

Materiales compuestos de alta permitividad para atenuar el campo eléctrico en aisladores poliméricos

Myriam Paredes-Olguín¹
Fermín P. Espino-Cortés²
Carlos Gómez-Yáñez¹

¹Departamento de Ingeniería en Metalurgia y Materiales
(Edificios 6, 7 y 8),

²Departamento de Ingeniería Eléctrica (Edificio Z-4, 1^{er} piso),
Sección de Estudios de Posgrado e Investigación,
Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Zacatenco,
Instituto Politécnico Nacional.
Unidad Profesional 'Adolfo López Mateos',
Col. Lindavista, CP 07738, México DF.
MÉXICO.

¹Tel. (55) 5729 6000 ext. 54208, 55270 (fax)

²Tel. (55) 5729 6000 ext. 54626, 54218 (fax)

Correo electrónico (email): myriampaol@gmail.com
fpepino@gmail.com
cgomez@ipn.mx

Recibido el 2 de febrero de 2010; aceptado el 26 de junio de 2010.

1. Resumen

En este trabajo se modeló el efecto de materiales compuestos en la atenuación del campo eléctrico en aisladores no-cerámicos. Compósitos de hule silicón y polvo de BaTiO₃ se prepararon y caracterizaron para determinar sus valores de permitividad dieléctrica relativa (K). Dichos valores se usaron para modelar la distribución de campo eléctrico en un aislador de 115 kV a frecuencia nominal y también bajo la acción de un impulso de rayo normalizado. Se encontró que en un aislador con una $K=8.31$ obtenido con 60% en peso (%wt.) de BaTiO₃, la reducción del campo eléctrico tangencial no es significativa si el aislador posee un diseño típico, sin embargo, se demuestra que la combinación de un cambio en la geometría de su perfil junto con valores de K que pueden obtenerse sin

dopar el BaTiO₃ permite reducir considerablemente el campo eléctrico máximo en la vecindad de los herrajes bajo los dos tipos de tensión.

Palabras clave: aislador no-cerámico, campo eléctrico, compuesto polimérico, permitividad dieléctrica.

2. Abstract (High Permittivity Composites to Attenuate the Electric Field in Polymeric Insulators)

In this study, the effect of composite materials on electric stress grading is modeled. Silicone rubber and BaTiO₃ composites were prepared and characterized to determine their dielectric permittivity values. These relative dielectric permittivity values (K) were used to model the electric field distribution on a 115 kV insulator under power frequency and under normalized lightning impulse too. It was found that in an insulator made with $K = 8.31$ obtained with 60% in weight (% wt) of BaTiO₃, the reduction of tangential electric field is not significant for a typical insulator design. However, it is shown that the combination of a change on the insulator profile along with values of K , which can be obtained adding undoped BaTiO₃, allows a significant reduction of the maximum electric field near the end fittings, under power frequency or lightning impulse.

Key words: dielectric permittivity, electric field, non-ceramic insulator, polymeric composite.

3. Introducción

En aisladores no-cerámicos la tensión cambia rápidamente desde sus extremos ya que no cuenta con una capacitancia distribuida uniformemente. Esto trae consigo que el campo eléctrico en la vecindad de los herrajes alcance valores considerablemente altos con respecto a otras secciones del aislador. Si el campo eléctrico local llega a alcanzar valores por arriba de 30 kV/cm, se generará una descarga eléctrica parcial que dañará progresivamente la superficie del material polimérico [1], incluso con campos eléctricos menores, el material puede ver acelerado su envejecimiento [2]. La figu-

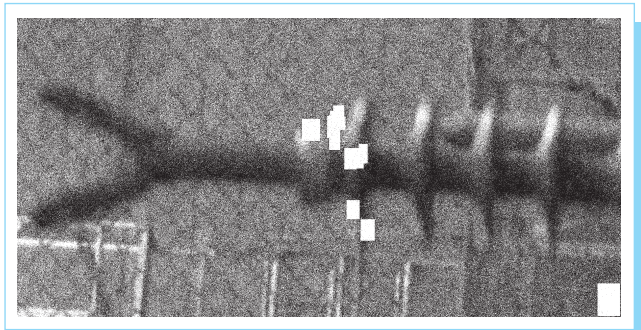


Fig. 1. Inspección ultravioleta de un aislador con descarga corona en la interface herraje-silicón.

ra 1 muestra la inspección ultravioleta de un aislador de 115 kV donde se aprecia la presencia de descarga corona en la interface del herraje y el material aislante.

Para reducir los problemas ocasionados por descargas superficiales existen dos opciones: (1) reducir la intensidad del campo eléctrico en la superficie del aislador por debajo del valor de inyección de descargas y, (2) modificar las propiedades de los materiales mediante la adición de rellenos inorgánicos para incrementar su resistencia a las descargas. En el primer caso, una opción es el uso de anillos equipotenciales en los extremos del aislador como puede observarse en la figura 2.

El uso de anillos equipotenciales es efectivo en la prevención de las descargas corona ya que modifican la distribución de la tensión cerca de los extremos del aislador reduciendo con ello la intensidad del campo eléctrico en esa zona. evitar las descargas se reducen los niveles de radio interferencia y se previene la degradación del material polimérico. El efecto del uso del anillo equipotencial es simulado en la figura 3.

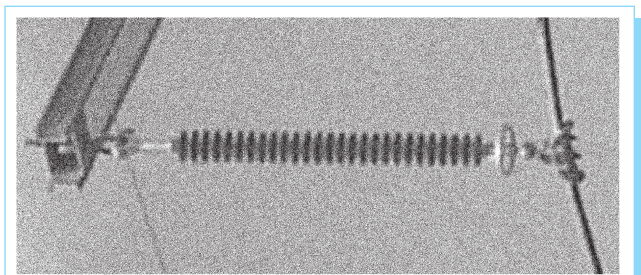


Fig. 2. Aislador no-cerámico con anillo equipotencial.

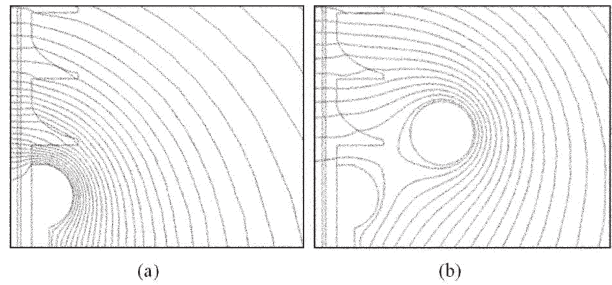


Fig. 3. Distribución de líneas equipotenciales en el extremo energizado del aislador (a) sin anillo equipotencial, (b) con anillo equipotencial.

En la figura 4 se muestra la influencia del anillo equipotencial en la reducción del campo eléctrico por debajo del nivel de inyección de la descarga corona (30 kV/cm).

Según el diseño y forma en que se instale el aislador se colocarán anillos equipotenciales en el lado energizado si la tensión es menor o igual a 230 kV; cuando se sobrepasa este valor los anillos se instalan en ambos extremos del aislador [1]. Aunque a 115 kV no es usual la instalación de anillos equipotenciales, cada vez es más común su instalación en secciones de líneas donde se requiere evitar la presencia de des-

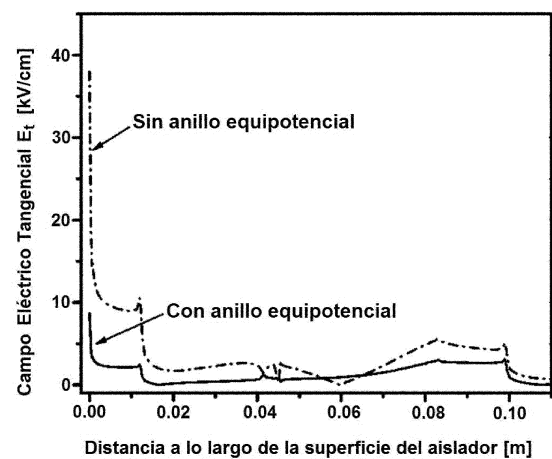


Fig. 4. Campo eléctrico tangencial en el extremo energizado con y sin anillo equipotencial.

cargas en la superficie del aislador. El uso de estos anillos puede no ser efectivo cuando su diseño no previene las descargas superficiales. Trabajos recientes consideran que aún no existe material publicado sobre la optimización de estos anillos para evitar alcanzar niveles de campo eléctrico que generen radio-interferencia por la generación de descargas corona [3]. La instalación incorrecta de los anillos equipotenciales provoca que no desempeñen correctamente su función [2], debido a esto, resultaría atractivo elaborar un diseño de aislador no-cerámico donde se pueda controlar la intensidad de campo eléctrico sin aplicar anillos equipotenciales.

El uso de materiales que ayuden a controlar el campo eléctrico sobre aisladores no-cerámicos ha sido abordado en trabajos previos [4,5]. Para distribuir los esfuerzos eléctricos uniformemente sobre el material y sin zonas de alta concentración se usan materiales de alta permitividad. Los ferroeléctricos poseen constantes dieléctricas extremadamente altas por lo que pueden mezclarse en baja concentración para obtener compósitos de K alta sin afectar las propiedades mecánicas de la matriz polimérica [6]. El Titanato de Bario (BaTiO_3) es uno de estos materiales ferroeléctricos de alta permitividad que puede incrementar aún más su valor de K al ser dopado [7], sin embargo el dopaje puede elevar su conductividad eléctrica a valores no aceptables para su aplicación en aisladores.

En este artículo se analiza el uso de materiales compuestos de hule silicón, cuya constante dieléctrica depende de la concentración de BaTiO_3 , como una opción para atenuar el campo eléctrico en la superficie de un aislador [8]. Estos materiales fueron caracterizados y se analizó su desempeño atenuador de campo eléctrico utilizando el método del elemento finito. También se muestra su desempeño a tensión nominal y se analiza cómo pueden ayudar a controlar el campo eléctrico sin aplicar anillos equipotenciales, proponiendo algunas modificaciones en el diseño del aislador en la zona próxima a la terminal energizada. El diseño con mayor reducción de campo eléctrico en la vecindad del herraje es modelado considerando la aplicación de una tensión de impulso de rayo.

4. Materiales

Materiales compuestos para la atenuación del campo eléctrico se pueden obtener incorporando algún polvo semiconductor a una matriz de material aislante. Existen diferentes opciones para el material de la matriz, en este caso se utilizó hule de silicón RTV 615 fabricado por General Electric. Algunas de sus propiedades se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Propiedades del silicón RTV 615.

Propiedad	Valor
Densidad volumétrica, g/mm^3	0.0102
Conductividad eléctrica, S/m	5.5×10^{-6}
Rigidez dieléctrica, kV/mm	19.7
Constante dieléctrica	2.7
Coef. de expansión térmica, K^{-1}	27×10^{-6}

El polvo de BaTiO_3 (Merck 99% pureza, tamaño de grano $0.45 \mu\text{m}$ y $K=154$) y el silicón fueron pesados y mezclados para elaborar las diferentes muestras. Se agregó el agente curador y se mezcló por un corto tiempo más. El material se degasificó en una cámara de vacío y se vertió en un molde. El material curó por 48 horas y se obtuvieron las muestras cuyas micrografías de MEB a se aprecian en la figura 5.

Posteriormente se midieron sus características dieléctricas en un arreglo de placas planas paralelas. En la figura 6 se muestran los porcentajes en peso de los materiales utilizados en las mezclas y sus constantes dieléctricas K medidas a 1kHz y 1V .

5. Modelado del campo eléctrico en aisladores no-cerámicos con materiales atenuadores

En esta sección se analiza mediante modelado el desempeño del silicón puro y los materiales compuestos elaborados. Para ello se presenta la distribución de campo eléctrico a tensión nominal (tensión pico de fase a tierra) para una frecuencia de 60Hz . Posteriormente se utiliza el máximo valor de K obtenido en alguno de los compósitos para estudiar el efecto

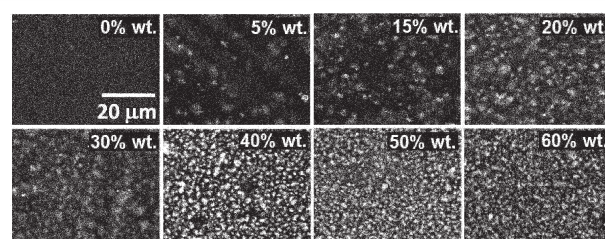


Fig. 5. Micrografías de MEB a 1500x de los compósitos obtenidos con diferentes composiciones en peso de BaTiO_3 .

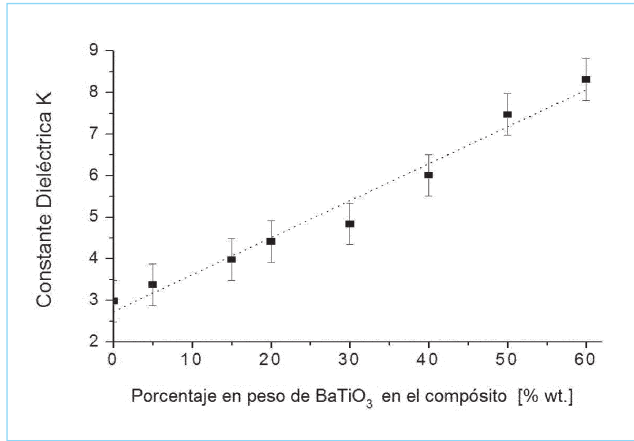


Fig. 6. Constante dieléctrica del compuesto en función del BaTiO₃ mezclado.

de su aplicación en un aislador donde se modifica la geometría de en los faldones más próximos a la terminal energizada.

5.1. Modelado del campo eléctrico en materiales atenuadores

Considerando que en este tipo de problemas la inducción magnética es despreciable, la ecuación a resolver en el dominio del tiempo es:

$$\nabla \cdot (\sigma \nabla V) + \nabla \cdot \left(\frac{\partial \epsilon \nabla V}{\partial t} \right) = 0 \quad (1)$$

o para el dominio de la frecuencia:

$$\nabla \cdot (\sigma \nabla V) + \nabla \cdot (j\omega \epsilon \nabla V) = 0 \quad (2)$$

Donde σ es la conductividad eléctrica y ϵ la permitividad dieléctrica del material con $\epsilon = \epsilon_0 K$ y ϵ_0 es la permitividad dieléctrica del vacío.

Las ecuaciones 1 y 2 se resolvieron con el método del elemento finito usando COMSOL 3.5® considerándolo como un sistema cuasiestacionario de geometría axial-simétrica correspondiente a un aislador de 115 kV con 28 faldones. Para modelar el efecto de las fronteras abiertas se utilizó un dominio con elementos infinitos que reduce las dimensiones del sistema a resolver.

5.2. Distribución de campo eléctrico a tensión nominal

En la figura 7 se muestra la distribución típica de la componente tangencial del campo eléctrico a lo largo de la superficie del aislador, es decir, sobre toda la distancia de fuga. Se puede

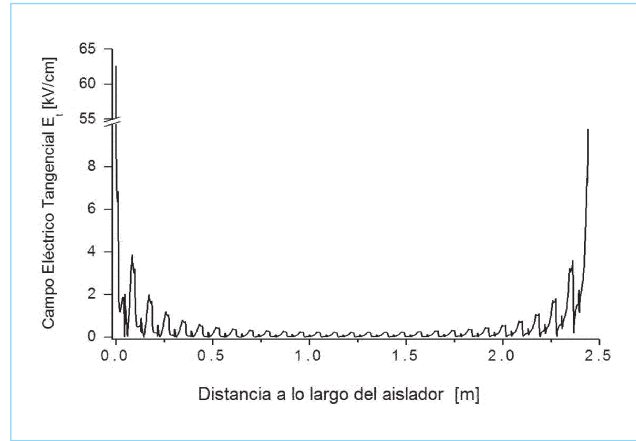


Fig. 7. Campo eléctrico tangencial sobre un aislador no-cerámico de 115 kV sin anillo equipotencial.

ver que el campo eléctrico se concentra en los extremos del aislador sobre todo en el lado energizado donde se supera el valor necesario para el inicio de la descarga corona.

El efecto de los compósitos elaborados en la atenuación del campo eléctrico en la proximidad del extremo energizado del aislador se simula en la figura 8 donde se observa que el aumento en la K del compuesto provoca un aumento del campo eléctrico tangencial en la proximidad del herraje energizado.

Este comportamiento se debe al efecto de la cercanía del primer faldón con el herraje ya que debido a la refracción dieléctrica, a mayor permitividad el primer faldón concentra

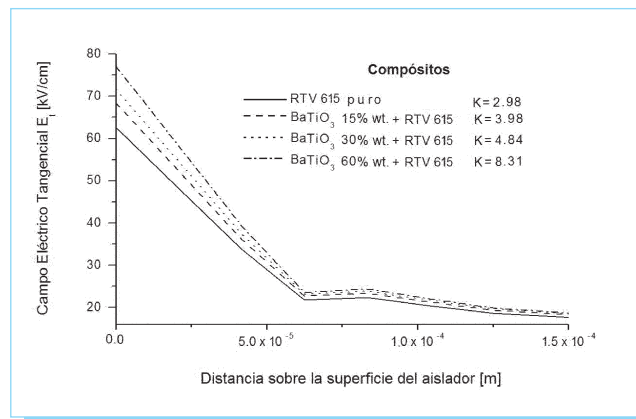


Fig. 8. Campo eléctrico tangencial en el extremo energizado para los compósitos elaborados.

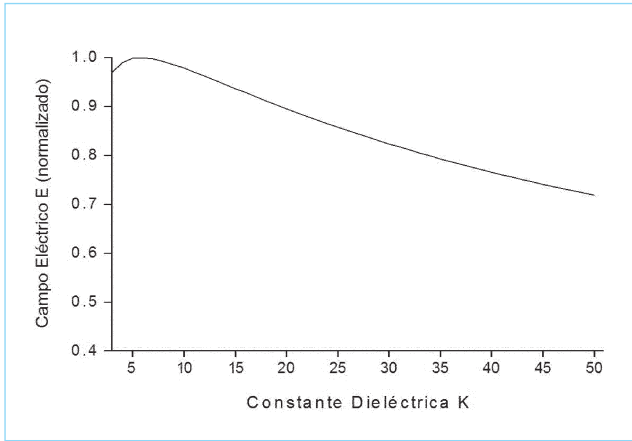


Fig. 9. Magnitud normalizada del campo eléctrico en función de K .

el esfuerzo eléctrico en la proximidad del herraje. Sin embargo, esto ocurre sólo para valores de K menores a 10 pues cuando K se incrementa, el campo eléctrico comienza a descender de manera monótona, como se puede ver en la figura 9.

Ya que los compósitos elaborados tienen una máxima permitividad de $K=8.31$, se analiza la posibilidad de rediseñar la geometría original del aislador cerca de los herrajes a fin de aprovechar el fenómeno de refracción dieléctrica en la interfaz de dos materiales con diferente permitividad mostrado en la figura 10, tal y como ya se ha empleado en espaciadores de sistemas aislados en gas [9], la cual está dada por la siguiente relación:

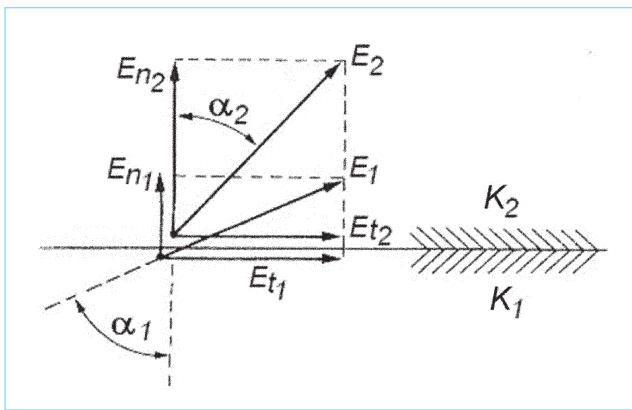


Fig. 10. Ley de refracción para campo eléctrico E , en una interfaz con $K_1 > K_2$.

$$\frac{\tan \alpha_1}{\tan \alpha_2} = \frac{E_{t1}/E_{n1}}{E_{t2}/E_{n2}} = \frac{E_{n2}}{E_{n1}} = \frac{D_{n2}/K_2}{D_{n2}/K_1} = \frac{\epsilon_1}{\epsilon_2} \quad (3)$$

Con base en este principio y modificando el perfil del aislador en la zona del herraje se puede obtener una distribución tal que se reduzca la componente tangencial que es la de mayor importancia [10]. Con esto se analiza si el incremento de la K obtenida en los compuestos puede ser una solución práctica en el control del campo eléctrico en esta zona sin utilizar anillo equipotencial. Las modificaciones consideradas en el perfil del aislador en la cercanía del herraje se basaron en los perfiles analizados en un trabajo anterior para espaciadores de líneas aisladas en gas [10]. Un perfil con una inclinación de 75° y otro cóncavo, véase figuras 11(a) y (b), fueron modelados.

En la figura 12 se muestra el campo eléctrico tangencial en los primeros 20 cm de la superficie del aislante cerca del herraje energizado de los dos perfiles. Al compararlos se observa que con el diseño a 75° (véase figura 11a) se logra reducir solamente en un 6% el campo eléctrico tangencial máximo sobre el aislador con respecto al diseño original de la figura 7 (de 62.7 kV/cm a 58.8 kV/cm), pero con el diseño cóncavo (véase figura 11b) se reduce en un 43% el campo eléctrico tangencial máximo respecto a la misma zona en el diseño original (de 62.7 kV/cm a 35.8 kV/cm).

Aquí se ve que con el diseño cóncavo no se reduce el campo eléctrico por debajo del umbral de inyección de descargas,

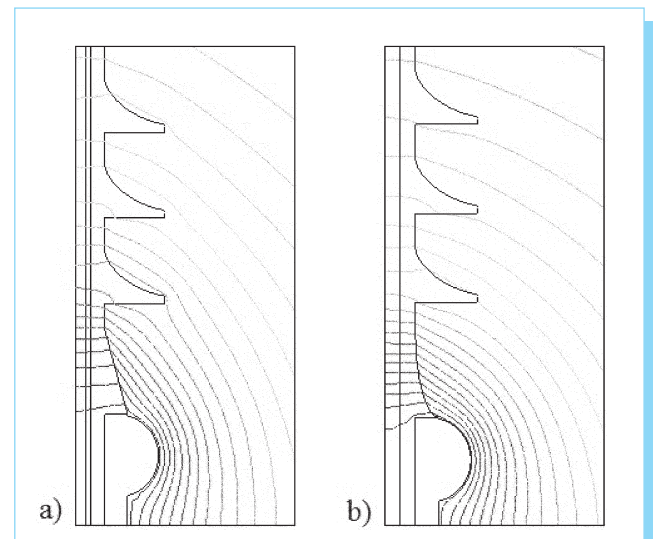


Fig. 11. Líneas equipotenciales a través del aislador a) con perfil inclinado a 75° b) con perfil cóncavo.

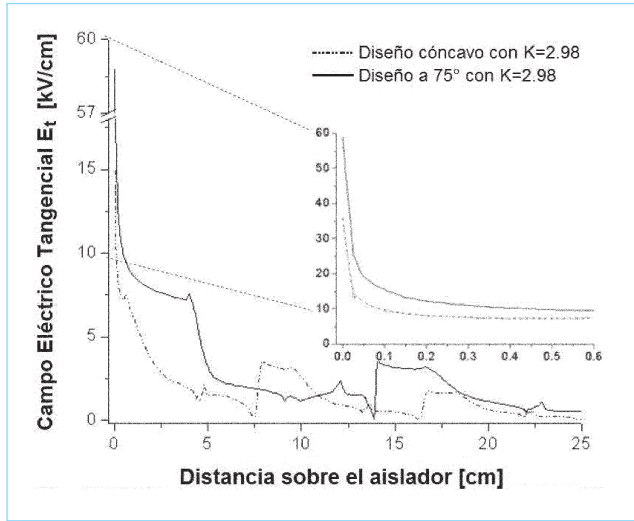


Fig. 12. Campo eléctrico tangencial en los primeros 25 cm de superficie del aislador de silicón puro con diseño a 75° y con diseño cóncavo a 115 kV.

sin embargo la mejora es considerable aún sin haber modificado la K del material. En la figura 13 se comparan los campos eléctricos tangenciales en la interfaz herraje-aislador y zona cercana a ella para el diseño y material original respecto del diseño cóncavo con la permitividad más alta ($K=8.31$).

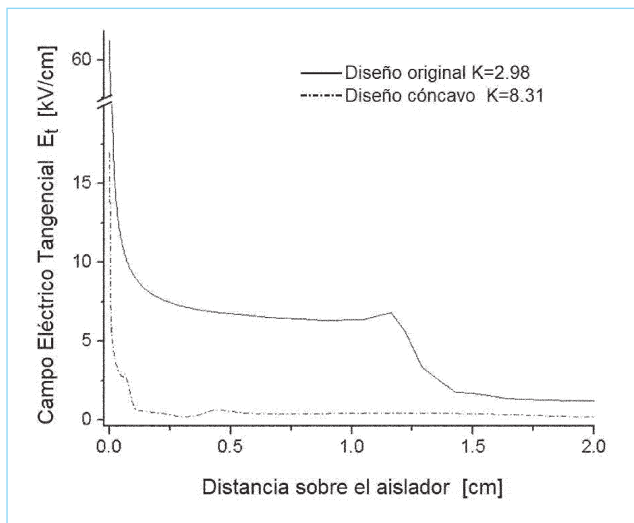


Fig. 13. Campo eléctrico tangencial sobre el extremo energizado del aislador de silicón puro, con diseño original y con diseño cóncavo y $K=8.31$ a 115 kV.

Aplicando el mismo diseño en el extremo a tierra se podría obtener el mismo efecto atenuador reduciendo mucho más el campo eléctrico a lo largo del aislador ya que aunque su magnitud no genere descargas superficiales, si puede acelerar el envejecimiento del material. No obstante, si los aisladores se instalan en zonas de gran altitud con una densidad relativa de aire reducida, las descargas pueden aparecer a menor intensidad de campo eléctrico [8].

5.3. Distribución de campo eléctrico durante una tensión de impulso de rayo

En el diseño de los aisladores un factor importante son las sobretensiones transitorias. Tensiones de impulso normalizadas se utilizan en pruebas para verificar que los aisladores soporten este tipo de esfuerzos una vez ya instalados. Para verificar la distribución del campo eléctrico en aisladores no-cerámicos con material atenuador, se simuló la aplicación de un impulso de tensión normalizado. Por el nivel de tensión del aislador considerado (115 kV) se empleó una forma de onda de impulso de rayo normalizada de 1.2/50 μ s de 450 kV que se ha simulado en la figura 14.

La simulación en el dominio del tiempo se realizó para el diseño cóncavo de la figura 11b considerando una $K=8.31$ y se compara con la respuesta generada por el aislador con diseño y material original en igualdad de condiciones. Los resultados para el campo eléctrico tangencial se presentan en la figura 15 donde sólo se muestran los primeros 25 cm de la superficie del aislador a partir del lado energizado.

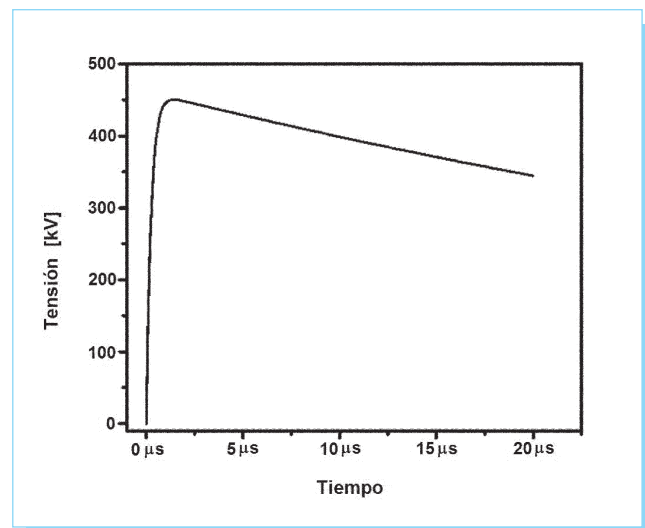


Fig. 14. Impulso de rayo aplicado en la simulación.

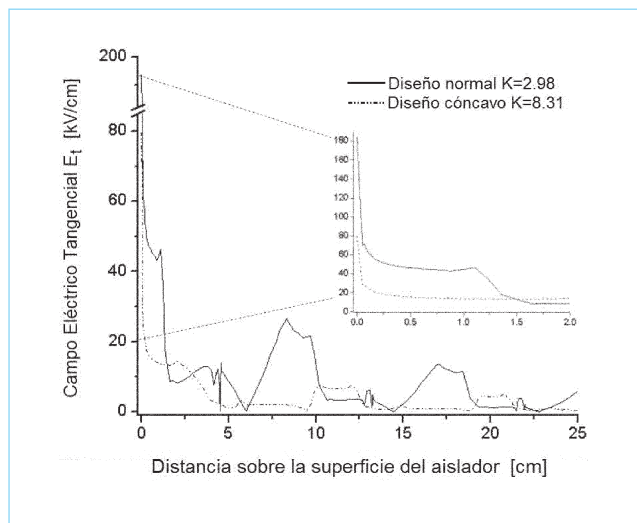


Fig. 15. Campo eléctrico tangencial sobre los primeros 25 cm de la superficie del aislador de silicón puro con el diseño original y con el diseño cóncavo bajo la acción de un impulso de rayo normalizado.

En esta figura se observa que al utilizar el compuesto de mayor constante dieléctrica en el aislador de geometría modificada, se produce una reducción de un 57% en la magnitud del campo eléctrico tangencial respecto al campo producido en el aislador con diseño y material original bajo las mismas condiciones (de 184.3 kV/cm a 79.4 kV/cm). Nuevamente, los materiales no previenen que se alcance la tensión umbral de inyección de descargas (30 kV/cm) sin embargo elaborar el aislador con el nuevo diseño y material con $K=8.31$ permite que el campo eléctrico en la zona aledaña al herraje sea mucho menor. Esta reducción puede incrementar considerablemente la tensión de ruptura, lo cual resulta de mayor importancia que la aparición de descarga corona en este tipo tensiones transitorias.

6. Conclusiones

Durante este trabajo se encontró que adicionando rellenos de polvo de $BaTiO_3$ al hule de silicón se obtienen compósitos poliméricos con constante dieléctrica mayor sin perder las propiedades mecánicas características del silicón, y sin modificar significativamente la conductividad eléctrica del compuesto; sin embargo, los valores de K obtenidos no producen por sí mismos una reducción significativa del campo eléctrico máximo. Se observó también que el campo eléctrico en la vecindad de los herrajes del aislador disminuye

significativamente si se combina el fenómeno de refracción del campo eléctrico con un incremento adecuado del valor de K .

Se encontró también que, bajo una tensión de impulso de rayo, el campo eléctrico tangencial a $1.2 \mu s$ es casi tres veces más grande que en condiciones de operación normal, sin embargo el uso del aislador modificado con geometría cóncava y material de $K=8.31$ permite que el campo se reduzca casi a la mitad respecto al caso en el que no se utiliza ninguno de las dos opciones para atenuar el campo eléctrico. Con esto puede incrementarse la tensión necesaria para la ruptura bajo un impulso de rayo por lo que se considera que modificar convenientemente la geometría del aislador y emplear materiales con valor de K mayores es un buen método para disminuir la acumulación de campo eléctrico sobre su superficie.

7. Referencias

- [1] Gorur, R.S., Cherney, E.A. & Burnham, J.T., *Outdoor Insulators*, Ravi S. Gorur Inc., Phoenix, Arizona USA, 1999.
- [2] Phillips, A.J., "Electric Field on AC Composite Transmission Line Insulators", *IEEE Transactions on Power Delivery*, 23(2), 2008, pp. 823-830.
- [3] Ilhan, S., Ozdemir, A., "Corona ring optimization for V-insulator string on the point of RIV and AC flashover performance", *International Conference on High Voltage Engineering and Application (ICHVE)*, 2010, pp. 268-271.
- [4] Weida, D., Steinmetz, T. & Clemens, M., "Electro-Quasistatic High Voltage Field Simulations of Insulators Structures Covered with Thin Resistive Pollution or Nonlinear Grading Material", *IEEE International Power Modulators and High Voltage Conference*, Las Vegas USA, 2008, pp. 580-583.
- [5] Cherney, E.A., "Silicone rubber dielectrics modified by inorganic fillers for outdoor high voltage insulation applications", *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 12(6), 2005, pp. 1108-1115.
- [6] Shen, Y., Cherney, E.A. & Jayaram, S.H., "Electric Stress Grading of Composite Bushings Using High Dielectric Constant Silicone Compositions", *IEEE International Symposium on Electrical Insulation*, Indianápolis USA, 2004, pp. 320-323.
- [7] Velasco-Dávalos, I.A. & Gómez-Yáñez, C., "Estudio de $BaTiO_3$ dopado con Nb para obtener un material semiconductor", 10ª Reunión Nacional Académica de

Física y Matemáticas, Escuela Superior de Física y Matemáticas IPN, México, 2005.

- [8] Farzaneh, M., "Outdoor Insulators: Overview of In-Service Experience, Inspection Practice and Future Challenges", *IEEE Electrical Insulation Conference, Montreal, Canada, 2009*, pp. 542-550.
- [9] De Lorenzi, A., Grando, L. *et al.*, "Modeling of epoxy resin spacers for the 1 MV DC gas insulated line of

ITER neutral beam injector system", *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 16(1), 2009, pp. 77- 87.

- [10] Espino-Cortes F.P., García-Colón, V.R. & Escarela, R., "Diseño óptimo de un disco espaciador para líneas de transmisión coaxiales aisladas en gas (GIL)", *Decimo-cuarto Reunión de Verano de la IEEE Sección México, Acapulco, Guerrero, 2001*.

Científica

indizada en

Latindex

Sistema Regional de Información en Línea
para Revistas Científicas de América Latina,
el Caribe, España y Portugal.
www.latindex.org

Periódica

Índice de Revistas Latinoamericanas en Ciencias.
http://132.248.9.1:8991/F/-/?func=find-b-0&local_base=PER01

Redalyc

Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe,
España y Portugal.
Sistema de Información Científica Redalyc.
www.redalyc.uaemex.mx

ACE-X 2011

5th International Conference on Advanced Computational Engineering and Experimenting

AREA SS10: BIOMECHATRONIC AND APPLIED ENGINEERING IN PROSTHESIS

Organiser:

Prof. J.A. Beltrán Fernández
Instituto Politecnico Nacional, Mexico
Contact: jbeltran@ipn.mx

Topics:

- Biomedical and surgery applications
- Biomodeling, simulation and analysis of organic implants, materials and healthy organ (functional unit)
- Stereolithography(quick prototypes) on medicine
- Orthotropic materials on prostheses
- Characterization of implants
- Orthopaedic designs
- Biosensors
- Mechanical sensors
- Interfacing and prostheses

3, 4, 5 & 6 July 2011, Algarve, Portugal.
www.ace-x2011.com/

Instituto Politécnico Nacional

Científica

La Revista Mexicana
de Ingeniería Electromecánica

Descargas totales de artículos por grupo de países (región):

México	45 000
América Latina y el Caribe	34 059
Europa	12 512
Estados Unidos y Canadá	10 413
Asia	3 675
África	586
Oceanía	78

más del 67% de artículos
se descargan en el extranjero.

Promedio de descargas mensuales
de artículos en 2009: 3 651.

81 artículos diarios se descargaron
fuera de México por día en 2009.

Fuente: Sistema de Información Científica Redalyc
<http://redalyc.uaemex.mx/>

Indicaciones para los colaboradores que deseen publicar en la revista Científica

La revista *Científica* es una publicación trimestral editada por la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (ESIME) del Instituto Politécnico Nacional (IPN) de México, que presenta trabajos de investigación y propuestas originales e inéditas de la Ingeniería Eléctrica, Mecánica, en Sistemas, Electrónica, en Telecomunicaciones, además de la Educación en Ingeniería.

Los manuscritos pueden estar escritos en español o en inglés y se reciben en formato electrónico con una copia adjunta del archivo digital del trabajo, por medio del correo electrónico revistacientifipn@yahoo.com.mx con atención a la Coordinación Editorial, misma que tiene sede en el Edificio 5, 1^{er} Piso, Oficina de la revista Científica, Tel. (+52) 55 5729 6000 ext. 54518; Sección de Estudios de Posgrado e Investigación (SEPI) de la ESIME Zacatenco, Col. Lindavista, Unidad Profesional Adolfo López Mateos, CP 07738, México, DF, México.

Los trabajos recibidos son revisados por el Comité Editorial quienes designan a un Editor Asociado (éste desconoce la autoría y procedencia de los manuscritos) de acuerdo a la disciplina que cubren los artículos. El Editor Asociado selecciona dos árbitros para que evalúen el escrito (pares ciegos), él mismo recibe las observaciones de éstos e informa al Comité sobre los resultados de la revisión. Los trabajos pueden ser aceptados para su publicación, aceptados si se realizan modificaciones necesarias o rechazados. La aceptación está sujeta a la aprobación, en todos los casos, de dos revisores; cuando no hay consenso entre los dos primeros revisores el Editor Asociado resuelve el dictamen. Los trabajos deben ser investigaciones o propuestas originales inéditas, sin excepción, sobre las áreas mencionadas y no pueden estar sujetas a revisión en ninguna otra publicación de forma simultánea; además, el resultado del proceso de arbitraje es inapelable y se sujeta, estrictamente, a las políticas dictadas por el Comité Editorial en funciones. Una vez aceptado un artículo para su publicación, el autor o autores transfieren los derechos de publicación a la institución editora que está representada por el Editor en Jefe de la revista.

Estructura de los artículos

Los manuscritos se deben ajustar a los lineamientos editoriales expuestos en este apartado; si se requiere información más extensa o detallada se deben consultar los parámetros para publicaciones científicas del *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE), el manual está disponible en la página <http://standards.ieee.org/guides/style/>.

Dentro del artículo la numeración comienza a partir del 'Resumen' o el 'Abstract', según sea el caso. Ésta continúa de acuerdo a los siguientes elementos: 1. Resumen (con palabras clave en español), 2. Abstract (con palabras clave en inglés, *keywords*), 3. Introducción, 4. Desarrollo, 5. Conclusiones y 6. Referencias.

Título

El título debe ser lo más corto posible (sin utilizar abreviaciones de preferencia) y no exceder de tres líneas.

Datos del autor

Éstos muestran el o los nombres de los autores, la dirección postal de la institución a la cual pertenecen, país, el teléfono (con la clave internacional de su país), fax y correo electrónico. En el caso de dos autores o más (de diversas instituciones), se deben mencionar los datos anteriores completos de cada uno.

Resumen

Debe contener 200 palabras como máximo. Consiste en una pequeña descripción de la investigación y una breve información de los resultados del trabajo que permite a los lectores identificar con rapidez los aspectos fundamentales del artículo y discernir la relevancia de éste.

Abstract

Se incluye un resumen en inglés si el artículo está en español o viceversa. Éste aparece inmediatamente después del resumen en inglés o español, según sea el caso.

Palabras clave y *keywords*

Se deben incluir de tres a cinco descriptores del trabajo con, al menos, tres de ellas pertenecientes al tesauro del IEEE, éste se puede obtener enviando un correo electrónico en blanco a keywords@ieee.org y de manera automática se recibe la lista de palabras clave avalada por el IEEE (*official keyword list from IEEE*).

Introducción

Expresa los antecedentes, límites, alcances y relevancia del problema. Plantea las premisas del mismo, y expresa el objetivo del trabajo. Se sugiere no extenderla como si fuera una exposición analítica.

Desarrollo

Se refiere al desarrollo del tema que puede ser teórico, experimental, teórico-experimental o la descripción de un nuevo

diseño. Es la parte medular y está compuesta por el planteamiento del problema y análisis del mismo, mencionando los materiales, métodos y técnicas.

Conclusiones

Se establece la respuesta global del problema, son los objetivos alcanzados, las hipótesis comprobadas, modificadas o rechazadas.

Referencias

Es la lista de fuentes bibliográficas: libros, artículos, manuales, memorias, etcétera. Deben aparecer en el orden en el cual se mencionan dentro del artículo, señalándose con el número entre corchetes, con las siguientes especificaciones:

Artículo de revista científica:

- [1] Autor, "Nombre del artículo", *Revista*, volumen, número, páginas, mes(es), año.

Ejemplo:

- [1] Boggs, S. A., y Fujimoto, N., "Techniques and instrumentation for measurement of transients in gas-insulated switchgear", *IEEE Transactions on Electrical Installation*, vol. 19, núm. 2, pp. 87-92, abril, 2004.

Artículo de revista científica electrónica:

- [2] Autor, "Nombre del artículo", *Revista*, volumen, número, páginas, mes(es), año, disponible en 'dirección en Internet'

Ejemplo:

- [2] Posada-Duque, J. A. y Cardona-Alzate, C. A. "Análisis de la refinación de glicerina obtenida como coproducto en la producción de biodiesel". *Ing. Univ. Bogotá*, vol. 14, núm. 1, pp. 9-27, enero-junio, 2010, Disponible en <http://www.javeriana.edu.co/Facultades/ingenieria/revista/Iy UVol14N1/Biodiesel.pdf>

Tesis:

- [4] Autor, "Título de la tesis", grado obtenido, disciplina, institución, ciudad de la institución, país, año.

Ejemplo:

- [4] Kawasaki, N., "Parametric study of thermal and chemical nonequilibrium nozzle flow", Tesis de Maestría, Ingeniería Electrónica, Universidad de Osaka, Osaka, Japón, 1993.

Libro:

- [3] Autor, *Título*, número de edición, Lugar de edición (Ciudad): Editorial, año.

Ejemplo:

- [3] Kays, W.M., y Crawford, M.E., *Convection Heat and Mass Transfer*, 2a ed., New York: McGraw-Hill, 1993.

Anexos

Los agradecimientos, simbología, notación y otros anexos, se consideran dentro del cuerpo del artículo y se dejan a consideración del autor. Se debe indicar si el trabajo ha sido previamente presentado en alguna institución científica o realizado con la ayuda de una subvención o fondo especial.

Consideraciones técnicas sobre el archivo electrónico

Para obtener la mejor calidad al realizar la edición de los manuscritos en el formato de la revista, se recomienda que:

- El trabajo se capture en un procesador de textos (word) con páginas en tamaño 'carta';
- El tipo de letra del texto sea 'Times' de 10 puntos, en una página con márgenes superior e inferior de 3 cm, márgenes izquierdo y derecho de 2.5 cm a dos columnas con espaciado de 1 cm entre ellas, interlineado sencillo y espacio entre párrafos sin sangría (párrafo moderno);
- Las ecuaciones y fórmulas numeradas para mayor claridad, acrónimos y abreviaciones deben definirse la primera vez que sean usados en el texto,
- Los pies de las figuras deben estar debajo de éstas con la indicación 'Fig. 1'; además, el título de los ejes de las figuras a menudo es causa de confusión, por lo que se sugiere usar palabras en lugar de símbolos. Los encabezados de las tablas deben estar arriba de éstas. Se recomienda el uso de símbolos (SI) en lugar de abreviaturas.
- Las figuras y tablas en el documento deben aparecer en el cuerpo del manuscrito y, además, entregarse en archivos por separado (.tif, .jpeg), es importante que al pasar cualquier imagen por un escáner debe hacerlo con una resolución de 300 ppp (puntos por pulgada). Se debe evitar el uso de colores en las figuras que señalen detalles o diferencias.

La revista *Científica* se reserva el derecho de hacer modificaciones editoriales para el diseño de los manuscritos en el formato vigente. Cualquier duda o comentario se puede enviar a revistacientifpn@yahoo.com.mx. De antemano gracias.

Científica ISSN 1665-0654

Sección de Estudios de Posgrado e Investigación, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica,
Instituto Politécnico Nacional, México.

Edificio 5, 1^{er} Piso, Oficina de la revista Científica,

Col. Lindavista, Unidad Profesional Adolfo López Mateos, CP 07738, México, DF, México.

Tel. (+52) 55 5729 6000 ext. 54518, revistacientifpn@yahoo.com.mx.

Information for Authors Submitting Papers to Científica Journal

The manuscript must be prepared in following a Camera Ready format with all its section numbered starting with the abstract, as shown below:

1. **Abstract**
2. **Resumen (Spanish abstract if it is possible).**
3. **Body of the manuscript**
4. **Reference list**
5. **Acknowledgements if any**
6. **Reference list**
7. **Appendix if any**

Title

Must be concise and no longer than 3 lines using capital and lower case letters.

Authors Name and Affiliations

The authors name must be written below the title using a one column format starting with the given name followed by one or two family names, if two family names applies. Below the authors names must be written the affiliation including the address quality, fax, telephone number or email.

Abstract

The abstract with about 200 words must give a brief description about the research including some comments about the experimental or simulation results and conclusion.

Resumen (Spanish abstract)

It is desirable that, if it is possible, a Spanish abstract be provided.

Body of the Manuscript

The body of the manuscript must include an introduction in which the relevance of the research must be explained. A review of related research works by either, the same or another authors must be included.

The body of the manuscript also must include the theoretical aspects of the research, as well as experimental or simulation results is any, together with a Conclusions Section.

Format

All manuscripts must be written in letter size paper, only by one side, with the following requirements. *a)* It is recommended that, if possible, the text be written using a word processor. *b)* The text must be written in two columns with a separation between them of 0.77cm, using a 10 points Times font or similar, with lower, upper and right margins equal to 2.5 cm and left margin equal to 3.0 cm. *c)* All the equations must be numbered and written using an equations editor. *d)* All symbols or abbreviations must be defined the first time that they be used in the text. *e)* All figures must be inserted in the manuscript. *f)* All figures must be numbered and its captions must be inserted below them. It is strongly recommended to use, when it be possible, words instead of symbols in the graphic axis. The table captions must be inserted above the corresponding table. *g)* All pictures and scanned figures must be high quality pictures for proper reproduction.

References

References must appear in the format given below. For multiple authors all family names and given names initials must be given. Titles of the journals must be all in lower case except the first letter of each word. All references must be cited by number in brackets, in the order that they appear in the text.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
Científica: LA REVISTA MEXICANA DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA
Unidad Profesional Adolfo López Mateos
Edificio 5, Primer Piso, Oficina de la revista *Científica*,
Sección de Estudios de Posgrado e Investigación,
Col. Lindavista, CP. 07738, Tel. 5729 6000 ext. 54518, Fax 55860758
email: revistacientifpn@yahoo.com.mx

