Modelo predictivo para la determinación de contaminación salina en aisladores eléctricos.

J. Carmelo Quintana Suárez, Miguel Martínez Melgarejo, Jesús Romero Mayoral, Miguel A. Quintana Suárez, Felipe Díaz Reyes, Javier Cruz Norro

Departamento de Ingeniería Eléctrica
Universidad de Las Palmas de Gran Canaria
Edif. de Ingenierías. Campus universitario de Tafira. Las Palmas 35017. Islas Canarias.
Tel.:+34 928451985, fax:+34 928451874, e-mail: jquintana@die.ulpgc.es

Resumen.

En el presente trabajo se describen los esfuerzos realizados por encontrar la magnitud que caracteriza el ensuciamiento de los aisladores, define el equipo capaz de evaluarlo y evidencia la posibilidad de predecir su comportamiento bajo diferentes condiciones medioambientales.

Palabras llave

Aisladores eléctricos, contaminación salina, ensuciamiento superficial**.**

1. Introducción

En las Islas Canarias, archipiélago situado en el extremo noroccidental del continente Africano, en su zona costera caracterizada por un clima desértico con precipitaciones inferiores a los 200 mm, los aisladores eléctricos de las líneas aéreas de media y alta tensión sufren un elevado ensuciamiento superficial que obliga a las compañías eléctricas a realizar frecuentes limpiezas de los mismos.

Para optimizar estas operaciones de limpieza se hace imprescindible el disponer de un sistema que caracterice y cuantifique el nivel de ensuciamiento de los aisladores.

2. Descripción del fenómeno de ensuciamiento superficial

Las partículas que se encuentran en suspensión en la atmósfera pueden sufrir un proceso de sedimentación, depositándose en la superficie de los aisladores eléctricos.

Estas deposiciones pueden llegar a convertirse en elementos conductores de la electricidad en función de sus propiedades físico-químicas, concentración, humedad, temperatura, etc., en ese momento los aisladores de las líneas eléctricas dejan de comportarse como tal, pierden su funcionalidad inicial, siendo preciso detectar dicho comportamiento cuanto antes con el fin de tomar las medidas correctivas oportunas, (la limpieza de los mismos).

En la zona costera las deposiciones son debidas principalmente a los aerosoles marinos que los vientos arrastran hacia la costa y al polvo en suspensión proveniente del continente Africano, fenómeno conocido como Calima. El conjunto de estas deposiciones recibe el nombre de contaminación salina.

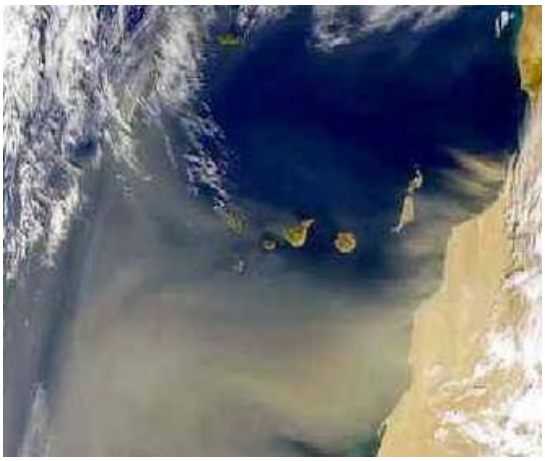

Fig.1.Vista satélite de fenómeno de Calima, polvo procedente del continente Africano.

3. Cuantificación de la contaminación Salina

Para caracterizar estas deposiciones que se conocen bajo el nombre de Contaminación Salina, utilizamos el concepto de Densidad de Deposito de Sal Equivalente "ESDD", que se define como la cantidad de sal disuelta en agua que posee la misma conductividad que los depósitos reales una vez disueltos en la misma cantidad de agua.

La Densidad de Deposito de Sal Equivalente "ESDD", se expresa en mg/cm^2 y tiene una correlación

directa con la conductividad volumétrica "σ" de los depósitos una vez disueltos en agua.

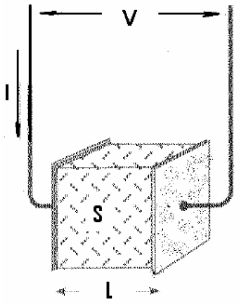

Fig.2.-Cubo de agua de 1cm de arista para medida de la conductividad.

La conductividad volumétrica, "σ" es la conductividad del agua después de limpiar el aislador en µS/cm, y se define como la relación entre la corriente "I" en µA y la tensión "V" a través de un cubo de 1 cm de arista.

Obteniéndose el valor de ESDD en g/cm^2, como:

$$ESDD= (\sigma V)/(\sigma_{eq} A) \quad (1)$$

Donde:

"σ" es la conductividad del agua después de limpiar el aislador en µS/cm
"V" es volumen de agua destilada de limpieza en litros
"σ_{eq}" es la conductividad estándar de una solución de un gramo de NaCl disuelta en un litro de agua (1820 µS/cm por g/l a 20º C)
"A" es la superficie de limpieza en centímetros cuadrados.

4. Tratamiento inicial del problema.

Con el fin de caracterizar las diferentes zonas de polución existentes en la isla se han realizado mediciones de la cantidad de sal que poseen los aerosoles marinos mediante dispositivos de captación con superficie humedecida.

Obteniéndose el Indice de Polución "DDDG", como la medida de la conductividad de los aerosoles marinos para las cuatro direcciones de viento, expresada en µS/cm y normalizada por la media aritmética a 30 días (1 mes).

$$\sigma_N=\sigma(V/500)(30/N) \quad (2)$$

siendo "σ_N" es la conductividad normalizada (µS/cm), "σ" la conductividad volumétrica (µS/cm), "V" el volumen del agua destilada para la disolución en cm^3 y "N" es el numero de días en que ha estado instalado el dispositivo de captación.

Determinándose los niveles de polución, según los valores indicados la norma IEC 60815, reflejados en la siguiente tabla.

Tabla I.- Caracterización de los niveles de polución.

Nivel de polución	Índice de Polución (µS/cm)	Índice de Polución (mg/cm^2)
Ligera	0-75	0.03-0.06
Media	76-200	0.1-0.2
Alta	201-350	0.3-0.6
Muy Alta	>350	>0.8

Con los niveles de polución obtenidos en diferentes localizaciones geográficas, se ha creado un mapa de contaminación salina en la isla, con el fin de definir el material a utilizar en las instalaciones eléctricas de exterior.

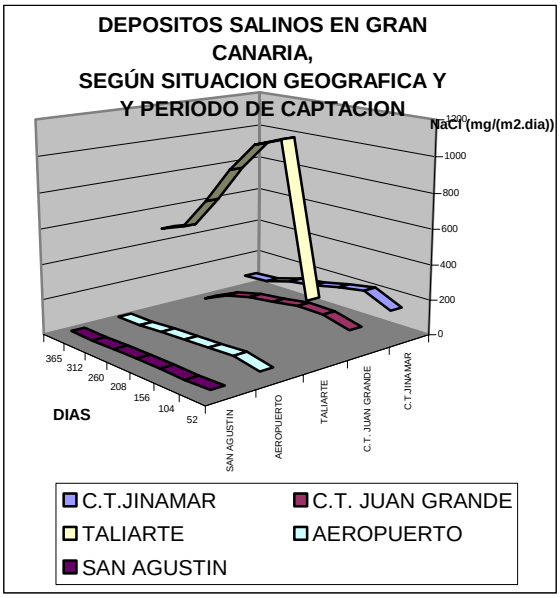

Fig.3.-Distribución de depósitos salinos en distintos emplazamientos, y periodo del año.

Los resultados obtenidos, se muestran pobres a la hora de utilizarlos para una planificación eficiente de las labores de limpieza, ya que la contaminación superficial no es constante a lo largo del año, además se ve muy influenciada por otros factores no contemplados en estos estudios previos, entre los que cabe destacar los fenómenos de autolimpieza por lluvia y viento. También la humedad, temperatura,…, influyen en la conductividad de los mismos.

5. Nuevo enfoque

Los estudios iniciales para determinar la polución salina en las diferentes zonas de la isla fue suficiente para solucionar el primer reto planteado por las compañías eléctricas, establecer las características del material a instalar en dichas zonas, pero no da respuestas sobre el estado y comportamiento real de los aisladores que se encuentran en servicio.

Para abordar el nuevo reto planteado por las compañías eléctricas, conocer el estado real de los aisladores que están en servicio, con el fin de realizar un

mantenimiento predictivo de las instalaciones, se ha ideado un método que ha sido ensayado en laboratorio y se esta utilizando para obtener los primeros valores en campo.

El método consiste en adquirir y registrar las variables ambientales que influyen en el comportamiento de los depósitos salinos existentes sobre el aislador, a la vez que se mide la conductividad de dichos depósitos mediante un dispositivo especial formado por electrodos concéntricos instalados en un aislador patrón.

Todos estos parámetros se introducen en un algoritmo que determina el nivel de contaminación que existe en el elemento que esta en tensión, a la vez que realiza una predicción de su nivel de contaminación en función de las variaciones climáticas que se puedan producir.

Las variables utilizadas en el algoritmo son:

- Conductividad registrada en aislador patrón.
- Humedad relativa.
- Presión atmosférica.
- Radiación solar.
- Temperatura.
- Dirección y velocidad del viento.

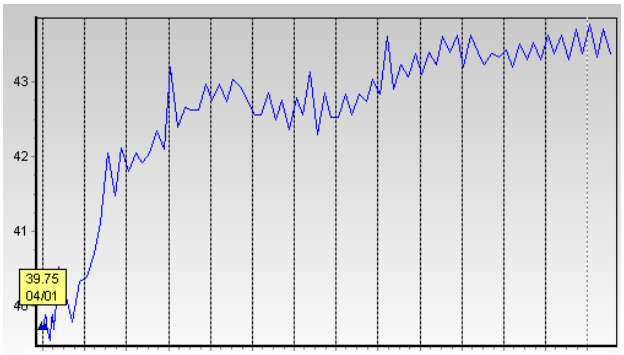

Fig 4 .- Valores registrados de variación de la conductividad superficial bajo distintas condiciones de humedad relativa.

Como mecanismo para validar el método, se compara los valores de conductividad obtenidos por programa con los valores medidos por métodos convencionales en laboratorio, sobre muestras obtenidas en aisladores testigos instalados en el lugar donde se realiza la toma de datos.

6. Equipo de toma de datos

Como parte fundamental del estudio que se lleva a cabo se contempla el registro de variables medio ambientales, para ello utilizamos el data-logger CRX-10 de Campbell.

Fig. 5.- Equipo registrador de datos

A este registrador lo hemos dotado de los siguientes elementos:

- 1 Sensor de temperatura y humedad [PROBE HMP 45AC].
-1 Sensor de temperatura y humedad [DTR500].
-1 Sensor de radiación solar [SKS1110].
-1 Sensor de velocidad y dirección del viento [MODEL 03002-5].
1-Sensor de conductividad superficial, como elemento de diseño propio.

7. Sensor de conductividad superficial

Como elemento novedoso en el sistema se ha creado un sensor de conductividad superficial, del cual se han ensayado diferentes configuraciones.

a- Electrodos fijados sobre un aislador real, esta configuración se desestimo porque surgieron problemas de adherencia en la superficie e irregularidades en la superficie de fijación.
b- Electrodo en forma de peine, configuración también desestimada después de ensayar otros modelos, ya que no contempla las peculiaridades de deposiciones debido a factor de forma de un aislador real.
Como dato valido de esta configuración obtuvimos que a menor separación de pistas teníamos mayor capacidad de medida, se observo problemas de polarización en las deposiciones y sirvió como base para definir el mecanismo de conducción superficial y para realizar el software de medida utilizado con el CR10X.
c- Electrodos concéntricos, sobre placa de fibra de vidrio, el cual sustituye el vidrio del aislador, con este dispositivos se esta realizando el registro de variables en campo.

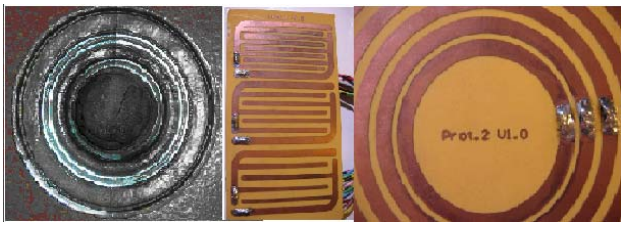

Fig. 6.- izquierda electrodo tipo a, centro electrodo tipo b, derecha electrodo tipo c.

Como elemento de medida hemos utilizado diferentes puente de medida, estando actualmente utilizando un puente de Wheatstone, ya que en la medida no se introducen errores debidos a las variaciones en la tensión de alimentación del mismo, además hemos optimizado los valores de las resistencia patrón con el fin de conseguir la mejor precisión posible.

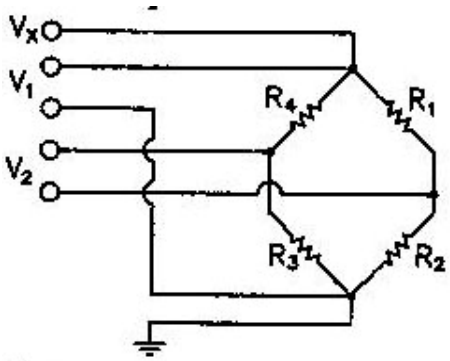

Fig.7. – Puente de Wheastone, donde R_2 es la resistencia a determinar

$$R_2 = \frac{R_1 x R_3}{R_4} \quad (3)$$

$$\rightarrow X = 1000\frac{V2}{V1} = 1000\left(\frac{R3}{R3+R4} - \frac{R2}{R1+R2}\right) \quad (4)$$

Para evitar los errores debido a la polarización de los depósitos, agrupamiento de iones positivos en el electrodo negativo y agrupamiento de iones negativos en el electrodo positivo, distorsión importante respecto a su situación natural, que se produce debido a que el puente de medida esta alimentado en corriente continua, se ha realizado un dispositivo de conmutación de las tensiones, realizando dos medidas a polaridades invertidas, tomando como valor característico la media de ambas.

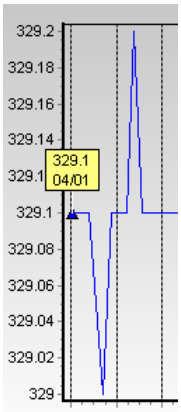

Fig. 8.-Diferencia de medida de resistencias según polaridad de alimentación del puente.

El primer diseño del conmutador de tensiones se realizo con elementos electrónicos, observando que se incorporaban al circuito de medida unas resistencias que no permanecían constantes durante todo el proceso, viéndonos obligados a diseñar un nuevo circuito con reles encapsulados, comprobado que con estos dispositivos no había variación en la resistencia de contacto, ofreciendo un comportamiento satisfactorio.

8. Modelado del comportamiento del aislador

Como modelo predictivo del comportamiento del aislador se esta ensayando un algoritmo exponencial del tipo

$$y_1 = x_1^{c1} x_2^{c2} x_3^{c3} \ldots$$

donde y_1 es la conductividad final en la superficie del aislador, y las variables de entrada son:

x1	conductividad de referencia registrada, con el sensor de conductividad.	
x2	humedad	
x3	presión	
x4	radiación solar UV-B	
x5	temperatura	
x6	velocidad de viento	norte
x7		sur
x8		este
x9		oeste

Los valores de las variables, son los que se están obteniendo con el equipo de adquisición de datos, como los que se puede ver en la siguiente figura.

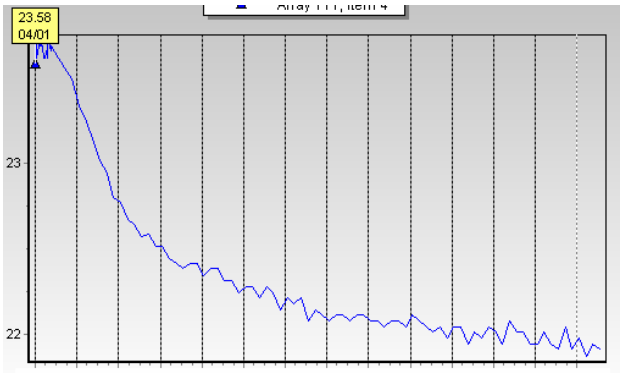

Fig. 9 . – Registros de variación de la conductividad superficial con la temperatura

9. Conclusiones

Según los estudios previos se muestra como objetivo viable la obtención de un método predictivo para la determinación de la contaminación salina en aisladores, en función de las medidas realizadas en el aislador patrón y que conjuntamente con un estudio estadístico de variación de los datos medioambientales, proporcionará un método fiable para determinar el momento adecuado para realizar la limpieza de los aisladores.

Agradecimientos.

A Unión Eléctrica de Canarias S.A. (UNELCO), como patrocinador de ayuda económica aportada a este proyecto de investigación.

Referencias

[1] APHA, AWWA, WPCF, Metodos Normalizados, Ediciones Diaz Santos S.A. .

[2] C.N. Richards, J.D. Renewden : "Remote Insulator Contamination Monitoring System", *IEEE Power Engineering Review,* January 1997

[3] D. Pietersens, W Vosioo, Jp Holtzhausen: "An Investigation Into The Measurement Techniques To Compile An Insulator Pollution Severity Application Map For South Africa", *IEEE Africon* 2002

[4] D.R.H. Orbin, D.A.Swift: " Pollution Severity Instrument For Relevance To Hihgt-Voltage Aislator" , *0-7803-3019-6/96/$3.00 , 1996 IEEE*

[5] Guide for the selection of insulator in respect of polluted conditions- *Publicación 815- CEI-1986*

[6] Norma CEI 60507 " Ensayos De Contaminación Artificial Para Aisladores De Alta Tensión Destinados A Redes De Corriente Alterna"

[7] K. Iwai, Y. Hase, E.Nakamura, H.Katsukawua: " Development Of A New Apparatus For Contamination Measurement Of Overhead Transmission Line Insulator", *IEEE transitions and power delivery, vol, 13 nº4*, october 1988