



Uso simultaneo de nanocargas y microcargas en la RTV SR usada para cubrir aisladores

Simultaneous use of nanofillers and microfillers in the RTV SR used to coat insulators

**Ignat – Pérez Almirall
Daniella – Cibele Bezerra**

**Edson – Guedes da Costa
Miguel – Castro Fernández**

Recibido: mayo de 2015

Aprobado: julio de 2015

Resumen/Abstract

En el presente trabajo se realiza un estudio sobre la influencia que tiene el uso conjunto de la nanosílice y la ATH como cargas en la goma de silicona vulcanizada a temperatura ambiente que se emplea actualmente en el aislamiento externo para cubrir aisladores de porcelana o vidrio. Este estudio se realiza comparando recubrimientos de silicona vulcanizada a temperatura ambiente que contienen como cargas conjuntamente nanosílice y ATH con otros recubrimientos que contienen estas cargas de manera independiente. Dicha comparación se realiza en cuanto a la resistencia a la erosión, la limitación de las corrientes de fuga en condiciones de niebla salina y la pérdida y recuperación de la hidrofobicidad. Los resultados de este trabajo muestran un mejor desempeño de los recubrimientos que contienen conjuntamente como cargas la nanosílice y la ATH que los recubrimientos que las contienen de manera independiente.

Palabras clave: aislamiento externo, goma de silicona, nanotecnología.

A study about the influence of joint use of nanosilica and ATH as fillers on room temperature vulcanized silicone rubber used in the outdoor insulation is carried out. This study is made by comparison between room temperature vulcanized silicone rubber coating with nanosilica and ATH as simultaneous fillers and room temperature vulcanized silicone rubber coating with nanosilica and ATH as independents fillers. The parameters of this comparison are: erosion resistance, circulation of leakage currents under salt fog conditions and hydrophobicity loss. The results of this work show a better development of room temperature vulcanized silicone rubber coating with nanosilica and ATH as simultaneous fillers than room temperature vulcanized silicone rubber coating with nanosilica and ATH as independents fillers.

Key words: outdoor insulation, silicone rubber, nanotechnology.

INTRODUCCIÓN

Una de las formas de mejorar el rendimiento en condiciones de contaminación elevada de los aisladores de vidrio o porcelana usados en el aislamiento convencional es revestirlos con un elastómero a base de goma de silicona que vulcanice a temperatura ambiente (RTV SR). De esta forma se combinan la alta resistencia mecánica de estos aisladores con las buenas propiedades dieléctricas y térmicas de los elastómeros empleados en el aislamiento externo [1-4].

De las propiedades que presenta la RTV SR, la más importante es su hidrofobicidad y la capacidad de recuperarla, e incluso transferirla hacia la capa de contaminantes [5]. Por estar expuesta al medio ambiente, la RTV SR empleada en el aislamiento externo puede ser afectada por la contaminación que se deposita sobre su superficie, la degradación biológica y la humedad, factores que pueden erosionar su superficie, disminuyendo su vida útil [6].

Para aumentar la resistencia de la RTV SR a la erosión, a su composición se le agregan cargas como la alúmina trihidratada (ATH) o la sílice, con tamaño de partículas del orden de los micrómetros [7] y en concentraciones muy elevadas que se encuentran alrededor del 50% de la masa total del elastómero, que además abaratan el producto final. Aunque si bien con estas concentraciones se obtienen buenos resultados desde el punto de vista de la resistencia a la erosión, esa elevada cantidad de partículas en el volumen de la RTV SR pudiera ralentizar la migración de las cadenas libres de de polidimetil-siloxano (PDMS) presentes en la RTV SR, responsables del proceso de recuperación de la hidrofobicidad [8-9]. Estudios recientes muestran que cuando se emplean cargas con tamaño de partículas del orden de los nanómetros, la resistencia a la erosión aumenta en comparación con el uso de las cargas tradicionales antes mencionadas, llamando significativamente la atención que estas mejoras ocurren para concentraciones de nanocargas que no superan al 10% de la masa total del elastómero [10-11]. El problema de emplear bajas concentraciones de cargas es que se encarece el producto final debido al costo de la silicona.

Por estas razones un punto de equilibrio entre las dos variantes antes mencionadas puede ser usar conjuntamente nanocargas y microcargas con una concentración total de cargas intermedia entre las altas concentraciones de microcargas y las bajas concentraciones de nanocargas. De esta manera se pudiera obtener una buena resistencia a la erosión sin afectar sustancialmente la recuperación de la hidrofobicidad, ni encarecer tanto el producto final. Para estudiar la influencia del uso conjunto de nanocargas y microcargas en la RTV SR, se realiza el presente trabajo.

CARACTERÍSTICAS DE LOS COMPUESTOS PREPARADOS

En este estudio se toma como elastómero base la silicona RTV 615 fabricada por General Electric Company. La selección de esta RTV SR se basa en que no contiene cargas y posee las mismas excelentes propiedades que las gomas de silicona empleadas en el aislamiento externo [12]. Como cargas para la preparación de los compuestos a ser estudiados se emplean la nanosílice (NS) S5505 de la compañía SIGMA-ALDRICH y la alúmina trihidratada Hydrogard-GP de ALCOA WORLD ALUMINA LLC.

Los compuestos que se prepararon para la realización de esta investigación, según las concentraciones de sus componentes expresadas en porcentaje de la masa total del compuesto, están constituidos por:

- 95% de RTV 615 y 5% de nanosílice.
- 80% de RTV 615 y 20% de ATH.
- 75% de RTV 615, 20% de ATH y 5% de nanosílice.

La preparación de todos los compuestos se realiza según el procedimiento descrito en [13].

CARACTERÍSTICAS DE LOS ENSAYOS

La comparación entre los diferentes compuestos preparados se basa en la resistencia a la erosión, la circulación de corrientes de fuga superficiales en condiciones de niebla salina y la pérdida y recuperación de la hidrofobicidad.

EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA EROSIÓN

La pérdida de masa de los diferentes compuestos elaborados es uno de los parámetros que permite medir y evaluar la resistencia a la erosión de los mismos cuando son sometidos a un estrés eléctrico. En este ensayo se utiliza el método del plano inclinado a tensión constante propuesto en la norma IEC 60587:2007 [14]. De acuerdo con dicha norma, los objetos de prueba se someten a una tensión constante de 3.5 kV por un período de seis horas, mientras se hace circular por su superficie inferior un contaminante cuya resistividad es de $3.95 \pm 0.05 \text{ } \Omega \cdot \text{m}$ a $23 \text{ } ^\circ\text{C} \pm 1 \text{ } ^\circ\text{C}$.

CIRCULACIÓN DE CORRIENTES DE FUGA SUPERFICIALES EN CONDICIONES DE NIEBLA SALINA

Uno de los métodos para caracterizar el comportamiento de un aislador, independientemente del material que esté compuesto, es valorar los niveles de corriente de fuga que tiene el mismo en determinadas condiciones. En el caso particular de los recubrimientos elastoméricos, la circulación de estas corrientes de fuga puede influir en la erosión de su superficie.

Para la realización de este ensayo se toman como referencia las condiciones descritas en [15-16]. En la preparación del ensayo se recubren aisladores de vidrio tipo disco con los diferentes recubrimientos elaborados. Los aisladores se colocan dentro de una cámara de niebla construida para este fin con

dimensiones de 1,2 x 1,0 x 1,0 m. En dicha cámara se ubican dos aspersores de forma tal que se evite la incidencia directa de la niebla salina sobre los aisladores. En la figura 1, se muestra el esquema de la vista superior de la cámara.

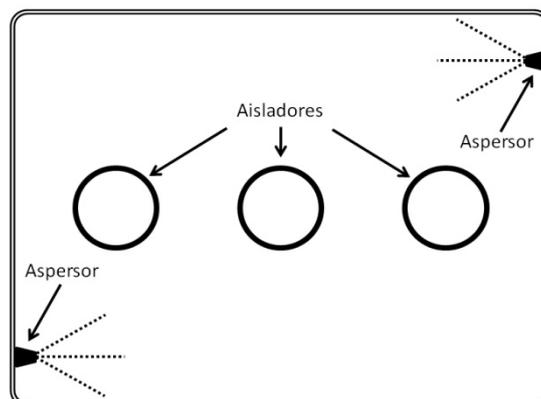


Fig. 1. Esquema de la vista superior de la cámara de niebla salina.

A cada aislador se le aplica una tensión de 16 kV para lograr 0,5 kV por centímetro de longitud de fuga. El flujo de agua hacia el interior de la cámara se ajusta a $1,6 \pm 0,1 \text{ dm}^3/\text{min}$, con una presión del aire de $0,55 \pm 0,02 \text{ MPa}$ y la salinidad del agua se mantiene constante en $1000 \pm 3\% \text{ } \mu\text{S}/\text{cm}$.

La fuente de alta tensión se conecta a los aisladores por el pin inferior, el herraje superior de los mismos se conecta al sistema de medición, compuesto por un osciloscopio conectado en paralelo a una resistencia de 1 k Ω , como muestra el esquema de la figura 2.

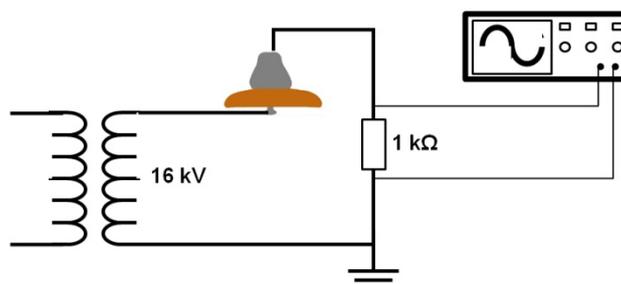


Fig. 2. Esquema de medición de la corriente de fuga.

Los aisladores se mantienen con tensión aplicada de forma constante durante ciento veinte horas. Este tiempo se divide en cinco ciclos de veinticuatro horas cada uno. Al inicio de cada ciclo se comienza a aplicar la niebla salina durante un período de seis horas de duración, seguido de dieciocho horas sin niebla salina, pero con tensión aplicada.

Las mediciones de corriente se realizan en tres momentos diferentes de cada ciclo:

- Antes de aplicar la niebla salina.
- Treinta minutos después de comenzada la aplicación de la niebla salina.
- Antes de retirar la niebla salina.

PÉRDIDA Y RECUPERACIÓN DE LA HIDROFOBICIDAD

La principal propiedad que justifica el uso de elastómeros en el aislamiento externo es su hidrofobicidad, sobre todo en ambientes con altos niveles de contaminación [7]. En el caso específico de la silicona, la capacidad de recuperación de la hidrofobicidad es consecuencia de la transferencia de las cadenas libres de PDMS desde las capas internas hacia las capas externas del material. Para poder analizar este comportamiento se hace necesario combinar condiciones de alta contaminación y humedad con métodos de medición de la hidrofobicidad de los recubrimientos elaborados.

Para lograr esas condiciones de contaminación y humedad se decide aplicar el método de la niebla salina descrito en la sección anterior como procedimiento que aseguraría las condiciones de contaminación y humedad necesarias para evaluar la pérdida y recuperación de la hidrofobicidad.

La metodología que se emplea para realizar las mediciones de hidrofobicidad es la propuesta por el STRI [17], basada en comparación de imágenes.

Las mediciones del nivel de hidrofobicidad, según el método STRI, se realizan en cuatro momentos diferentes:

1. Antes de comenzar el ensayo de la cámara de niebla salina, para conocer el valor inicial de la hidrofobicidad de los recubrimientos preparados.
2. Al finalizar el ensayo de la cámara de niebla salina, para conocer la pérdida de hidrofobicidad que provoca el mismo.
3. A los tres días de finalizado el ensayo de la cámara de niebla salina.
4. A los diez días de finalizado el ensayo de la cámara de niebla salina.

Las dos últimas mediciones se realizan para conocer la velocidad de recuperación de la hidrofobicidad.

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

Evaluación de la resistencia a la erosión

Los resultados del ensayo de resistencia a la erosión de cada compuesto, expresados en términos de porcentaje de pérdida de masa, se muestran en la figura 3. Un análisis de varianza de estos resultados, apoyado por la prueba de Duncan, arrojó que los compuestos se pueden dividir en dos grupos según su resistencia a la erosión. En un grupo se encuentra el compuesto considerablemente más afectado por la erosión, el cual contiene como carga solamente 5% de nanosílice y en el otro grupo, con valores similares de pérdida de masa, los dos compuestos que contienen como carga ATH, ya sea de forma independiente o con nanosílice.

Estos resultados muestran la importancia que tiene el empleo de ATH como carga para aumentar la resistencia a la erosión. A su vez, es importante destacar que el compuesto que presenta los menores valores de pérdida de masa es el que contiene conjuntamente nanocargas con microcargas.

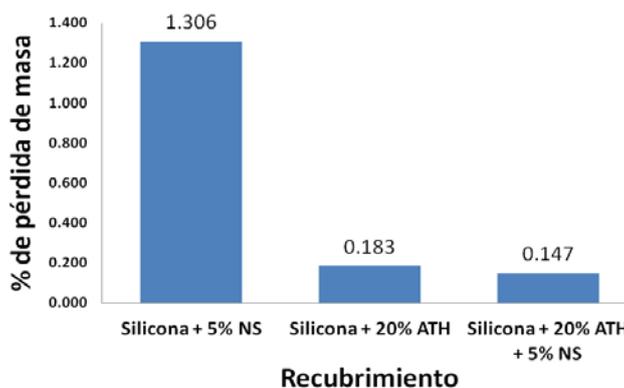


Fig. 3. Porcentaje de pérdida de masa (erosión) en cada recubrimiento.

Circulación de corrientes de fuga superficiales en condiciones de niebla salina

Los resultados de este ensayo se muestran en la figura 4, en la misma se observa que para los tres recubrimientos los valores de corriente de fuga aumentaron con el tiempo de exposición de los aisladores a la niebla salina en cada ciclo. Además, una vez pasadas las dieciocho horas de descanso de la niebla salina, aun manteniéndose la tensión aplicada, en todos los casos disminuyó la circulación de corrientes de fuga. No obstante, en ninguno de los recubrimientos los valores de corriente al inicio de cada ciclo de ensayo fueron iguales o inferiores a los del ciclo precedente. Es importante destacar que en el último ciclo de niebla salina los menores valores de corriente de fuga los presenta el recubrimiento que usa conjuntamente nanocargas y microcargas.

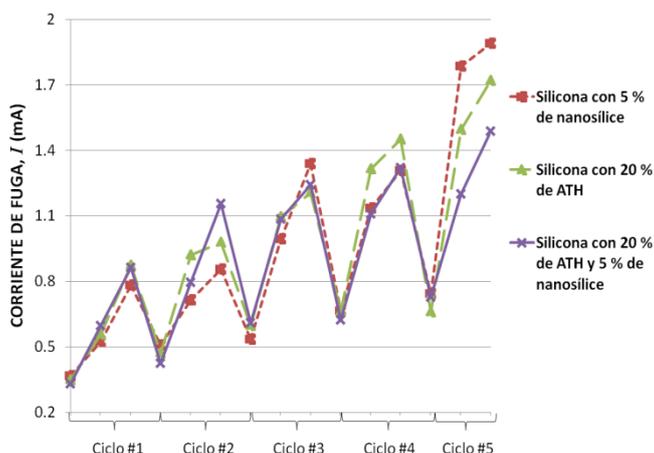


Fig. 4. Resultados obtenidos en el ensayo de la cámara de niebla.

Para verificar si durante este ensayo se produce un envejecimiento de los recubrimientos, el inverso de los valores de corriente medidos antes de comenzar a aplicar la niebla salina en cada ciclo fueron sometidos a una regresión simple, comparándolos con un modelo exponencial decreciente. Los resultados de esta regresión muestran, para todos los recubrimientos, que existe una relación estadísticamente significativa mayor al 95% entre el inverso de los valores de corriente medidos al inicio de cada ciclo y un modelo exponencial decreciente. Esto indica que el ensayo de la cámara de niebla salina produce el envejecimiento de los recubrimientos. La figura 5, muestra las tendencias logarítmicas de los resultados para las condiciones más extremas de contaminación y humedad del ensayo (antes de retirar la niebla salina). En esta figura se observa que con el paso de los ciclos los mayores valores de corriente de fuga fueron los que se obtuvieron con el recubrimiento que contenía como carga solamente 5% de nanosilíce y que la tendencia de los menores valores de corriente de fuga es para el recubrimiento que contiene conjuntamente nanocargas y microcargas. Estos resultados se pueden deber a que al usar conjuntamente nanocargas y microcargas, las nanocargas ocupan los espacios entre las microcargas, disminuyendo las distancias entre las partículas, lo que aumenta la conductividad térmica del elastómero y con ello su resistencia a la degradación. Este hecho influye positivamente en el comportamiento de estos elastómeros en condiciones de alta contaminación y humedad.

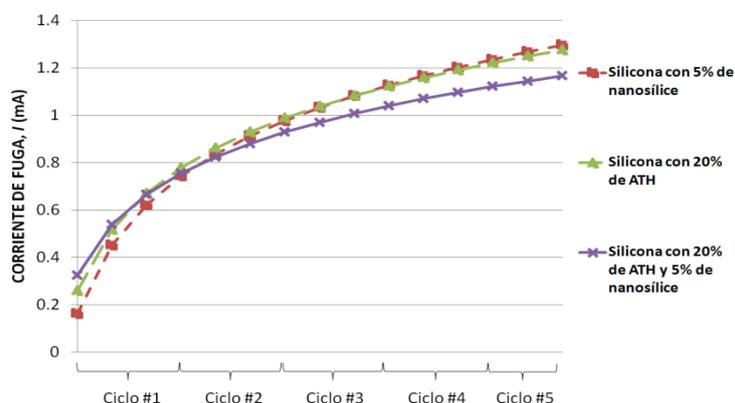


Fig. 5. Curvas de tendencia logarítmica de de las mediciones de corriente de fuga antes de retirar la niebla salina en cada ciclo.

Pérdida y recuperación de la hidrofobicidad

Los resultados de las mediciones de hidrofobicidad se muestran en la figura 6. Como se puede apreciar, antes de comenzar el ensayo todos los recubrimientos, con independencia de su formulación, presentaban el mayor nivel de hidrofobicidad posible según la clasificación propuesta en [17], la que establece como mayor nivel de hidrofobicidad $HC=1$. También es posible observar que una vez finalizado este ensayo, todos los recubrimientos habían perdido al menos un nivel en la escala propuesta en [17]. En el caso de los recubrimientos que contienen las cargas de manera independiente, su comportamiento exhibía al finalizar el

ensayo una disminución de hidrofobicidad hasta $HC=3$, pero ambos recuperaron parte de su hidrofobicidad hasta $HC=2$. De estos dos recubrimientos, el proceso de recuperación de la hidrofobicidad más lento fue el del recubrimiento con sólo el 5% de nanosílice. Esto se debe a que el mismo es más afectado por la erosión, como arrojaron los resultados de resistencia a la erosión, lo cual limita la migración hacia su superficie de las cadenas libres de PDMS, haciendo más lento el proceso de recuperación de la hidrofobicidad.

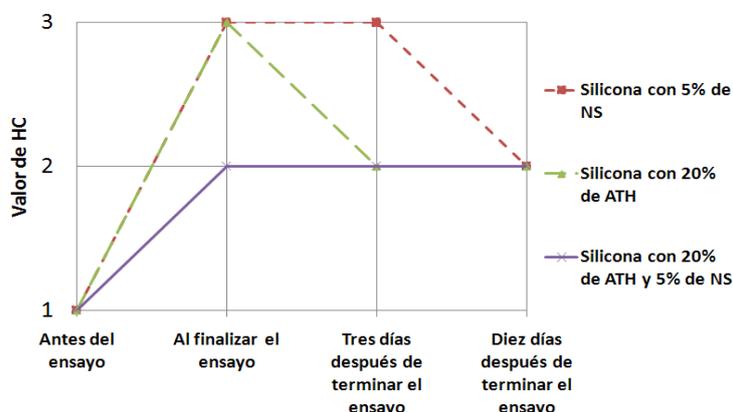


Fig. 6. Resultados de las mediciones del nivel de hidrofobicidad.

La menor pérdida de la hidrofobicidad se presentó en el recubrimiento que contenía conjuntamente como cargas nanosílice y ATH, que sólo perdió un nivel en hidrofobicidad ($HC=2$). Este resultado es consistente con el obtenido en la evaluación de la resistencia a la erosión, pues fue este recubrimiento el que menos sufrió los efectos de la erosión, que es una de las principales causas de la pérdida de la hidrofobicidad en el aislamiento polimérico. Además, este comportamiento con respecto a la hidrofobicidad se reflejó en el ensayo de la cámara de niebla salina, pues fue el recubrimiento que usaba conjuntamente nanosílice y ATH el que presentó los menores valores de corriente de fuga.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en el presente trabajo indican que cuando se usan conjuntamente nanosílice y ATH como cargas para los recubrimientos de RTV SR empleados en el aislamiento externo, el desempeño de los mismos es superior que si estas cargas se usan independientemente.

RECONOCIMIENTOS

Los autores desean agradecer por su apoyo a CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) a través del proyecto CAPES/MES- 093/10. Además, al Dr. Luiz H. Meyer, del Departamento de Ingeniería Eléctrica y Telecomunicaciones de la Universidad de Blumenau, SC en Brasil por la ayuda prestada y las contribuciones hechas a la realización de este trabajo.

REFERENCIAS

- [1]. S.M. Gubanski, "Properties of silicone rubber housings and coatings", *IEEE Trans. Electr. Insul.*, vol. 27, n.º 2, pp. 374 - 382, abr. 1992.
- [2]. Suwarno y F. Pratomosiwi, "Application of RTV Silicone Rubber coating for improving performances of ceramic outdoor insulator under polluted condition", presentado en Electrical Engineering and Informatics, 2009. ICEEI '09. International Conference on, Selangor, Malaysia, 2009, vol. 2, p. 581 - 587.
- [3]. E. Coser, C. A. Ferreira, J.M.G. Angelini, B. J. G. de Aragão, y I. P. Almirall, "Mechanical Analysis of Silicone Rubber used on the Cover of Polymeric Insulators", *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 8, n.º 6, p. 653-657, dic. 2010.
- [4]. E. Coser, C. A. Ferreira, J. M. G. Angelini, y I. P. Almirall, "Study of Kinetic Behavior of the Silicone Rubber Used in the Involucre of the Polymeric Insulators", *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 9, n.º 7, p. 1073-1078, dic. 2011.

- [5]. Jia Zhidong, Gao Haifeng, Wang Liming, Guan Zhicheng, y Yang Jie, "Study on the hydrophobic transfer based on the theory of absorption and cohesion". Presented en Properties and Applications of Dielectric Materials, 2003. Proceedings of the 7th International Conference on. vol. 1, p. 162 - 166.
- [6]. E. Cherney, "RTV Silicone Rubber Pre-Coated Ceramic Insulators for Transmission Lines", presentado en X Congreso Internacional en Alta Tensión y Aislamiento Eléctrico, ALTAE 2011, La Habana, Cuba, 2011.
- [7]. K. Siderakis, D. Agoris, y S.M. Gubanski, "Salt Fog Evaluation of RTV SIR Coatings With Different Fillers", *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 23, n.º 4, p. 2270 - 2277, oct. 2008.
- [8]. J.M. Seifert y D. Stefanini, "High Pollution Resistant Composite Insulators", presentado en High Voltage Engineering and Application, 2008. ICHVE 2008. International Conference on, 2008, p. 32-35.
- [9]. Ed Cherney, Tony Baker, y Yom Rozek, "Accelerated multistress aging of polymeric insulators", presentado en XII Internatinal Symposium on High Voltage Engineering, Bangalore, India, 2001.
- [10]. B. Venkatesulu y M.J. Thomas, "Erosion resistance of alumina-filled silicone rubber nanocomposites", *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.*, vol. 17, n.º 2, p. 615 - 624, abr. 2010.
- [11]. L.H. Meyer, S.H.L. Cabral, E. Araújo, G. Cardoso, y N. Liesenfeld, "Use of nano-silica in silicone rubber for ceramic insulators coatings in coastal areas", presentado en Electrical Insulation, 2006. Conference Record of the 2006 IEEE International Symposium on, Toronto, Ont, 2006, p. 474 - 477.
- [12]. I. Ramirez, S. Jayaram, E. Cherney, M. Gauthier, y L. Simon, "Erosion resistance and mechanical properties of silicone nanocomposite insulation", *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.*, vol. 16, n.º 1, p. 52 - 59, feb. 2009.
- [13]. I. P. Almirall, D. Cibebe, M. Castro, E. Guedes, y A. Germano, "Nanosílice como carga en la RTV SR usada para cubrir aisladores", *Ing. Energética*, vol. 33, n.º 1, p. 9-15, ene. 2012.
- [14]. IEC 60587, "Test method for evaluating resistance to tracking and erosion of electrical insulating materials used under severe ambient conditions". 2007.
- [15]. Hui Deng y Hackam, R., "Low-molecular weight silicone fluid in RTV silicone rubber coatings", *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.*, vol. 6, n.º 1, p. 84 - 94, feb. 1999.
- [16]. H. Deng, R. Hackam, y E.A. Cherney, "Role of the size of particles of alumina trihydrate filler on the life of RTV silicone rubber coating", *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 10, n.º 2, p. 1012 - 1024, abr. 1995.
- [17]. Swedish Transmission Research Institute (STRI), "Hydrophobicity Classification Guide". Guide_1_92_1, 1992.

AUTORES

Ignat Pérez Almirall,

Ingeniero Electricista, Doctor en Ciencias Técnicas, Profesor Auxiliar ,Centro de Investigaciones y Pruebas Electroenergética, CIPEL. Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae, La Habana, Cuba.
e-mail: ignat@electrica.cujae.edu.cu

Daniella Cibebe Bezerra,

Licenciada en Química, Doctora en Ciencias e Ingeniería de Materiales, Universidad Federal de Campina Grande, Paraíba, Brasil.
e-mail: daniellacibebe@gmail.com

Edson Guedes da Costa,

Obtuvo la licenciatura, la maestría y el grado de Doctor en Ciencias, todos en Ingeniería Eléctrica, en la Universidad Federal de Paraíba., trabaja en la Universidad Federal de Campina Grande (UFCG), Paraíba, Brasil.
e-mail: edson@dee.ufcg.edu.br

Miguel Castro Fernández,

Ingeniero Electricista, Doctor en Ciencias Técnicas, Investigador Auxiliar. Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae, La Habana, Cuba.
e-mail: mcastro@electrica.cujae.edu.cu