

**Comité de Estudio B1 - Cables Aislados**

**INSTALACION DE CABLES DE 132 kV / 220 kV CON SISTEMAS “CROSS BONDING”  
– DISEÑO – POTENCIA – CAMPOS MAGNÉTICOS – ENSAYOS.**

**A. VILLAFañE**  
**Edenor S.A.**  
**Argentina**

**L. BEITONE\***  
**Edenor S.A.**  
**Argentina**

**O.GEI**  
**Edenor S.A.**  
**Argentina**

**Resumen** - El trabajo propone analizar desde la perspectiva de la experiencia la instalación de cables de alta tensión de 132 kV y 220 kV utilizando sistemas “Cross-Bonding”. Los contenidos del trabajo tratan el análisis de las complejas relaciones entre ventajas y desventajas de su utilización, cuáles fueron los motivos que decidieron la aplicación en cada caso. Utilización en obras de 220 kV tanto en disposición en tresbolillo como en disposición coplanar. La potencia. Los campos magnéticos.

La obra, es analizada desde el inicio, cuidando todos los aspectos que puedan traer inconvenientes en sus distintas etapas al sistema “cross bonding”.

Se considera el estudio previo que se realiza al adoptar una instalación del tipo "cross bonding", este tema es desarrollado inicialmente en forma teórica, destacando el importante incremento de la potencia que se puede lograr, se muestran ejemplos en donde se utilizó, se resaltan los factores a tener en cuenta para garantizar la potencia a transmitir, las ventajas y desventajas respecto de una instalación estándar.

Se trata brevemente la elección del cable a utilizar ya que debe ser apto para soportar los esfuerzos a lo que es sometido durante la instalación, las diferencias a tener en cuenta si el cable esta directamente enterrado sobre arena o si la instalación se ejecuta en ductos. Los aspectos y el cuidado de la vaina exterior, su espesor, etc.

El trabajo destaca a la obra civil como un punto importante por su heterogeneidad.

Se brinda una detallada descripción de los ensayos mecánicos y eléctricos realizados en distintas obras ejecutadas, en donde se utilizaron ductos, relacionadas con el tendido de los conductores, las precauciones que se tomaron a efectos de que no se produzcan atrasos en la puesta en servicio.

Describe la experiencia de distintas obras relacionadas con el tendido de los conductores los cuidados, las precauciones que fueron tomadas, las mediciones, los ensayos eléctricos, los problemas encontrados y sus soluciones.

Si bien los empalmes y terminales son ensayados antes de llegar a obra y generalmente son montados por el proveedor la coordinación de la obra civil con el montaje hace que el personal de supervisión juegue un rol fundamental para que muchas fallas no se produzcan, el trabajo describe los lugares en donde se pueden producir y el modo de intervenir.

**El trabajo finaliza con un detallado informe de todos los ensayos previos a la puesta en servicio, los ensayos del sistema “cross bonding” las fallas detectadas, su ubicación y reparación, lugares frecuentes. El ensayo de tensión con equipo VLF, medición de descargas parciales, etc.**

**Palabras clave.:** cross bonding, potencia, ensayos.

## **1 INTRODUCCIÓN**

La finalidad de un nuevo electroducto de alta tensión es aumentar la potencia del sistema. Los cálculos eléctricos nos permiten elegir el proyecto adecuado y aproximarnos a los resultados esperados para las distintas posibilidades disponibles, tres bolillos, coplanar, con sistema coss bonding, single point o middle

point y puesta a tierra en ambos extremos. Pero el logro depende de múltiples factores como la elección de la traza, la ubicación de las fosas de empalmes el cuidado durante la instalación y los ensayos que garanticen su correcto funcionamiento.

## **2 EL TIPO DE CABLE**

Cuando Edenor migro del cable OF al XLPE determino como conveniente la utilización cables de cobre y vaina de plomo de 500 mm<sup>2</sup> de sección para 132 kv y de 800 mm<sup>2</sup> para 220 kv. El transporte, descarga y maniobrabilidad en zona urbana hace que los largos de fabricación estén para 132 kV en el orden de los 1000 metros con un peso aproximado de 22 toneladas con dimensiones de bobinas de 3 metros de diámetro por 2.40 de ancho. En el caso de 220 kV las dimensiones de las bobinas y el peso son similares pero la longitud promedio de fabricación es de 600 metros. Estas medidas hacen que el transporte, descarga y ubicación en zonas urbanas pase a ser un tema de estudio particular para cada obra y para cada tramo de tendido.

## **3 LA OBRA CIVIL**

La instalación de los conductores se realiza mediante ductos de hormigón en caños de polietileno. Para garantizar el tendido una vez terminado el ducto se realizó el mandrilado de los caños utilizando en 132 kV un diámetro de mandril de 140 mm para caño de 160 mm y para 220 kV un mandril de 180 mm para un caño de 200 mm.

## **4 TENDIDO DE CONDUCTOR**

Antes de realizar el tendido se pasa un cepillo para limpiar y retirar los residuos que pudieran haber quedado de la obra civil, este cepillo es de un diámetro de 155 mm en 132 kV y de 195 mm en 220 kV y cuenta con un centro macizo y cerdas duras hasta llegar al diámetro solicitado. Durante el tendido se monitorean las tensiones, a efectos de evitar que esta pase la tensión máxima de tendido que es de 3000 kg para cables de 500 mm<sup>2</sup> en 132 kv y de 4800 kg para cables de 800mm<sup>2</sup> en 220 kv. La tarea de tendido se debe realizar evitando los avances y paradas repentinas, para que el tendido sea lo más parejo posible y así no superar, ni producir picos de esfuerzos en el tendido. Una vez concluido el tendido se realiza la prueba de vaina del conductor aplicando 10 kv por el tiempo de 1 minuto por fase.

## **5 LOS EMPALMES**

Dentro de la ejecución de las tareas, tenemos que prestar atención al ejecución de la fosa (obra civil), instalaciones y a prever la colocación de bombas de desagote en forma permanente y de las adecuaciones necesarias para evitar ingreso de agua por lluvias u otros accidentes según el terreno. Se continúa con la ubicación de los cables en su disposición final, para proceder al cortado y comienzo de los empalmes. Se debe tener en cuenta que las curvaturas de los cables sea la especificada por el fabricante y que estén protegidos de posibles golpes o daños en la vaina exterior. Si bien existe un plano tipo de las fosas de empalme debemos estudiar en particular cada caso para evitar radios de curvaturas menores a los explicitados por el fabricante, esto se debe al gran numero de interferencias que se encuentran en la zona, la dimensión variable es el largo de la misma dado que el ancho complicaría la circulación de tránsito. Es fundamental la supervisión de los trabajos hasta el momento que las fosas se encuentren tapadas en su totalidad, para evitar que se produzcan daños.

## **6 SISTEMA CROSS-BONDING**

Si el proyecto determina el uso de este sistema de conexión de las vainas de plomo, debemos ser muy cuidadosos con los cables y con las derivaciones de cable concéntrico que se utilizan para realizar las transposiciones de vaina, dado que cualquier avería puede producir en el futuro pérdida de aislación y por lo consiguiente una falla del sistema. Otro punto que se debe tener en cuenta es realizar un ensayo preliminar por tramos y/o ciclos antes de realizar el tapado definitivo de las fosas que integran el mismo.

## **7 PUESTA EN SERVICIO ENSAYOS.**

Los ensayos realizados para la habilitación de la puesta en servicio de una terna son los siguientes:

### **7.1. Medición de descargas parciales.**

Es un ensayo de diagnóstico y sirve para llevar un registro histórico desde la entrada en servicio del cable y detectar posibles fallas. Se debe realizar periódicamente.

#### **7.1.1. Detección de descargas parciales por método eléctrico**

Se calibra el sistema, por medio de la inyección de un valor de carga patrón de 2 nC, generado por el emisor patrón CAL1B. Finalizada esta etapa, se conecta el filtro de separación de señal en la primera fase a monitorear, cuya salida de señal, es amplificada por medio del amplificador RPA1H, y enviada hacia el monitor de descargas ICM compact, para su captura y adquisición de registro. Procedimiento repetido por cada fase. Durante la energización del cable con 115 kV - 0,02 Hz, utilizando una fuente de tensión de VLF (Very Low Frequency), se efectúa un registro de quince minutos de descargas parciales por fase.

#### **7.1.2. Consideraciones sobre el análisis de descargas parciales.**

Se entiende como gráfica del registro de descargas parciales, al nivel y frecuencia de repetición de las mismas dentro del tramo ensayado con ubicación exacta del punto emisor (lugar de potencial defecto). Los gráficos expresan los valores de cargas aparentes de las descargas parciales, expresadas en pC – (Pico Coulomb), y su frecuencia de repetición (N) expresada en número de descargas por segundo. Todo esto en función de la longitud del cable. Utilizando un software de distribución de descargas, se traza un registro integral de descargas parciales a lo largo del cable de AT, y se analizan en función de los distintos cambios de impedancias de las señales reflectométricas. En un todo de acuerdo con las IEEE-400.6-2001 y la IEC60270. Del ensayo realizado podemos inferir el estado inicial de puesta en servicio del cable, dándonos esto un muy buen parámetro a través del tiempo de las posibles fallas o de cómo se comporta durante el servicio.

#### **7.2. Ensayo de aislación- ensayo alterna tipo VLF.**

Este es el que determina o no la posibilidad de aprobar la instalación.

El ensayo de Tensión Aplicada, indica que todas las fases soportan adecuadamente la aplicación de una tensión de prueba del orden de los 115 kV - 0,02 Hz. La conclusión a la que arriba este ensayo es únicamente de carácter tipo “pasa – no pasa”. El ensayo de tensión aplicada con VLF se diferencia de los de tensión continua y de los de tensión alterna con frecuencia industrial (50Hz) en que si el cable tiene algún defecto, entonces es altamente probable que se produzca una descarga disruptiva y no pase el ensayo. Por lo tanto el resultado del mismo solo confirma que el tendido estaría en condiciones para su puesta en servicio inmediatamente, pero sin capacidad para hacer comentarios sobre el nivel de degradación, duración bajo servicio, estado de fragilidad y/o performance de los accesorios involucrados. De acuerdo a las IEEE-400-2001 y IEEE-400.2-2001.

### **7.3. Medición de parámetros – impedancia directa y homopolar.**

Son ensayos complementarios para verificar los valores teóricos garantizados, los que se utilizan para realizar los estudios de flujo de cargas de las instalaciones y del sistema.

#### **7.3.1. Medición de la Impedancia Directa.**

Las impedancias de fases se calculan a partir de la medición de la tensión de ensayo, la corriente circulante y el ángulo de desfase entre las mismas.

Se utiliza como fuente de alimentación un grupo generador de 175kVA 3x380+N, 50 Hz, marca Cummins, modelo 140 DGAZ 2696, N° F045657840.

Realizando un promedio de los valores obtenidos para las distintas fases se obtiene:  
 $Z_d$  [ $\Omega$ ] Angulo [ $^\circ$ ]  $R_d$  [ $\Omega$ ]  $X_d$  [ $\Omega$ ]

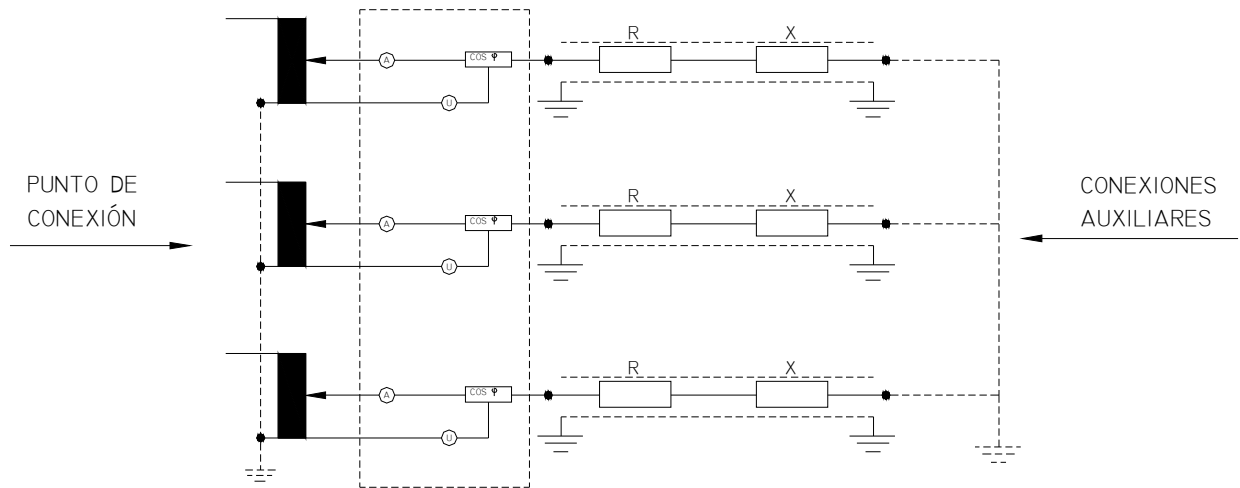


Fig. 1

### 7.3.2. Medición de la impedancia Homopolar.

Las mediciones se realizan desde los terminales montados en un extremo y las conexiones auxiliares en el otro, estando para esta medición las pantallas de cables conectadas a potencial de tierra y todos los descargadores conectados en todas las cajas de sistemas Cross-Bonding.

La impedancia homopolar se calcula por la relación entre la tensión aplicada y la corriente que circula por el sistema la cual una vez obtenida, sirve de valor base para el cálculo de la  $R_o$  y  $X_o$ .

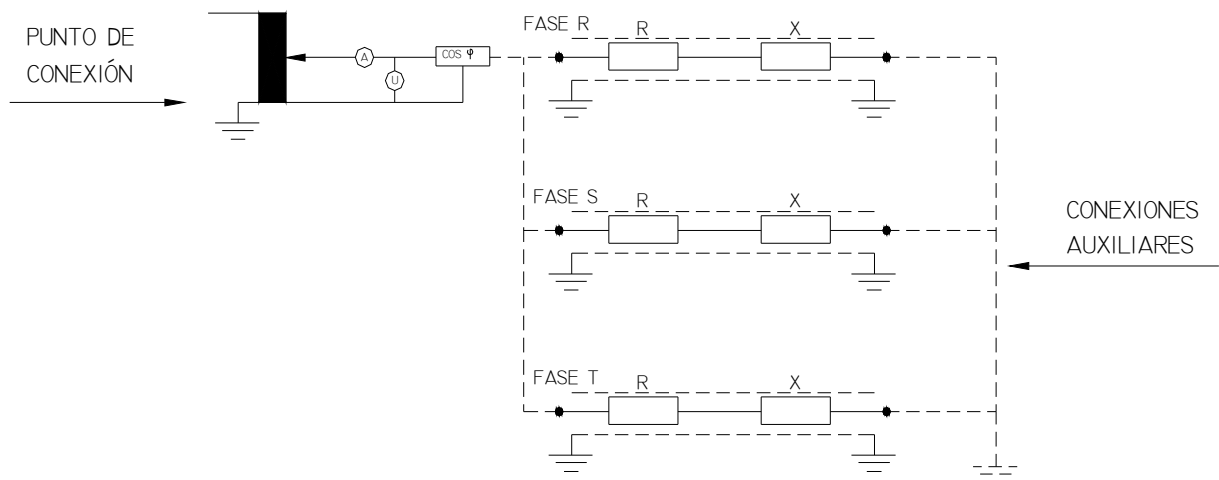


Fig. 2

### **7.3.3. Medición de Suceptancia Capacitiva por Fase.**

Las mediciones se realizan desde los terminales y las conexiones auxiliares en el extremo opuesto (fase medida libre de tierra), estando para esta medición las pantallas de cables conectadas a potencial de tierra y todos los descargadores conectados en todas las cajas de sistemas Cross-Bonding.

Para la medición de la suceptancia capacitiva se utilizo el instrumento medidor de capacidad integrado en el equipo **High Voltaje VLF120** entre conductores de fase y pantalla de tierra realizando la medición por cada fase.

### **7.4. Reflectometría diferencial de conductores.**

Es un ensayo complementario del de descargas parciales por el cual podemos identificar el tipo de problema que tenemos en los empalmes, puede ser un problema de aislación o bien un inconveniente de indentacion.

Con este método se envían al cable pulsos eléctricos periódicos de corta duración; en los puntos donde hay cambios de impedancia (puntos a evaluar), los pulsos se reflejan y vuelven a la fuente. Estos cambios o discontinuidades en el cable, son visualizados como pulsos de polaridades específicas en el registro de reflectometría (CAMBIOS DE IMPEDANCIA).

Por medio de la reflectometría diferencial en la longitud del cable (prueba comparativa), son analizados los mayores cambios de impedancia en las tres fases.

Este ensayo determina cambios de impedancia atribuidos a defectos mecánicos. Un cambio de impedancia positivo implica puntos de observación en la indentación en el conductor y uno negativo en la aislación.

### **7.5. Verificación del cross- bonding.**

Es un ensayo en el cual por medio de la inyección de una corriente en la vaina verificamos que no haya perdidas de aislación y que la transposición de vainas sea correctamente realizada.

Para el ensayo de verificación de performance del sistema Cross Bonding se efectúa el siguiente procedimiento:

**7.5.1.** Se conectan entre si y a tierra los terminales de las tres fases (R-S-T) en un extremo, de manera tal de generar una carga equilibrada.

**7.5.2.** Se aplica una corriente a cada conductor, con las barras de conexionado de transposición en posición normal. Para dicha aplicación se conecta la línea directamente al sistema de comando de corriente, alimentado por un generador trifasico de 175 kVA y el neutro conectado a la tierra de subestación.

**7.5.3.** Manteniendo la corriente en un valor estable, se miden las corrientes de las vainas metálicas en las cajas de transposición del sistema y además se registran los valores, verificando que dichas corrientes fueran de un valor bajo y similares entre sí.

**7.5.4.** Luego de las mediciones hechas en 7.5.3 se reduce la corriente a cero y se conectan las barras de transposición simulando una situación de conexionado erróneo, para esto se invierten las barras de las tres fases en ambas fosas.

**7.5.5.** Luego de medir las corrientes como lo indicado en el punto 7.5.4 se reduce la corriente a cero y se restauran las conexiones del Cross Bonding a su posición normal.

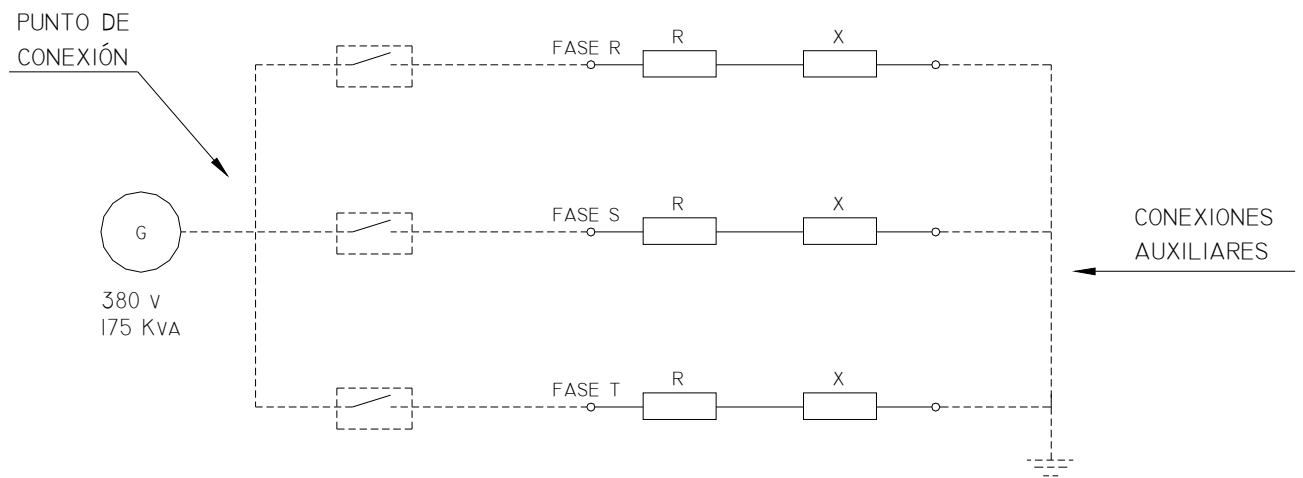


Fig. 3

## 7.6. Análisis de los resultados.

Los resultados de los conexionados se consideran satisfactorios cuando:

- 7.6.1. Con conexiones erróneas de las barras de transposición, las corrientes medidas en las vainas aumentan significativamente respecto de la posición normal del circuito de transposición.
- 7.6.2. Con las conexiones correctas de las barras de transposición, ninguna de las corrientes de vaina multiplicada por un factor igual a la corriente nominal del cable, dividida la corriente de prueba debe ser superior a un valor igual al 3 % para cables directamente enterrados y 5% para cables en ductos (IEC 60287), de la corriente nominal del cable.

## 8 EQUIPOS E INSTRUMENTAL UTILIZADO

Los equipos utilizados son para 132 kV y 220 kV los siguientes:

- Equipo utilizado generador de AT de baja frecuencia, marca High Voltage, modelo VLF 120.
- Medidor de descargas parciales, marca Power Diagnostix, modelo ICM Compact.
- Calibrador de descargas, marca Power Diagnostix, modelo CAL 1 B.
- Reflectómetro con cabezal diferencial, marca AVO, modelo TDR 2000/2P.
- Soporte informático para registro de datos e imágenes.

## 9 CUIDADOS DURANTE LA EXPLOTACION.

Una vez finalizada la obra se realizan los ensayos de puesta en servicio que detallamos (VLF-DESCARGAS PARCIALES-PARAMETROS – INYECCION DE CORRIENTE AL SISTEMA CROSS-BONDING)

Los cuales nos dan una condición inicial de puesta en servicio, por lo que debemos repetirlos en periodos constantes para determinar las condiciones del sistema a lo largo del tiempo.

## 10 CONCLUSIONES.

El cálculo de la potencia a transmitir de un electroducto de alta tensión está condicionado a su construcción. El realizar los ensayos de recepción de los materiales que lo componen en los laboratorios de los fabricantes garantiza el funcionamiento solamente si la instalación es la adecuada.

En la calidad de la supervisión esta la llave para mantener la potencia teórica. El seguimiento durante la construcción de la obra civil, tendido, montaje de los empalmes, terminales y ensayos posteriores es fundamental.

Especialmente cuando se decide llegar a una potencia mediante la utilización de sistemas con tierras levantadas.

Son pocos los electroductos en donde está siendo instalado algún sistema de monitoreo que permita anticiparse a las fallas, por lo que es importante insistir en el mantenimiento, medir en forma periódica, la aislación de las vainas y el correcto funcionamiento de los descargadores nos permite utilizar en forma segura nuestra instalación a la potencia de diseño.

## **11 CITAS BIBLIOGRÁFICAS.**

[1] IEC-60287

[2] IEEE-400-2001 ensayos en campo de sistemas de cable de potencia.

[3] IEEE-400.2-2001 ensayos en campo de sistemas de cable de potencia V.L.F

[4] IEEE-400.6-2001 ensayos de descargas parciales en campo de sistemas de cables de potencia.

[5] IRAM 2325 aislación eléctrica.

[6] IEC60270 medición de descargas parciales.