

ENSAYO DE LAS CUBIERTAS DE LOS CABLES NUEVOS DE AISLAMIENTO SECO DE M.T. DESPUÉS DEL TENDIDO

Jose Luis Ferreres
Martin Baur, S.A. / Barcelona

Resumen

La importancia creciente de la seguridad de los cables de media tensión empleados en distribución y transporte hace que cada día sea más importante el diagnóstico preventivo. En este artículo nos basamos en la máxima "más vale prevenir que curar", resaltando la importancia de un ensayo sencillo de la cubierta protectora que evite problemas graves posteriores en la explotación de los cables de aislamiento seco de M.T. También se analiza la prueba en sí y lo que es más problemático, la localización rápida y económica de los puntos de fuga, antes de poner en explotación el cable después de su tendido e instalación.

Los métodos hasta ahora utilizados basados en señales de audiofrecuencia e impulsos de choque son totalmente ineficaces ya que la alta impedancia de estas fugas y la utilización cada vez más frecuente de tubos aislantes protectores los hacen obsoletos; además la utilización de impulsos de choque de alta energía puede provocar deterioros mayores en la cubierta y en consecuencia en el aislamiento principal. Aquí se analiza la utilización del clásico método del puente de hilo, actualizado a la tecnología actual, como la única solución capaz de dar respuesta al problema antes enunciado.

1. Introducción

Para llevar a cabo la verificación de las cubiertas plásticas de los cables nuevos de M.T. después de su tendido e instalación en el terreno, se viene utilizando desde hace años un ensayo de tensión continua aplicado entre la pantalla metálica del cable y una referencia de tierra.

Este ensayo se lleva a cabo en aquellos cables que en su tendido tienen la pantalla puesta a tierra sólo en sus extremos, tal como refleja las norma UNE HD 620-5E /A1, (cables de M. T. unipolares coaxiales con aislamiento seco). La prueba se ejecuta con la pantalla aislada de tierra.

El fabricante de los cables los ensaya en fábrica de forma similar, al igual que se hace con los cables de B.T. no apantallados, verificando la integridad de la cubierta que recubre el cable exteriormente.

En cables de M.T. tiene sentido el ensayo de cubierta después del tendido o instalación del mismo en el terreno ya que en fábrica ya se ha ensayado la integridad de la cubierta. En efecto, en el tendido del cable, con la finalidad de colocarlo dentro de las zanjas, conductos y tuberías, pueden producirse deterioros de la cubierta motivados por el uso inadecuado de tiradores, cabrestantes, máquinas que estiran el cable o incluso en tendidos a mano por personal inexperto. (En más de una ocasión se ha encontrado una puntilla clavada en el cable que afectaba no tan solo a la cubierta sino incluso al

aislante). La construcción inadecuada de rasas con perfiles afilados y ángulos cerrados o el tendido en zonas con prominencias rocosas que actúan como cuchillas sobre la cubierta del cable al arrastrarlo en el tendido, pueden agravar la situación.

Los ensayos se efectúan aplicando tensión continua entre la pantalla metálica separada en ambos extremos del cable de la puesta a tierra de la instalación y un electrodo de referencia que normalmente es una piqueta de puesta a tierra o la propia instalación de la tierra de la subestación o centro de transformación desde donde se lleva a cabo el ensayo. (Ver esquema de conexión en Fig.1)

1.1 Conexión de la línea de alta tensión de ensayo

La pantalla del cable de alta tensión del equipo de ensayo, generador de tensión de alta impedancia de salida, tiene que estar conectada a la puesta a tierra general o piqueta auxiliar.

El cable de salida de la A.T. del generador debe conectarse a la pantalla del cable ensayado, y ésta deberá estar desconectada en ambos extremos.

Todos los demás conductores y pantallas permanecerán puestos a tierra; es necesario tomar todas las precauciones necesarias, durante el ensayo y al terminar, tanto en la descarga como en la puesta a tierra y procurar que las instrucciones de seguridad general se cumplan siempre.

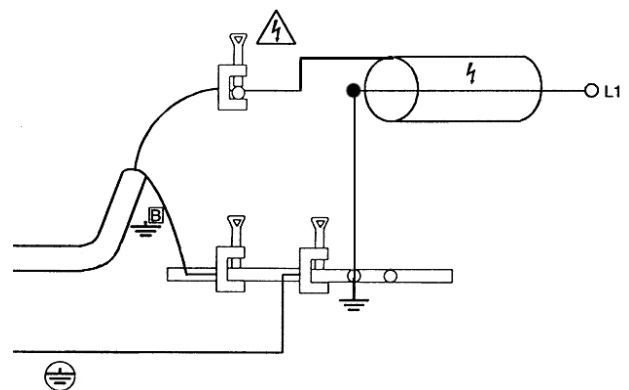


Fig. 1: Ensayo de pantalla de un cable de A.T. con tensión continua

Hay que tener en cuenta varias consideraciones:

- El cable de M.T. puede funcionar perfectamente con la cubierta perforada, ya que no afecta al aislante principal del cable, de momento.

- Las cubiertas de los cables de M.T, son materiales fabricados normalmente a base de PVC o de PE (poli olefinas) cuya misión es proteger mecánicamente la pantalla, no aislar.
- La penetración de humedad o agua por los poros o rajadas del material protector (cubiertas), puede causar a largo plazo deterioros en la pantalla (sobre todo si es de aluminio) y en el aislante, ya que los factores tiempo, humedad y campos eléctricos incluso de bajo nivel (pocos KV/cm) son la causa de la formación de arborescencias de agua en el aislante principal y esto a medio plazo (de 5 a 10 años) puede provocar arborescencias eléctricas que van asociadas siempre a la emisión de descargas parciales, y esto en los cables secos es sinónimo de averías del aislante en un tiempo muy corto.

Por estas razones las compañías de electricidad tienen especial interés en que esto pueda llevarse a cabo como método preventivo en la post-instalación del cable, para evitar males mayores en el aislante a lo largo del tiempo.

2. Normas y reglamentaciones

Existen normas al respecto a nivel nacional e internacional. Todas ellas hablan del ensayo de tensión continua aplicada entre la pantalla aislada de tierra y la tierra general de la instalación.

Los niveles de tensión demandadas varían según los países y las normativas nacionales, internacionales y las particulares de las compañías eléctricas.

En España, se habla de aplicar un cierto valor de KV dc según el espesor de la cubierta y ver su estabilidad al cabo de un corto tiempo, normalmente de 1 minuto. La norma interna de Endesa "Procedimientos de ensayo para cables unipolares de M.T." [DMD 00300. Doc. 2ª Ed. 6/2003] pide un máx. de 8 KV dc durante 1 minuto y la reglamentación de Iberdrola [MT 2.33.15 (06-04) Ed. 03 de Abril 2004], pide 10 KV dc asimismo durante 1 minuto. Unión Fenosa utiliza la misma normativa. Todas ellas están basadas en la norma UNE 21143.

La norma IEC 60229 Ed. 3.0 2007-10, habla para las pruebas de cables después de su instalación, de ensayar las cubiertas de material plástico a base de poli olefinas aplicando 4 KV de tensión continua por mm de espesor, con un máximo de 10 KV dc, durante 1 minuto entre la pantalla metálica conductora y el terreno sin que se produzca perforación. Esta norma añade que este ensayo requiere que la cubierta exterior tenga un "electrodo" que debe estar húmedo o utilizar una cubierta semiconductor o conductora.

Las normas Cenelec HD 620 S1 -1996 y la alemana VDE 0276 Teil 620 December 2000, derivada de la anterior, hablan para el ensayo post-instalación de los cables, de 3 KV máx. con independencia del espesor, si se trata de cubiertas de PVC y de 5 KV máx. con independencia del espesor, si la cubierta es de poliolefinas (PE). Esta norma en una nota adicional recomienda utilizar ensayadores de tensión continua

que no generen impulsos de alta energía para evitar dañar las cubiertas.

3. Aplicación práctica

Existen hoy en día en el mercado sistemas de ensayo y localización de las fugas de las cubiertas de los cables de M.T y también para el ensayo de cables de baja tensión y la localización de sus averías a tierra, incluso con muy altas impedancias de fuga. La integridad del aislamiento puede comprobarse hasta la tensión que sea procedente según el cable, hasta un valor de tensión de ensayo en CC generalmente desde 0 a (-) 10 KV.

Además estos equipos, ofrecen la solución ideal para la prelocalización de las fugas a tierra en los cables no blindados y en las cubiertas de los mismos. Para ello se emplea el principio del puente de medición según Murray y Glaser. Para la localización precisa de las fugas y averías en el terreno, utilizan un sistema de inyección de impulsos de baja energía. En realidad utilizan los impulsos de tensión de descarga a tierra generados por los equipos de ensayo en el punto de la avería. En la superficie del terreno, siempre que los cables no estén entubados, puede tomarse la medida del gradiente de potencial existente por medio del método de tensión de paso y así determinar con precisión el punto de la fuga a tierra.

3.1 Prelocalización de las averías en cables y en cubiertas de los cables.

Se utiliza un puente de medición integrado que permite la localización previa con máxima precisión de las averías de las cubiertas de los cables de M.T. y faltas a tierra del aislamiento plástico (incluso de alta impedancia) en cables de baja tensión no apantallados. En el diseño del puente de medición integrado los fabricantes han prestado especial consideración a: poder localizar averías de alta impedancia que la posición de las averías puede leerse directamente en metros y/o en porcentaje de la longitud total del cable y a que en cables con tramos de diverso material o sección que pueda medirse también la posición de la avería.

Frente al método de caída de tensión, la medida del puente ofrece la ventaja de una mayor exactitud de la medición y menor peso, como analizaremos después con más detalle en este artículo.

3.2 Localización final sobre el terreno de las averías en los cables y en las cubiertas de los cables

La localización final de las fugas a tierra en los cables y las cubiertas de los cables, se basa en el principio del método de tensión de paso. Para ello se aplica una tensión a impulsos periódica al cable o en la cubierta del cable según se indica más abajo.

La tensión a impulsos de baja energía puede ajustarse normalmente desde 0 hasta 10 KV.

Con un equipo de medición de tensión de paso (galvanómetro de cero digital u analógico de muy alta impedancia de entrada) y unas picas de suelo, pueden localizarse los puntos exactos sobre el terreno donde están los daños de la cubierta del cable captando el gradiente de tensión que se origina en el terreno.

Para la identificación segura de las averías en cables o de las fugas de las cubiertas, pueden utilizarse distintos modos de impulso a cadencias.

Se muestra a continuación un ejemplo de una cadencia de impulsos.

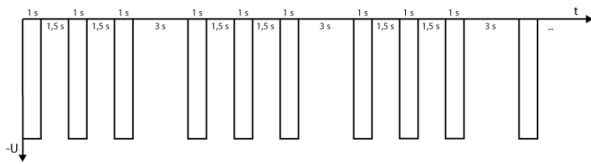


Fig. 2: Cadencia de impulsos para la localización exacta sobre el terreno de las fugas en caso de cables no entubados

4. Diseño de los Equipos utilizados

Una ventaja esencial de estos equipos radica en la posibilidad de su transporte al campo, especialmente para aplicaciones tipo instalaciones eólicas, dentro de la ciudad y en urbanizaciones; utilizando para ello en su diseño estructuras compactas y materiales ligeros así como alimentación integrada por acumulador. Gracias a la protección completa contra el agua, estos equipos pueden utilizarse sin problemas incluso con mal tiempo. Una pantalla gráfica con representación por menús simbólicos de todas las funciones de control permite un manejo sencillo y confortable. Los resultados del ensayo y la prelocalización de las averías pueden guardarse y memorizarse fácilmente en un lápiz USB para confección de los informes de los ensayos. Construidos según las normativas de seguridad VDE DIN 0104, EN 50191 y marcado CE y provistos de bloqueo de conexión para alta tensión e interruptor de desconexión de emergencia

4.1 Modos de funcionamiento

- Ensayo CC hasta 10 KV
- Prelocalización de fugas según Murray y Glaser
- Localización final de averías por tensión de paso en cables no entubados.

5. Principio de medición y precisión de la medida

Todos los métodos de medida en puente para la localización de averías en cables que trabajan con corriente continua se basan fundamentalmente en el principio del puente de Wheatstone modificado.

5.1 Principio del puente de Wheatstone

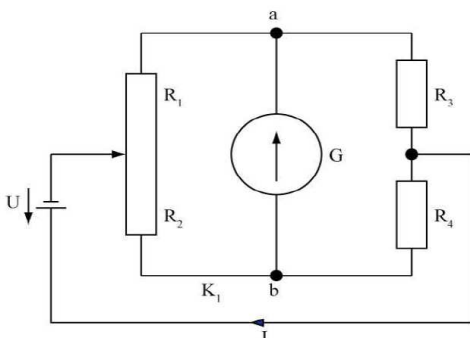


Fig. 3: Principio del puente de Wheatstone

El puente está equilibrado cuando los puntos a y b (Fig.3) están al mismo potencial. El galvanómetro indica cero en este caso. Los puntos a y b están al mismo potencial cuando se cumple la siguiente condición:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4} \text{ o } R_4 = \frac{R_2}{R_1} * R_3$$

Si R_4 es la resistencia buscada R_x , puede determinarse R_x :

$$R_x = \frac{R_2 * R_3}{R_1}$$

Para la medida en puente según Murray, el bucle del cable R_s esta formado en la Fig.4 por las resistencias R_3 y R_4 .

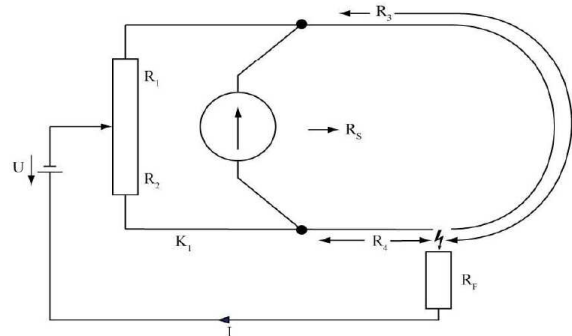


Fig. 4: Principio del puente de hilo, según Murray

La precisión de medición del puente depende de los siguientes factores:

- la corriente del puente, I
- la resistencia R_s del bucle del cable
- la disipación de potencia de la resistencia interna del galvanómetro y las resistencias de medida del puente
- la sensibilidad del galvanómetro
- la resolución del potenciómetro de equilibrado

La precisión de medición del puente de medición puede calcularse según la siguiente ecuación, cuando la resistencia de la avería del cable es mucho mayor que las resistencias de puente:

$$Error[\%] = \frac{I_g}{I} * \left(\frac{R_g}{R_s} + \frac{R_g}{R} + 1 \right) * 100 + 0,15$$

Significado:

I_g Corriente de galvanómetro

R_g Resistencia interna del galvanómetro (20 K Ω)

I Corriente del puente = U/R_f (ver Fig. 4)

R Resistencia del potenciómetro de medición (100 Ω)

R_s Resistencia del bucle de cable

0,15 Error % linealidad del potenciómetro de medición

El error de medición de estos equipos está representado gráficamente en la Fig.7, en función de R_s e I . Según dicha tabla de errores, se alcanza para $I = 100 \mu A$, un error de 0,5 %.

Ejemplo

$$R_s = 100\Omega$$

$$I = 100\mu A = \frac{U}{R_f} = \frac{6V}{60K\Omega} = \frac{6KV}{60M\Omega}$$

5.2 Medida en puente según Glaser

Se usan dos conductores auxiliares y sección constante. La medida en puente según Glaser se emplea tanto para la localización de averías en las cubiertas de plástico defectuosas, como también en cables de baja tensión sin blindaje.

La distancia a la avería puede determinarse en función de la longitud total del cable.

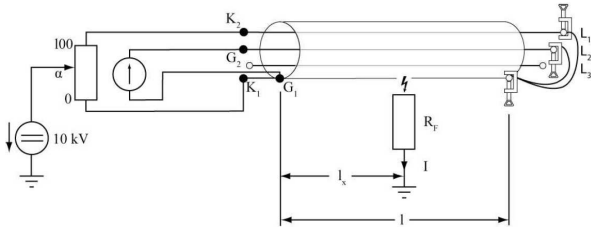


Fig. 5: Principio del puente de Glaser

Distancia entre el principio del cable y la avería:

$$l_x = \frac{\alpha}{100} * l$$

La posición de las averías puede leerse directamente en metros y en porcentaje de la longitud total del cable.

Las pinzas de conexión no son un contacto de transición ideal, por lo que conviene embornar siempre G1 y G2 (contactos de potencial) antes de los bornes de corriente K1 y K2 (principio de conexión Kelvin).

Esto es especialmente importante en los cables con secciones pequeñas del conductor. En la Fig.6 pueden consultarse las resistencias para distintas secciones y longitudes.

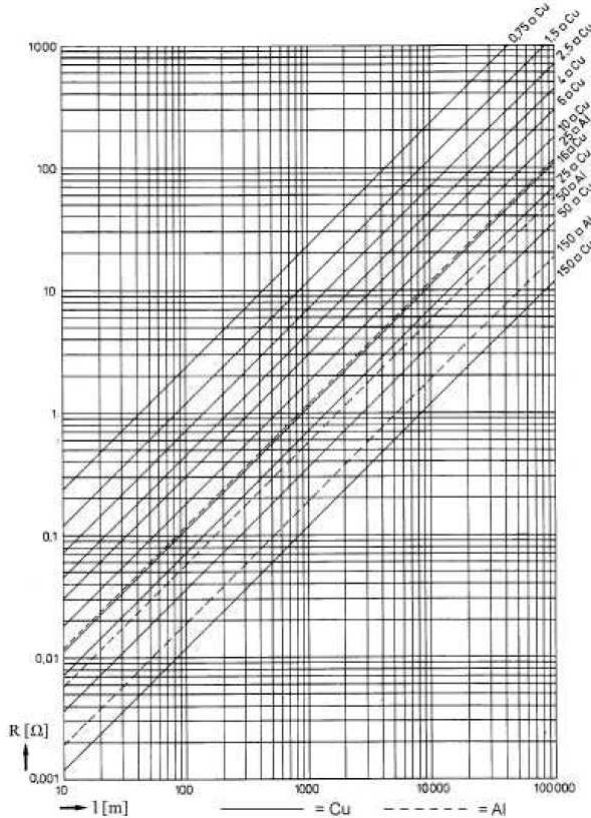


Fig. 6: Tabla de resistencias según la longitud del bucle de medida, material y sección del conductor

5.3 Errores de medición

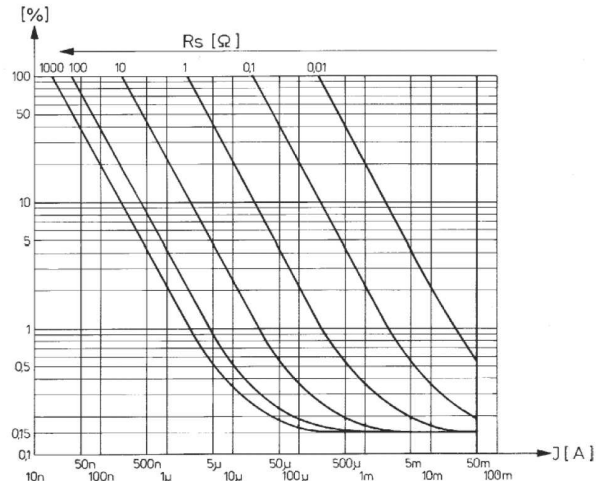


Fig. 7: Curvas de error de medida en función de la resistencia del bucle de medida y de la corriente de medida.

Debe tenerse además en cuenta las resistencias de contacto de las mordazas con valores a veces altos, las corrientes continuas vagabundas del terreno, que deben filtrarse y/o compensarse, las secciones de los conductores no constantes y las inducciones parásitas de las líneas de potencia próximas, que pueden influir en la precisión de la posición de la avería. Los equipos permiten estos ajustes y también los de la limitación de corriente y de tensión. En general, debe buscarse la tensión correcta de alimentación al puente de modo que fluya la corriente necesaria y adecuada para lograr una elevada precisión. Para el caso de que sólo se alcance una corriente de fuga muy pequeña, de la Fig.7 puede conocerse la precisión de la medición mediante interpolación lineal.

5.4 Comparación entre el método de caída de tensión y la medida por puente

Escogemos como ejemplo un cable de aislamiento plástico tipo N2XSY con pantalla de cobre de sección de 25 mm² y que tiene un defecto de aislamiento de la cubierta exterior del cable al 50 % de su longitud. La longitud total es en este ejemplo 1000 m.

• Medición con método de caída de tensión

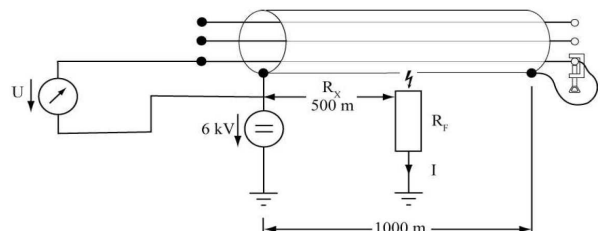


Fig. 8: Ejemplo de calculo para una medida por caída de tensión.

$$R_x = \frac{500m * \rho_{cu}}{25mm^2} = \frac{500 * 0,0175}{25} \Omega = 0,35\Omega$$

Para la medición de U se emplea un instrumento de medición de bobina móvil de 60 mV de clase 1,5. Para alcanzar una desviación de la aguja del 50 %, se requiere una corriente de medición de

$$\frac{30mV}{0,35\Omega} = 86mA$$

Con una tensión de alimentación de máx. 6 KV, la resistencia de falta R_f no debe ser superior a los 69,76 K Ω . El error de medición puede ser en este caso, p. ej., del 3 %:

$$\pm 0,015 * 60mV = \pm 0,9mV = 3\%$$

La fuente de tensión debe aportar una potencia de 516W

- Medición con puente de medida:

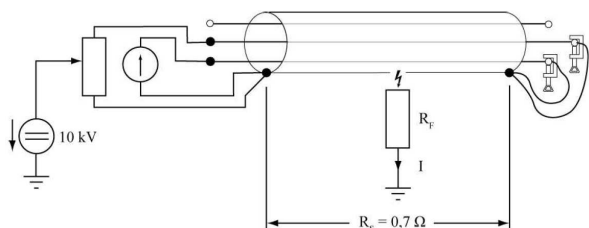


Fig. 9: Ejemplo de calculo para una medida por puente según Glaser

Para una seguridad de medición del 1 %, puede tomarse de la Fig. 7 para $R_s = 0,7 \Omega$ una corriente de medición mínima de $I = 500 \mu A$.

La resistencia de falta puede ser de máx. 12 M Ω .

La energía necesaria de la fuente de tensión asciende en este caso solamente a 3 W.

5.5 Cables de baja tensión no apantallados con sección elevada

Aún más evidente es la ventaja del principio de medida por puente en la localización de fugas a tierra en cables de baja tensión no apantallados con elevada sección, cosa habitual en distribución.

La cubierta del cable en las figuras 8 y 9 se sustituye en este caso por un conductor individual defectuoso de cobre con una sección de 150 mm².

$$R_s = \frac{1000m * 0,0175 * mm^2}{150mm^2 * m} \Omega = 0,117\Omega$$

$$R_x = 0,0583\Omega$$

- Medición con el método de caída de tensión:

Para el método de caída de tensión, se requiere para una caída de tensión de 30mV una corriente de medición de $I=0,515A$. Con 6kV, R_f es máx.=11,6 K Ω .

La fuente de tensión debe aportar una energía de $6000V * 0,515A = 3kVA$

- Medición con puente de medición:

Para una precisión de medición del 1 %, puede tomarse para $R_s=0,117\Omega$ una corriente de medición mínima de $I=2 mA$.

La resistencia de falta puede ser de máx. 3 M Ω . La energía necesaria de la fuente de tensión asciende a solamente a 12 W.



Fig. 10: Ejemplo de cable con defecto en la cubierta

6. Conclusiones

La utilización cada vez más creciente de cables entubados dificulta la localización con otros métodos hasta el presente utilizados por lo que el método del puente de Murray y el de Glaser son los únicos sistemas capaces de localizar los puntos de la fuga en estas condiciones.

No es conveniente utilizar tensión de choque, tal como se utiliza en la localización de averías del aislamiento principal de los cables, debido al hecho de que la gran energía de estos impulsos puede dañar gravemente la integridad de estas cubiertas protectoras de PVC o poliolefinas.

Sería deseable que los cables de M.T. empleados en distribución fueran suministrados en el futuro con cubierta exterior semiconductor. Esto sin duda alguna evitará falsos diagnósticos en los ensayos de los cables entubados cuando los poros están en la parte superior del cable y/o dentro de los tubos protectores secos aislantes. Asimismo facilitaría la localización posterior utilizando los métodos de gradiente de potencial.

Estos métodos son muy útiles también para la detección de fugas en cables de transporte de 132, 220 y 400 KV con cubierta exterior grafitada.

La empresa BAUR ha desarrollado recientemente un equipo portátil alimentado por red y batería que permite llevar a cabo el ensayo de las cubiertas según las normativas vigentes en España y asimismo localizar los puntos de fuga, este equipo se denomina SHIRLA.



Fig. 11: Equipo SHIRLA

Autor

Jose Luis Ferreres (Ingeniero Industrial)
Gerente de MARTIN BAUR, S.A.
c/Torrent d'En Negre 1, 08970 Sant Joan Despí (Bcn)
Telf.: +34 932046815
e-mail: martinbaur@martinbaur.es
www.martinbaur.es