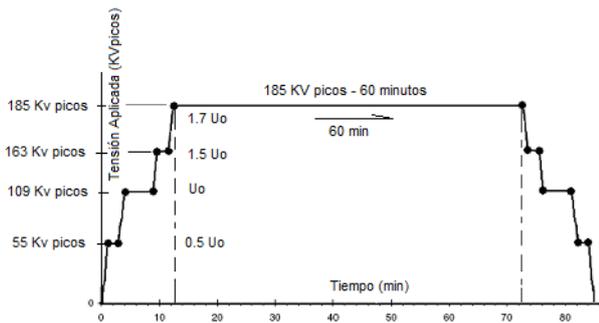
El ensayo de tensión aplicada no comenzará hasta dada su aprobación por un representante del cliente. Antes de aplicar alta tensión sobre el cable a ensayar, y con el objeto de determinar la existencia de errores groseros o de puestas a tierra involuntarias, el mismo será sometido a una medición de Resistencia del Aislamiento a 5kV CC (Megger).

La resistencia de aislamiento medida, deberá superar los 20 Gohms.

Luego de una exitosa medición IR, se realizará posteriormente el ensayo de tensión aplicada, sobre cada una de las fases, y se procederá a dejar registrado sus valores.

Los ensayos de tensión aplicada en C.A. de frecuencia industrial, se realizarán con un nivel de tensión, correspondiente a un valor máximo final de 132 kVrms o 185kV picos a una frecuencia $\leq 0.1\text{Hz}$ KV fase/tierra, sostenidos durante 60 minutos, utilizando una señal estrictamente sinusoidal.

La rampa de tensión aplicada al sistema de cables de Um 132 kV, se encuentra en la ilustración siguiente. La rampa de tensión tendrá una dV/dt de aproximadamente 2 kV/seg.



Para este ensayo está previsto en primer lugar, aumentar la tensión a 55 kVpicos (0.5Uo), y mantenerla estable durante 2 minutos, monitoreando la estabilidad de la tensión y de la corriente.

Si la medición de corriente no es estable, será indicada como un problema, y se dará por terminado el ensayo. Los ensayos sólo se reiniciarán una vez que el cliente autorice a seguir adelante.

Si la corriente es estable, y dentro de los límites esperados, la tensión será aumentada a 109 kVpicos – correspondiente a U_0 — permaneciendo en esa condición durante cinco minutos.

Si la medición de corriente no es estable, será indicada como un problema y se dará por terminado el ensayo. Los ensayos sólo se reiniciarán una vez que el cliente autorice a seguir adelante.

Si la corriente es estable, y dentro de los límites esperados, la tensión será aumentada a 163 kVpicos – correspondiente a $1,5 \times U_0$ — permaneciendo en esa condición durante dos minutos.

Nuevamente, se monitorea la corriente de carga. Si todo es aceptable la tensión de prueba será aumentada hasta la tensión máxima de ensayo de 185 kVpicos, correspondiente a 1.7 de U_0 , y se mantendrá en ese nivel durante 60 minutos.

Si se detectara un problema, se comunicará a todas las partes para tomar una decisión.

Después de 45 minutos en alta tensión, se dará por terminado el ensayo de sobretensión.

Finalmente, se dispondrá de los detalles de la rampa de tensión/corriente aplicada, con fines informativos.

Luego de efectuado el ensayo de tensión aplicada, se completará una prueba final de Resistencia de Aislamiento (Megger test), y se comparará con los resultados de la RA inicial.

PROTOCOLO A CONFECCIONAR:

El protocolo oficial incluirá todos los lineamientos según ISO, en cuanto al detalle de instrumental utilizado condiciones de trazabilidad – condiciones climáticas – secuencias y resultados de ensayos de acuerdo a normativas vigentes.

Se emitirá un informe preliminar al finalizar los ensayos, que categorice entre otros, el grado de confiabilidad para el ingreso en servicio de la terna.

ENSAYO DE INTEGRIDAD DE LA CUBIERTA EXTERIOR (COMPATIBLE PARA IEC60840-2011 / IEEE400.2-2013)

OBJETIVO: Verificar la existencia de zonas en las que se ha producido una rotura de la cubierta exterior del cable, permitiendo el posible ingreso de humedad y proceso de degradación.

Medición efectuada mediante la aplicación de tensión de ensayo C.C., nivel de tensión de prueba máximo de 10 kV, durante 1 minuto, de acuerdo a IEC60840-2011 pto. 15.1, e IEC60229 Cláusula 5.

NOTA: La norma IEC60229 Cláusula 5 especifica: Tensión de prueba DC: 4KV/mm de espesor de aislación. Máximo permitido 10Kv CC total (cuando excede los 2.5mm de espesor). Estos valores son solo aplicables a cables nuevos.

DESARROLLO:

Se procederá a levantar las conexiones a tierra de las pantallas, en ambos extremos de línea.

Desde la S.E., se aplicará tensión CC, entre pantalla de una fase y tierra, colocando las otras dos pantallas y los conductores de las fases a tierra.

La tensión aplicada se incrementará en escalones ΔE hasta alcanzar el valor máximo de ensayo: 10 kV de tensión continua.

Este procedimiento se repetirá por cada pantalla de cada fase.

La tensión de prueba será aplicada durante 1 minuto por cada pantalla. Durante el ensayo se verificará que no se produzcan descargas disruptivas ni incrementos sustanciales de corrientes, según lo establecido en la Ref. [1].

La comparación de valores obtenidos en cada medición (cada fase) será de carácter cuantitativo para determinar condiciones de anomalías.

En caso de detectarse una marcada asimetría de las corrientes medidas o una falla a tierra, se procederá a sectorizar las mediciones con el objetivo de determinar la sección con falla.

CONCLUSIONES:

□ Ninguna normativa permite en la actualidad, realizar ensayos en corriente continua sobre cables de aislaciones termoplásticas de clase 132kV.

□ Dos normativas internacionales rigen los ensayos de aceptación de cables de 132KV: IEC6840-2011 e IEEE400.2-2013

□ IEC60840-2011 establece ensayos en C.A. de frecuencia industrial.

Prueba de la aislación principal: Aplicar 132kV C.A. 20 a 300Hz entre fase/tierra – Tiempo: 60 Minutos.

Prueba de la Cubierta Exterior: Aplicar 10kV C.C., entre pantalla y tierra. Tiempo: 60 segundos.

□ IEEE400.2-2013 establece ensayos en C.A. de baja frecuencia (VLF ≤ 0.1 Hz).

Prueba de la aislación principal: Aplicar 131kVrms ó 185kV picos entre fase/tierra – Tiempo: 60 Minutos.

Prueba de la Cubierta Exterior: Aplicar 10kV C.C., entre pantalla y tierra. Tiempo: 60 segundos.

FUENTE: **INDUCOR INGENIERIA S.A.**