

EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA CONTAMINACIÓN SOBRE AISLADORES POLIMÉRICOS RETIRADOS DE SERVICIO.

P. MORCELLE del VALLE*
IITREE-LAT, Facultad de
Ingeniería, Universidad
Nacional de La Plata
Argentina

M. DEORSOLA
IITREE-LAT, Facultad de
Ingeniería, Universidad
Nacional de La Plata
Argentina

M. D. del POZO
IITREE-LAT, Facultad de
Ingeniería, Universidad
Nacional de La Plata
Argentina

Resumen – Se presentan resultados de la evaluación de los efectos de la contaminación en aisladores poliméricos como consecuencia de la exposición a agentes ambientales. Dichos efectos se pusieron de manifiesto mediante el estudio y medición de parámetros característicos como son la hidrofobicidad, densidad de depósito equivalente de sal y densidad de depósito no soluble.

El estudio se basa en experiencias realizadas en aisladores poliméricos con envoltura de goma de silicona (SiR) retirados de servicio.

Particularmente interesó conocer el comportamiento del material de la envoltura frente a las sollicitaciones ambientales en condiciones de servicio (radiación UV, clima de la zona de instalación, contaminación presente en la zona, tiempo de instalación en el servicio, etc.).

Se prestó especial atención a la característica de recuperación y transferencia de la hidrofobicidad.

Se realizan algunas interpretaciones en base al análisis de los resultados de las correlaciones de los parámetros mencionados, y comentarios acerca de la recuperación y transferencia de la hidrofobicidad en los elementos estudiados.

Palabras clave: Aisladores poliméricos – Contaminación - Desempeño de las aislaciones – Hidrofobicidad – Mojabilidad – ESDD – NSDD - Confiabilidad del servicio - Mantenimiento.

1 INTRODUCCIÓN

Es sabido que la contaminación afecta el desempeño de los aisladores para uso exterior, sean estos de tipo cerámico o poliméricos.

Para los cerámicos hay vasta experiencia y conocimiento en su capacidad de utilización, sustentada por normas y procedimientos de ensayos para la verificación de su desempeño.

En el caso de los aisladores poliméricos, y como consecuencia de experiencias negativas obtenidas luego de decidir su instalación, varias empresas distribuidoras y transportistas de energía eléctrica de Argentina consultaron al IITREE respecto a la posibilidad de verificar la adecuada elección de este tipo de aisladores. Uno de los argumentos esgrimido referido a dichas “experiencias negativas”, fue que en líneas donde se decidió el cambio de cadenas de porcelana por cadenas poliméricas se observó un aumento de la tasa de falla como consecuencia de contorneos.

La ausencia de información o normativa que permitiera evaluar el comportamiento de los aisladores poliméricos ante condiciones ambientales reales, determinó por parte del IITREE el desarrollo de un procedimiento de ensayo para elementos retirados de servicio [1], el cual fue utilizado en el transcurso de tres años, involucrando a alrededor de 30 aisladores retirados de servicio.

La antigüedad en servicio de dichos aisladores resultó comprendida entre 6 y 8 años. Las tensiones de servicio correspondieron a 132 kV; 220 kV y 500 kV. Los mismos fueron retirados de instalaciones ubicadas en diferentes regiones de la República Argentina.

Aprovechando la variada disposición de aisladores poliméricos ensayados, se elaboró el presente trabajo en el que se presentan las mediciones y análisis realizados para evaluar los efectos de la contaminación como consecuencia de la exposición de tales aisladores a agentes ambientales reales.

El estudio tiene en cuenta los parámetros característicos de hidrofobicidad, densidad de depósito equivalente de sal y densidad de depósito no soluble, como indicadores del comportamiento del material de la envoltura frente a las sollicitaciones ambientales en condiciones de servicio

Finalmente, se establecen correlaciones entre las determinaciones de hidrofobicidad con las correspondientes de densidad de depósito equivalente de sal y de densidad de depósito no soluble

Además, y con especial atención en la información de las mediciones de hidrofobicidad, se analiza la característica de recuperación de dicho parámetro en los aisladores estudiados, aportando comentarios e interpretaciones sobre el particular que verifican coincidencias con otras publicaciones internacionales.

2 PARÁMETROS CARACTERISTICOS

Con el objeto de facilitar la lectura del presente trabajo, a continuación se efectúa una síntesis de los métodos para la determinación de hidrofobicidad (HC), densidad de depósito equivalente de sal (ESDD) y densidad de depósito no soluble (NSDD), parámetros fundamentales del presente estudio.

2.1 Clasificación de la hidrofobicidad

En [2] se detalla el método utilizado para la determinación de HC.

En efecto, la hidrofobicidad del material de la envoltura es una de las características más importantes de los aisladores poliméricos. Mediante la guía [2] se puede clasificar la HC con valores de HC van desde 1 a 7, lo que se corresponde con materiales altamente hidrofóbicos e hidrofílicos, respectivamente. Esta correspondencia resulta a veces confusa en el sentido que una superficie con "alta" hidrofobicidad se obtiene con valores "bajos" de HC, y viceversa.

La norma [3], en cambio, utiliza la nomenclatura "mojabilidad" ("wettability" o WC) con correspondencia de valores numéricos justamente invertida, aunque la misma no es frecuente en las publicaciones.

Para evitar este tipo de contradicciones, en el IITREE-LAT se adoptó la denominación HC para identificar la característica de repelencia al agua (hidrofobicidad) en términos cualitativos; mientras que a fin de efectuar las determinaciones numéricas se consideró como denominación más adecuada WC (mojabilidad) para obtener coherencia desde el punto de vista cuantitativo (altos valores de WC corresponden a una superficie más "mojable" o menos "hidrofóbica", y viceversa).

El procedimiento [1] prescribe que los aisladores retirados de servicio deben ser acompañados; cuando sea posible, por al menos uno nuevo (sin uso) del mismo modelo, a los fines de poder efectuar la comparación de los valores de WC. En los casos en que no se hubiera contado con aisladores para ser tenidos como referencia, se presupuso que los mismos presentaban $WC = 1$.

Según se menciona en variada bibliografía [4], [5], [6]; es posible la recuperación de HC en las envolturas SiR, incluso se menciona la "transferencia" de HC hacia ciertos contaminantes depositados en la superficie; por lo cual resultó importante para este estudio tener en cuenta cómo afecta el valor de WC y sus variaciones al desempeño de los aisladores poliméricos.

2.2 Medición de ESDD y NSDD

El concepto y su medición se detallan en [1].

ESDD: Los resultados de las determinaciones de ESDD se comparan con el valor de NaCl por unidad de volumen de la Tabla III de [7], que determina la severidad de la contaminación presente en la superficie del aislador. Obtenido el ESDD es posible estimar, con el valor de la línea de fuga, la adecuada elección o no del aislador para el servicio eléctrico y zona donde se encuentra instalado.

NSDD: Esta determinación surge como accesoria y complementaria de la anterior. Su interrelación con el ESDD en determinadas condiciones, afecta los valores de la tensión de descarga de acuerdo a investigaciones publicadas a nivel internacional [8].

En las Fotos 1 a 4 se observan algunas de las acciones correspondientes a las determinaciones de WC, ESDD y NSDD en los aisladores evaluados.

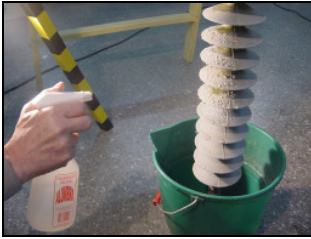


Foto 1. Pulverización del aislador para la determinación de WC



Foto 2. Visualización del grado de WC



Foto 3. Retiro de material contaminante de la superficie



Foto 4. Medición de la conductividad de la solución de contaminante

3 OBSERVACIONES Y DETERMINACIONES REALIZADAS

Este estudio comprendió a 21 aisladores del total de 30 disponibles. La primera actividad realizada sobre los mismos fue la inspección visual de la superficie de la envoltura.

Las Fotos 5 a 8 muestran algunos de los aisladores objeto del presente estudio. En las mismas se observan diferencias de color, correspondientes a los distintos tipos de contaminación presente en tales aisladores.

Se puede apreciar que, en general, la distribución de la contaminación en un mismo aislador no es uniforme; encontrándose partes de los mismos con concentraciones de contaminación importantes. Ésto depende, probablemente, del tipo de contaminación presente en la zona, posición en servicio (suspensión o retención), circulación de los vientos, exposición a la acción de sol, acción de las precipitaciones, etc.

A continuación, para cada aislador estudiado se determinó la WC, el ESDD y el NSDD. Se tuvieron en cuenta las características de la zona de instalación en servicio. Las determinaciones se efectuaron en más de un aislador para cada caso.



Foto 5. Aisladores provenientes de zona próxima a industria siderúrgica



Foto 6. Aislador proveniente de zona urbana

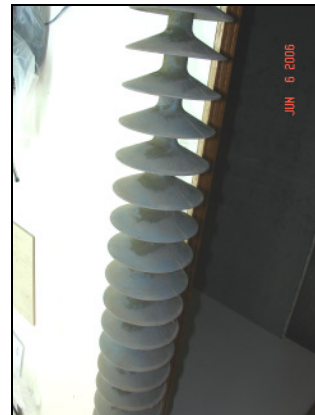


Foto 7. Aislador proveniente de zona de alta humedad



Foto 8. Aislador proveniente de zona de alta humedad

En la Tabla I se enumeran los aisladores estudiados, detallándose zona de instalación, tipo de contaminación presente, antigüedad en servicio, tensión de servicio, valores medidos de WC, ESDD y NSDD. Se hace referencia a fotografías que ilustran el grado y características de la contaminación, permitiendo relacionarlos con cada zona de instalación y con los valores de los parámetros medidos. En forma complementaria se efectúa un agrupamiento según el tipo de contaminación presente.

TABLA I.- AISLADORES ESTUDIADOS

Cantidad de aisladores estudiados	Zona de instalación (informada por el usuario)	Tipo de contaminación presente	Antigüedad en servicio [años]	Tensión de servicio [kV]	Mediciones realizadas			Fotos	Grupo
					WC	ESDD [mg/cm ²]	NSDD [mg/cm ²]		
3	Zona rural de alta humedad y grado de contaminación correspondiente a laboreos de los campos (polvareda de la siembra y cosecha, aplicación de herbicidas y pesticidas).	No detectable por inspección visual	7	132	7	0,002 a 0,005	0,165 a 0,220	-	1
2	Zona de alta humedad y lluviosa.	Algas, excrementos de aves	8	132	1 a 4	0,005	0,195	7; 8	2
2 ⁽¹⁾	Zona de alta humedad y lluviosa.	Algas	6	500	1 a 2 ⁽¹⁾ 3 a 6 ⁽²⁾	0,002	0,07	7; 8	
4 ⁽¹⁾	Zona boscosa y de alta humedad.	Algas	6	132	1 a 5 ⁽¹⁾ 7 ⁽²⁾	0,003 a 0,006	0,236 a 0,346	10	
6 ⁽¹⁾	Zona de industrias siderúrgicas.	Hierro, sílice, cal (información del usuario)	Sin información	220	1 a 3 ⁽¹⁾ 4 a 7 ⁽²⁾	0,034 a 0,040	0,331 a 0,454	5; 9; 13	3
4 ⁽¹⁾	Zona urbana, de relativa alta humedad y contaminación típica vehicular.	Hollín, algas	7	132	1 a 2 ⁽¹⁾ 3 a 7 ⁽²⁾	0,009 a 0,018	0,201 a 0,270	11; 12	4

⁽¹⁾ En estos aisladores, se observó que la contaminación no se encontraba distribuida uniformemente, Fotos 9 a 11

⁽²⁾ Valores de WC correspondientes a la zona sin contaminación del aislador

⁽³⁾ Valores de WC correspondientes a la zona donde se observó concentrada la contaminación del aislador

Dado que el comportamiento en servicio de los aisladores poliméricos depende en gran medida de los parámetros WC, ESDD y NSDD y de su combinación; el interés del presente trabajo se enfoca en la observación de la recuperación y transferencia de la hidrofobicidad y en las correlaciones WC vs. NSDD y ESDD vs. NSDD, para los aisladores estudiados.

Particularmente importante resulta la observación referida a la distribución de la contaminación, lo cual permitió verificar diferencias de la HC no sólo en un mismo aislador, sino en una misma aleta (Fotos 9 a 11).



Foto 9. Hierro, sílice, cal.
Distribución concentrada en el extremo de una mitad de las aletas



Foto 10. Algas. Distribución en la parte superior y central de las aletas



Foto 11. Hollín. Distribución en la parte superior y central de las aletas

En forma complementaria, se han realizado algunas pruebas tendientes a verificar la incidencia de la contaminación sobre los valores de WC presentes en la superficie de los aisladores en estudio. Dichas pruebas consistieron en el retiro de la contaminación mediante la limpieza a fondo de los aisladores que presentaban valores de WC elevados, para realizar luego una nueva determinación de WC (Fotos 12 y 13).

Estas pruebas se realizaron en aisladores con importante acumulación de contaminación presente en su superficie. Se estudiaron los grupos 3 y 4 de la Tabla 1. En el grupo 4, las pruebas se realizaron casi inmediatamente luego de retirados de servicio. En el grupo 3, los aisladores se mantuvieron almacenados durante aproximadamente dos años antes de realizar la limpieza.

4 RESULTADOS

El primer resultado importante que se desprende del presente estudio corresponde a la distribución de la contaminación en la superficie del aislador. En las partes del mismo que permanecen “limpias”, es decir donde la contaminación parece haber ejercido menor impacto, se determinaron valores de WC próximos a los óptimos, en concordancia con los esperados en un aislador polimérico sin uso. En cambio, en las partes donde se concentra el efecto de la contaminación, los valores de WC medidos resultaron altos (más o menos próximos a la condición de hidrofilia), según el tipo de contaminación presente en la superficie del aislador (Fotos 9 a 11).

El segundo resultado de interés se refiere a las consecuencias de la limpieza realizada sobre algunos aisladores. En estos casos se determinaron valores de WC más próximos a los óptimos, evidenciando algún grado de recuperación de la HC por efecto de dicha limpieza. Las Fotos 12 y 13 muestran comparativamente las diferencias de HC de las superficies con contaminación y limpiadas.



Foto 12. Aislador contaminado con hollín y limpiado (grupo 4)



Foto 13. Aislador contaminado con hierro, sílice y cal y limpiado (grupo 3)

Por último, las correlaciones WC vs. NSDD y ESDD vs. NSDD de cada aislador estudiado se observan en las Fig. 1 y 2, respectivamente. En dichas figuras se identifican los aisladores según el tipo de contaminación presente.

Las tendencias observadas en las correlaciones son las siguientes:

Correlación WC-NSDD: En la Figura 1 se observa que a mayor NSDD, mayor WC. La variación es prácticamente lineal para cada tipo de tipo de contaminación (grupos 2; 3 y 4). Se observa además que, para el mismo NSDD, los aisladores del grupo 4 (con hollín depositado en la superficie) presentan valores más altos de WC que en los del grupo 2 (con algas) y que en los del grupo 3 (con mezcla hierro-sílice-cal). Para el caso del grupo 1, se observa el mayor valor de WC para igual NSDD (este es un resultado desconcertante, pues estos aisladores presentan contaminación no detectable).

Correlación ESDD-NSDD: El ESDD no aumenta significativamente con el NSDD en los grupos 1 y 2. La relación lineal entre el ESDD y el NSDD es más marcada para el caso de los grupos 3 y 4. En particular, para el grupo 3, el ESDD presenta valores marcadamente altos en función del NSDD; lo que significa que la conductividad de la capa superficial es alta debido al tipo de contaminación.

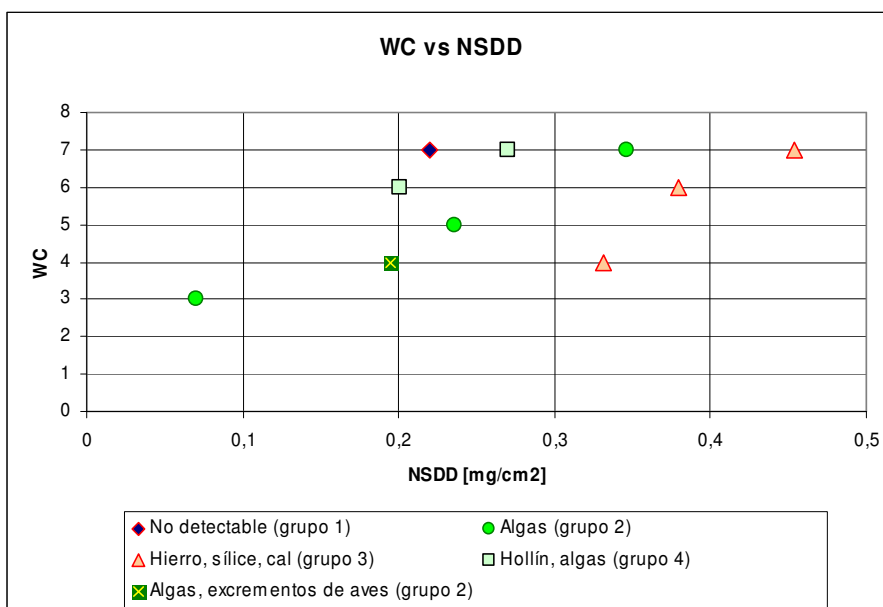


Fig. 1. Correlación WC-NSDD

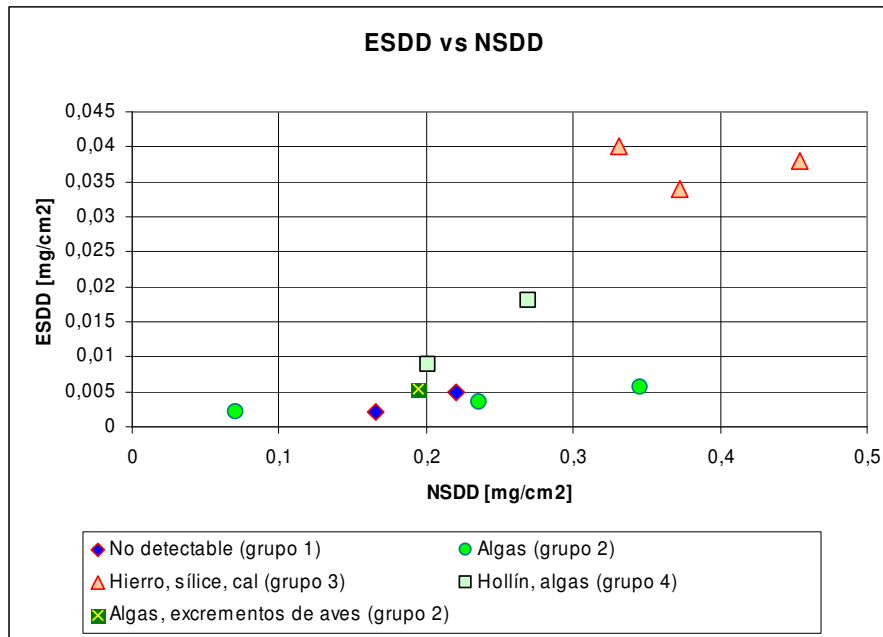


Fig. 2. Correlación ESDD-NSDD

5 CONCLUSIONES

En las partes “limpias” de los aisladores se mantuvieron características de HC próximas a las óptimas. En cambio, en las partes donde se concentra la contaminación, los valores de WC resultaron altos.

La característica de transferencia de HC no se pudo verificar en ninguno de los aisladores estudiados, al menos en las partes con fuertes signos de contaminación. Ésto se observó en todos los elementos estudiados, a pesar de tratarse de aisladores con diferentes tipos de materiales contaminantes depositados en servicio debido a las condiciones ambientales de las distintas zonas de instalación. El gráfico de la Figura 1 muestra que aún para valores relativamente bajos de NSDD (0,2 a 0,3 mg/cm²) los valores de WC detectados son altos (5 a 7).

La publicación [4] aclara que las acumulaciones severas de contaminación son un factor adverso para la transferencia de hidrofobicidad en la goma de silicona. Más aún, en el apéndice E de la guía [9] se admite que las componentes no solubles de la contaminación enmascaran las propiedades hidrofóbicas de dicho material.

En cambio, y a partir de las determinaciones de WC posteriores realizadas en las superficies de las cuales se retiró la contaminación depositada, se observó algún grado de recuperación de la característica de HC.

Del gráfico de la Figura 1 se observan, además, tendencias claramente definidas respecto de la condición de la superficie y del material contaminante, estableciéndose una relación prácticamente lineal en cada caso.

El gráfico de la Figura 2 muestra que, como es de esperar, la característica del material contaminante determina el comportamiento desde el punto de vista eléctrico en función de las condiciones de la superficie.

Lejos de considerar como contundentes estos resultados, se siguen realizando pruebas en aisladores retirados de servicio con el objeto de confirmar o no las tendencias halladas.

6 CITAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] M. del Pozo, P. Morcelle del Valle, M. Deorsola, “Procedimiento de laboratorio para comprobar el estado de aisladores orgánicos retirados de servicio en comparación con aisladores nuevos”, in *CIDEL Congreso Internacional de Distribución Eléctrica*, Argentina, Nov. 2006.
- [2] STRI Guide 92/1, *Hydrophobicity Classification Guide*.
- [3] IEC TS 62073 – First edition – 2003, *Guidance on measurement of wettability of insulator surface*.
- [4] Wang Shaowu et al, “Hydrophobicity Changing of Silicone Rubber Insulators in Service”, *Cigré, Session 2002*, paper 15 305.

- [5] J. Kindersberger et al, "Service performance, material design and applications of composite insulators with silicone rubber housings", *Cigré 1996 Session*, paper 33 303.
- [6] Anke Shütz, F. Moreno, "Reliability and Economic Advantages of Silicone Rubber Insulators", <http://www.lappinsulator.com/downloadcenter/technical.asp>.
- [7] IEC Standard – Publication 60815 – First edition – 1986. *Guide for the selection of insulators in respect of polluted conditions*.
- [8] Sri Sundhar. Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, 1994. IEEE 1994 Annual Repport. Pags. 657-662. "Influence of non-soluble contaminants on flashover performance of artificially contaminated polymer insulators".
- [9] CIGRE Taskforce C4-13-01, 29 March 2007, *Polluted Insulators: Guidelines for selection and dimensioning. Part 1: General principles and the a.c. case*.