

**B2-Líneas aéreas**

**EVALUACIÓN DEL ESTADO DE AISLADORES COMPUESTOS RETIRADOS DE SERVICIO – EXPERIENCIAS TENDIENTES A DETERMINAR LA EXPECTATIVA DE VIDA RESIDUAL**

**P. MORCELLE\***  
**IITREE-LAT**  
**FI-UNLP**  
**Argentina**

**L. CATALANO**  
**IITREE-LAT**  
**FI-UNLP**  
**Argentina**

**E. CALO**  
**IITREE-LAT**  
**FI-UNLP**  
**E. CALO**

**R. E. ÁLVAREZ**  
**IITREE-LAT**  
**FI-UNLP**  
**Argentina**

**H. MAYORA**  
**IITREE-LAT**  
**FI-UNLP**  
**Argentina**

***Resumen** – Este trabajo describe experiencias realizadas sobre diferentes modelos de aisladores compuestos retirados de servicio, con 12 a 20 años de uso. Dichas experiencias están orientadas a determinar la expectativa de vida residual de los mencionados aisladores.*

*Las experiencias, realizadas se basaron en las recomendaciones del Reporte Técnico 481 de CIGRE, de diciembre de 2011. El objetivo del trabajo es ampliar el espectro de posibilidades y variantes de los programas de ensayo desarrollados en el reporte mencionado, además de contribuir a una mejor evaluación del estado de los aisladores a partir de los resultados obtenidos.*

***Palabras clave:** Aisladores poliméricos - Vida residual – Contaminación – Hidrofobicidad – Corriente de fuga – ESDD – NSDD*

## **1 INTRODUCCIÓN**

En los últimos años el uso de los aisladores del tipo poliméricos se ha extendido, especialmente en líneas de alta tensión. Existen diversas normativas internacionales, especialmente IEC, que establecen los criterios de aceptación para los ensayos de tipo y rutina que se realizan en las fábricas y laboratorios especializados. No obstante, no se disponen de referencias internacionales que brinden herramientas e indicadores que ayuden a determinar el estado del aislador polimérico, especialmente el referido a la condición funcional y del estado de su aislamiento.

En determinados casos se han registrado eventos de falla en los que han estado involucrados los aisladores poliméricos. De una simple inspección visual, muchas veces se ha anticipado que los aisladores fueron los causales de las fallas. Sin embargo, independientemente del aspecto visual del aislador, en algunos de estos casos se ha podido comprobar que los aisladores se encontraban en adecuadas condiciones como para permanecer en servicio, y que sus características eléctricas eran apropiadas.

En el presente trabajo, se presentan diversos casos de estudio que se realizaron en el Laboratorio de Alta tensión del IITREE. Dichos casos estuvieron orientados a comparar las características de diferentes tipos de aisladores poliméricos, con el fin de obtener criterios de evaluación que brinden una herramienta para la toma de decisiones. En los casos presentados se informaron fallas de uno o varios aisladores que estaban en condiciones de servicio.

Se seleccionaron y extrajeron otros aisladores en zonas cercanas a los puntos de falla, y sobre ellos se realizaron pruebas y análisis comparativos como para aportar elementos en la toma de decisiones.

La evaluación del estado de los aisladores se realizó mediante la comparación de especímenes retirados del servicio respecto de otros elementos nuevos de los mismos modelos.

Se realizaron diversos ensayos y observaciones, los cuales se efectuaron en una secuencia predeterminada, con el objeto de preservar las condiciones de la superficie de los aisladores, dada la reducida cantidad de especímenes disponibles de cada modelo.

Las actividades realizadas son las que se indican a continuación y que fueron ejecutadas en la secuencia siguiente:

- 1) *Inspección visual de los elementos retirados de servicio, con el objeto de verificar la existencia de daños, deterioros o alteraciones detectables a simple vista.*
- 2) *Determinación de la clase de hidrofobicidad de todos los aisladores, con el fin de determinar el grado de pérdida de hidrorrepelencia por comparación de los resultados obtenidos en los elementos retirados de servicio y en los elementos nuevos.*
- 3) *Medición de la corriente de fuga en seco y con humedad en todos los aisladores, para así evaluar la influencia de la condensación de humedad en el comportamiento combinado con la contaminación depositada.*
- 4) *Determinación de la densidad del depósito equivalente de sal (ESDD) y de la densidad del depósito no soluble (NSDD), con el objeto de obtener la severidad de la contaminación del sitio de instalación (SPS).*

Los ensayos y observaciones se efectuaron en base al Reporte Técnico CIGRE 481 [1], las Especificaciones Técnicas IEC 62073:2016 [2] e IEC 60815:2008 [3] y la Guía 5 de STRI [4].

En el caso particular de la medición de la corriente de fuga, las pruebas se realizaron utilizando una metodología desarrollada a tal efecto, tanto desde el punto de vista del procedimiento, como de los valores de las tensiones aplicadas, de manera de representar lo más fielmente posible las condiciones de servicio.

La condición de humedad se obtuvo mediante el rociado con agua desmineralizada para simular la condensación.

## 2 ELEMENTOS ENSAYADOS

Los aisladores considerados para este trabajo fueron retirados de líneas aéreas de 132 kV. Los mismos se encontraban bajo distintas condiciones de contaminación y con una edad de entre 8 y 17 años. Se probaron aisladores del tipo suspensión y del tipo line-post de tres fabricantes distintos.

En la Tabla I se presenta un resumen de las características de los elementos ensayados. En la Fig. 1 se muestran algunos de los aisladores.

TABLA I. ELEMENTOS ENSAYADOS

Tipo	Cantidad de unidades	Fabricante	Antigüedad en servicio	Retirado de
Suspensión	2	A	12 años	Playa de subestación Zona urbana/industrial
	3	B	8 años	Línea aérea Zona industrial siderúrgica
Line Post	4	A	17 años	Línea aérea Zona urbana/industrial
	1	C	16 años	



Fig. 1. Algunos de los aisladores ensayados

### 3 PRUEBAS REALIZADAS

#### 3.1 Inspección visual

Dada la naturaleza de este tipo de aisladores, resulta esperable que luego de cierto tiempo de uso los mismos presenten algún tipo de deterioro; esto incluye las posibles alteraciones debidas a la ocurrencia de fallas. La inspección visual tuvo como objetivo verificar el estado de cada aislador retirado de servicio, clasificando los defectos y/o deterioros encontrados. En forma complementaria, se realizó la medición de la línea de fuga y de la distancia de arco de cada aislador, así como la determinación de la cantidad de aletas y sus dimensiones.

El procedimiento utilizado consistió en la observación detallada de cada aislador y la identificación de los diferentes tipos de daños o alteraciones en cada elemento en base a las referencias [1] y [4].

#### 3.2 Hidrofobicidad (HC)

Una de las principales características que definen el comportamiento de los aisladores compuestos es la hidrofobicidad (hidrorrepelencia) de su superficie. Esta característica puede cambiar con el tiempo debido a la exposición al medioambiente, principalmente como consecuencia de la radiación ultravioleta del sol, y también debido a las descargas de tipo corona. La pérdida de hidrofobicidad puede dar origen a la formación de grandes acumulaciones de agua que permitan la formación de caminos conductivos en la superficie del aislador; propiciando de esta manera la aparición de descargas que lleven al contorneo del aislador.

De acuerdo a IEC [2] la hidrofobicidad se clasifica en clases que van de HC1 a HC7. En esta clasificación, HC1 corresponde a una superficie completamente hidrofóbica, en la cual se forman pequeñas gotas separadas; mientras que HC7 corresponde a una superficie completamente hidrofílica, donde se forma una capa uniforme de agua que moja toda la superficie. Las clases intermedias corresponden a situaciones que se identifican de acuerdo a las fotos de la figura Fig. D.1 de [2].

Las determinaciones se realizaron sobre ambas caras de las aletas y el cuerpo de las zonas próximas a los extremos de cada aislador y también en la zona media de la longitud de aislador. A los fines de las pruebas, y para no alterar el estado de la contaminación de las superficies de los aisladores retirados de servicio, se rociaron las mismas con agua desmineralizada mediante un pulverizador adecuado.

#### 3.3 Corriente de fuga

##### 3.3.1 Aisladores de suspensión

Los aisladores de suspensión se instalaron en el extremo de una ménsula y se simuló el conductor mediante un caño de aluminio de 25 mm de diámetro ubicado en posición horizontal y perpendicular a la ménsula. Se intercaló un aislador adicional para lograr que la corriente pase por un resistor derivador y así poder efectuar la medición de la corriente de fuga. La Fig.2 muestra el esquema del circuito de medición y la Fig. 3 muestra una vista general del montaje de uno de los aisladores de suspensión.

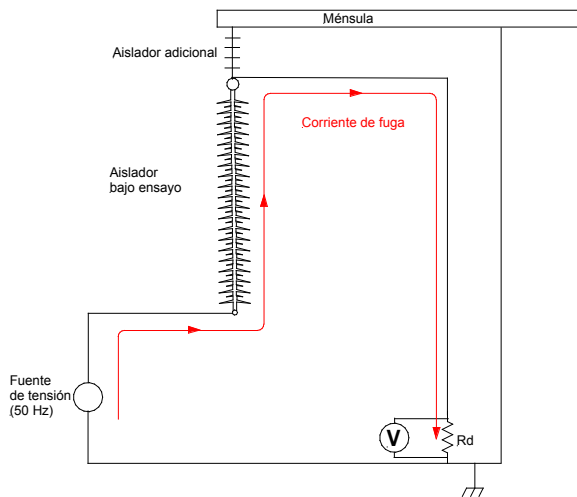


Fig. 2. Esquema de conexión aislador de suspensión



Fig. 3. Detalle del montaje

### 3.3.2 Aisladores tipo line post

Los aisladores tipo line post se montaron sobre una columna constituida por tubo plástico de 200 mm de diámetro. El tubo plástico se revistió con film de aluminio con el objeto de conformar una superficie equipotencial. A su vez el tubo se apoyó sobre un aislador de porcelana con el objeto de aislarlo de tierra e intercalar un resistor derivador para realizar las mediciones de la corriente de fuga. Finalmente, se simuló el conductor de la línea mediante un caño de aluminio de 25 mm de diámetro que se suspendió del extremo del aislador con morsetería adecuada, en caso necesario. El conductor fue ubicado en posición horizontal y perpendicular al aislador. La Fig.4 muestra el esquema del circuito de medición y la Fig. 5 muestra una vista general del montaje de uno de los aisladores tipo line post ensayados.

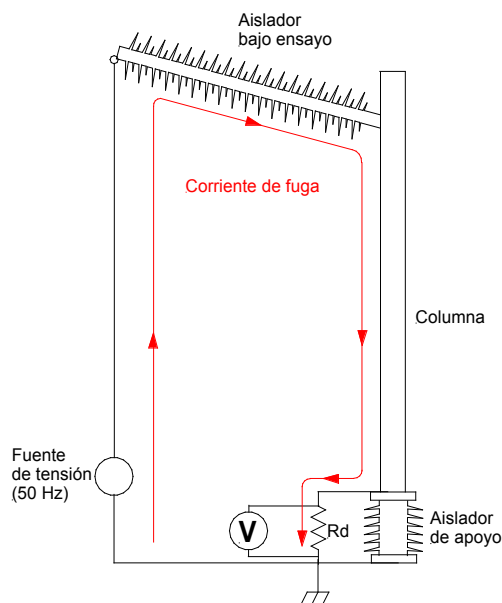


Fig. 4. Esquema de conexión aislador line-post



Fig. 5. Detalle del montaje

Para la medición de la corriente de fuga se aplicó tensión de frecuencia industrial (50 Hz). La medición de la corriente de fuga se realizó con un instrumento de valor eficaz verdadero, empleando una caja de protecciones y una resistencia derivadora de valor adecuado.

Las mediciones se realizaron para las condiciones secas y húmedas de las superficies de los aisladores. La condición de humedad se obtuvo rociando los aisladores con agua desmineralizada para simular la condensación de humedad en la superficie.

Las tensiones de medición fueron 76 kV y 84 kV, correspondientes a  $U_n/\sqrt{3}$  y  $1,1 U_n/\sqrt{3}$ , respectivamente, con  $U_n = 132$  kV.

### 3.4 ESDD y NSDD

La determinación de la ESDD y de la NSDD permite evaluar la severidad de la contaminación del lugar de instalación de los aisladores SPS (Site Pollution Severity). Para la medición de las ESDD y NSDD se siguió el procedimiento indicado en el Anexo C de la especificación técnica [4].

La prueba consistió en la extracción del material depositado en las superficies superior e inferior de las aletas y del cuerpo próximo a tierra y a alta tensión de cada aislador en forma individual. Este criterio se estableció con el objeto de obtener información de las zonas más representativas de los aisladores ensayados.

La SPS se obtiene a partir del gráfico de la Figura 2 de [4], correspondiente a aisladores de barra larga y a contaminación tipo A. De acuerdo a lo indicado en la subcláusula 7.1 de [4], la contaminación tipo A está asociada a áreas industriales, desérticas o ubicadas en zonas apartadas de la costa.

Las Fig. 6 a 9 muestran algunas operaciones de extracción del material depositado sobre los aisladores. Las Fig. 10 y 11 muestran el secado en estufa del material extraído de la superficie de los aisladores y su pesada para la determinación de la NSDD.



Fig. 6. Extracción del material de uno de los aisladores de suspensión



Fig. 7. Enjuague del lienzo luego de la extracción del material

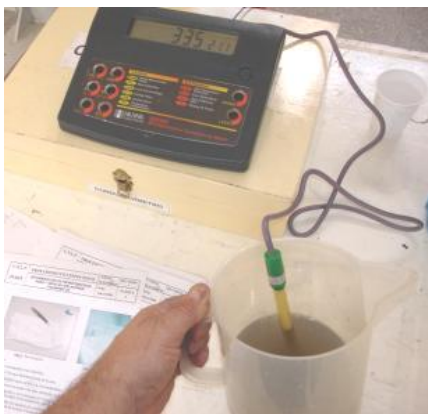


Fig. 8. Medición de la conductividad de la solución de material extraído



Fig. 9. Filtrado de la solución



Fig. 10. Secado del material extraído para la determinación de la NSDD



Fig. 11. Pesada de una muestra de material extraído para determinación de la NSDD

La clasificación de la SPS se realiza de forma cualitativa y corresponde, de acuerdo a la Figura 2 de [5]:

- a - Muy leve*
- b - Leve*
- c - Mediana*
- d - Alta*
- e - Muy alta*

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Inspección visual

Todos los aisladores retirados de servicio presentaron diferencias de color respecto de los correspondientes modelos nuevos. En todos los casos se observó que estas diferencias de color se debían principalmente al depósito de agentes contaminantes en la superficie y a la acción de la radiación ultravioleta del sol en algunos casos (Fig. 12). Se observó que en las zonas inferiores de algunos aisladores según su posición normal de montaje en servicio, el agente contaminante principal estaba constituido por material biológico (algas, hongos).

La mayor concentración de este tipo de organismos se encontró en las caras inferiores de los aisladores tipo line post debido, probablemente, al escurrimiento de la humedad y a la oscuridad de dicha zona, en la mencionada posición en servicio (Fig. 13).

En todos los elementos retirados de servicio se observó, en proximidades de los extremos de alta tensión, que la contaminación tomó una coloración más oscura. Este aspecto probablemente sea debido a la carbonización de la contaminación por efecto de las descargas de tipo corona. Algunos de los aisladores presentaron una fragilidad muy pronunciada del material de las aletas, tornando al material quebradizo al simple contacto con la mano.



Fig. 12. Cambio de coloración



Fig. 13. Material biológico en la zona inferior de un aislador line-post.

## 4.2 Hidrofobicidad

En la Tabla II se presenta un resumen de los resultados de la determinación de la hidrofobicidad.

TABLA II. RESULTADOS DE LA MEDICIÓN DE LA HIDROFOBICIDAD

Tipo	Fabricante	Antigüedad en servicio	Hidrofobicidad
Suspensión	A	12 años	1-2
	B	8 años	1-2
Line Post	A	17 años	6-7
	C	16 años	6-7

No se observaron grandes alteraciones de la clase de hidrofobicidad de los aisladores retirados de servicio respecto de los nuevos (Fig. 14), excepto en las zonas donde se encontró material biológico depositado.

Esto se observó en mayor medida en los aisladores tipo line post donde la HC se alteraba drásticamente en las zonas con contaminación biológica (Fig. 15), tomando valores de HC6 o HC7, respecto de los HC1 y HC2 originales.



Fig. 14. Evaluación de la HC (HC 1 / 2)



Fig. 15. Evaluación de la HC (HC 6 / 7)

## 4.3 Corriente de fuga

En ningún caso se registraron diferencias significativas en las corrientes de los correspondientes aisladores, tanto en la condición seco como húmedo, para los dos valores de tensión aplicados.

Esto indicaría que la contaminación depositada no afectaría de manera preocupante el desempeño los aisladores por efecto de la humedad.

## 4.4 ESDD y NSDD

Se puede considerar que los aisladores retirados de servicio presentaban contaminación uniformemente distribuida a lo largo del aislador, dado que para un mismo elemento correspondió la misma clasificación SPS, tanto del lado de tierra como del lado de alta tensión.

En general, los valores de las NSDD medidos resultaron relativamente bajos, teniendo en cuenta valores citados por algunos trabajos de investigación [7].

## 5 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

En general, a partir de la comparación realizada entre los elementos retirados del servicio y los nuevos no se observaron mecanismos de degradación, ni mucho menos de que se hubiere alcanzado el final de su vida útil.

En las pruebas realizadas a en los casos de estudio, sólo se consideró oportuno el retiro de aquellos donde el material de silicona se observó profundamente degradado (quebradizo y debilitado).

A partir de lo expuesto, se formulan los siguientes planteos:

- I. Los aisladores ensayados se encontraban en buenas condiciones dieléctricas y las fallas que se registraron en las líneas donde estaban instalados, no tenían relación con el estado de los mismos.
- II. Otro de los posibles escenarios sería asumir que los aisladores ensayados se encuentran en mal estado y ninguna de las pruebas realizadas fue capaz de evaluarlo correctamente.
- III. El tercer escenario sería que los aisladores ensayados que fueron seleccionados para las pruebas, no fueran representativos (en cantidad, por ejemplo) del conjunto de aisladores involucrados en las fallas.

## 6 CONCLUSIONES

Aunque la metodología implementada en la investigación no fue capaz de identificar las causas de las fallas presentadas por los usuarios se pudo demostrar que los aisladores retirados de servicio no evidenciaban el final de su vida útil. No obstante, debe destacarse que la cantidad de aisladores ensayados no permitió confirmar el estado del universo completo de elementos de cada clase.

En función de los resultados obtenidos, resultaría adecuado realizar un seguimiento de los aisladores remanentes en las líneas, estableciendo un plan periódico de evaluación.

Como último comentario cabe resaltar que el procedimiento descrito en este trabajo se concentró en la evaluación del recubrimiento exterior de los aisladores.

Para la evaluación del núcleo y los herrajes serían necesarias pruebas adicionales, como por ejemplo ensayos de tracción/flexión según el tipo de modelo.

## 7 REFERENCIAS

- [1] TB CIGRE 481 “*Guide for the Assessment of Composite Insulators in the Laboratory after their Removal from Service*”, 2011.
- [2] IEC TS 62073:2016 “*Guidance on the measurement of hydrophobicity of insulator surfaces*”
- [4] IEC TS 60815:2008 “*Selection and dimensioning of high-voltage insulators intended for use in polluted conditions - Part 1: Definitions, information and general principles*”
- [5] Guía 5 de STRI “*Guide for Visual Identification of Deterioration & Damages on Suspension Composite Insulators*”, 2003.
- [6] IEC 60060-1:2010 “*High-voltage test techniques - Part 1: General definitions and test requirements*”
- [7] Sri Sundhar. “*Influence of non-soluble contaminants on flashover performance of artificially contaminated polymer insulators*”. Conference on Electrical insulation and Dielectric Phenomena, 1994. IEEE 1994 Annual Report. Pags. 657-662.