



## TRABAJO TEORICO EXPERIMENTAL

### **Nanosílice como carga en la RTV SR usada para cubrir aisladores**

### **Nanosilica as filler in the Room temperature vulcanized silicone rubber used to coat insulators**

Ignat - Pérez Almirall  
Daniella - Cibele Bezerra  
Miguel - Castro Fernández

Edson - Guedes da Costa  
André - Germano Dantas

Recibido: Noviembre del 2011

Aprobado: Enero del 2012

#### **Resumen/ Abstract**

En el presente trabajo se realiza un estudio sobre la influencia que tiene agregar como carga nanosílice a la goma de silicona vulcanizada a temperatura ambiente (RTV SR, por sus siglas en inglés) que es empleada para cubrir aisladores de vidrio o de porcelana. Con este objetivo se observó la dispersión de la nanosílice en la RTV SR por medio de microscopía electrónica de barrido (MEV, por sus siglas en inglés), se midió la permitividad de la RTV SR con y sin nanosílice para varias frecuencias y se evaluó la influencia que tiene la nanosílice en la resistencia a la erosión. Además fueron medidas las corrientes de fuga durante ensayos de niebla salina a aisladores de vidrio pintados con estos recubrimientos, analizando también la pérdida de hidrofobicidad que ocurre durante el ensayo y su recuperación una vez finalizado el mismo.

**Palabras clave:** recubrimientos de silicona vulcanizada a temperatura ambiente, nanocargas, corrientes de fuga, erosión, hidrofobicidad.

*The present research work carries out a study on the influence of nanosilica on room temperature vulcanized silicone rubber (RTV SR) used to coat insulators. Considering this objective, the dispersion of nanosilica was observed by means of scanning electron microscopy (MEV), the permittivity of the room temperature vulcanized silicone rubber was measured with and without nanosilica for different frequencies and the influence of nanosilica in erosion resistance. Leakage currents were also measured during salt spray tests to glass insulators covered with these coatings; the loss of hidrophobicity during the test was also measured and its recovery was analyzed the test was finished.*

**Keywords:** room temperature vulcanized silicone rubber coatings, nanofillers, leakage currents, erosion, hidrophobicity.

#### **INTRODUCCIÓN**

Cuando sobre la superficie de la RTV SR empleada para cubrir aisladores de vidrio o de porcelana se combinan la deposición de contaminantes con la presencia de humedad, el comportamiento dieléctrico de la misma se puede ver seriamente afectado, además de disminuir su vida útil debido a que la RTV SR se puede erosionar [1]. Lo anterior se debe a que bajo estas condiciones puede afectarse la hidrofobicidad de la capa que recubre la superficie del aislador, provocando un aumento en la circulación de corrientes superficiales, situación que favorece el desarrollo de las bandas secas, con una posible ruptura disruptiva del aislamiento[2]. Una de las formas de aumentar la resistencia a la erosión, consiste en agregar a la RTV SR cargas como la

alúmina trihidratada (ATH) o la sílice [3]. Estudios recientes muestran que cuando son empleadas nanocargas, esta resistencia aumenta en comparación al uso de las cargas tradicionales cuyas partículas son del orden de micrómetros [4].

En este trabajo se realizará una comparación entre RTV SR pura y RTV SR a la que se le agregó nanosílice. La comparación es basada en la influencia que tiene la nanosílice en la permitividad relativa de la RTV SR, la resistencia a la erosión, la limitación de la circulación de las corrientes de fuga en condiciones de niebla salina y la recuperación de la hidrofobicidad. Pero primeramente se analizará la dispersión de la nanosílice en la RTV SR por medio de MEV.

## METODOLOGÍA

### Materiales

Como polímero base para la realización de este trabajo se utilizó la silicona RTV615 fabricada por General Electric Company, pues esta silicona no contiene cargas y posee las mismas excelentes propiedades que las gomas de silicona empleadas en el aislamiento externo [5]. La nanosílice empleada como carga fue la S5505 de la compañía SIGMA-ALDRICH, con un tamaño de partícula de 14 nm.

Para los ensayos de medición de corriente de fuga en condiciones de niebla salina, se emplearon aisladores de vidrio del tipo estándar con una longitud de fuga de 32 cm.

### Preparación de las Muestras

En la tabla 1, se muestran las características de los dos compuestos preparados.

**Tabla 1. Características de los dos compuestos preparados.**

<b>Compuesto</b>	<b>Concentraciones de la RTV SR y la nanosílice en peso</b>
<b>A</b>	100% de RTV SR
<b>B</b>	95% de RTV SR y 5% de nanosílice

La nanosílice fue agregada al polímero por medio de un mezclador rotatorio modelo FISATOM-713D. La mezcla fue posteriormente colocada en un baño ultrasónico modelo UNIQUE-UltraCleaner 1450A. Para retirar las burbujas de aire en exceso se usó el método de desgasificación en una cámara de vacío.

Una vez obtenido el material base, se colocó en un molde y se dejó curar a temperatura ambiente por 24 horas para de esta forma obtener las muestras destinadas para el análisis de la dispersión de la nanosílice en la matriz polimérica, la medición de la permitividad relativa, y la resistencia a la erosión.

Para los ensayos de medición de corriente de fuga en condiciones de niebla salina, el material base fue depositado sobre aisladores con los mismos compuestos preparados; los aisladores así preparados se dejaron secar a temperatura ambiente por 24 horas.

### Dispersión de la NANOSÍLICE en la RTV SR

Para analizar la distribución de la nanosílice en la matriz polimérica de RTV SR se utilizó un microscopio electrónico de barrido, marca Philips, modelo XL30 FEG.

### Medición de la Permitividad Relativa para varias frecuencias

Para la realización de este ensayo se utilizó un puente de Schering TR-9701; para obtener las cuatro frecuencias diferentes (0,1 Hz, 1 kHz, 10 kHz y 100 kHz) con que se realizó el ensayo, fue utilizado un generador de señales GoldStar FG-8002. Estas mediciones se realizaron a 27 °C.

Las muestras utilizadas en la medición de la permitividad relativa tenían 176 mm de diámetro y 5 mm de altura. Las cuales se muestran en la figura 1.

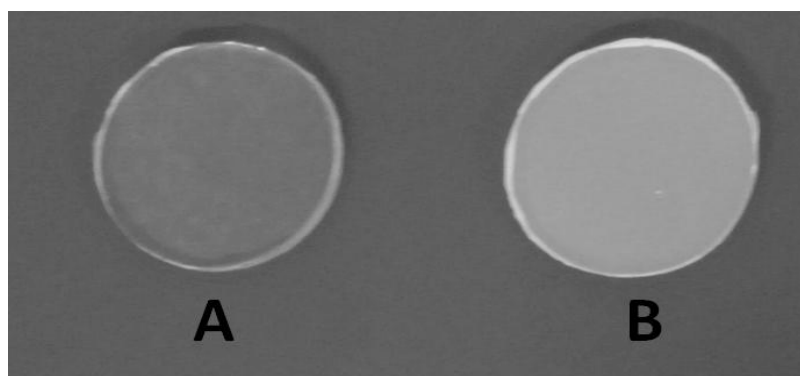


Fig. 1. Muestras utilizadas en la medición de la permitividad relativa.

### Evaluación de la resistencia a la erosión

La evaluación de la resistencia a la erosión se realizó según la norma IEC 60587 [6], por el método de aplicación de tensión constante, cuyo valor fue 3,5 kV. Las muestras utilizadas en este ensayo se muestran en la figura 2.

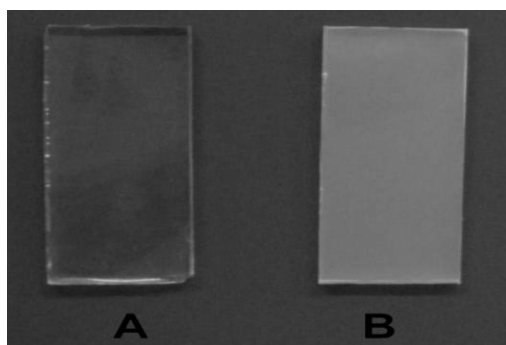


Fig. 2. Muestras utilizadas en la medición de la resistencia a la erosión.

### Medición de las corrientes de fuga en condiciones de niebla salina

Para la realización de esta prueba, los aisladores fueron colocados en grupos de tres dentro de una cámara de niebla de 1,2 x 1,0 x 1,0 m; en la cual los aspersores se ubicaron de forma tal que evitasen la incidencia directa de la niebla sobre los aisladores, como se muestra en el esquema de una vista superior de la cámara de niebla en la figura 3.

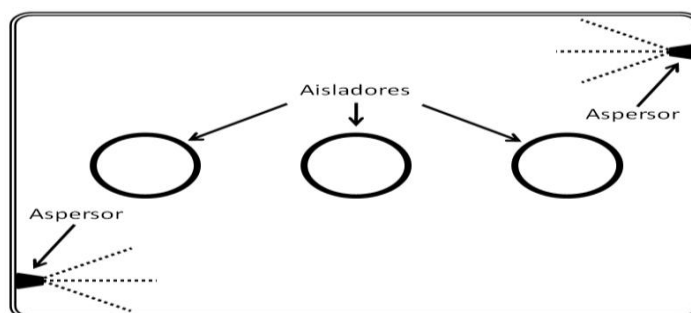


Fig. 3. Esquema superior de la cámara de niebla.

Para lograr 0,5 kV efectivos por centímetro de longitud de fuga, la tensión aplicada a cada aislador fue de 16 kV efectivos. El flujo de agua hacia el interior de la cámara se ajustó a  $1,6 \pm 0,1$  L/min y la salinidad se mantuvo constante con un valor de  $1000 \pm 3\%$   $\mu\text{S}/\text{cm}$  [7].

Como fuente de alta tensión se utilizó un transformador FERRANTI 220/60 000, que fue conectada a los aisladores por el agarre inferior y de la parte superior de los mismos salía una conexión hacia el sistema de medición, compuesto por un osciloscopio Tektronix-TSD2014 conectado en paralelo a una resistencia de 1 k $\Omega$ .

Los aisladores se mantuvieron con tensión aplicada de forma constante durante cinco días (120 horas) y el ciclo de niebla salina consistió en seis horas de aplicación de la misma, seguidas de dieciocho de descanso.

Las mediciones de corriente fuga se realizaron antes de retirar la niebla al finalizar cada ciclo, obteniéndose el valor eficaz.

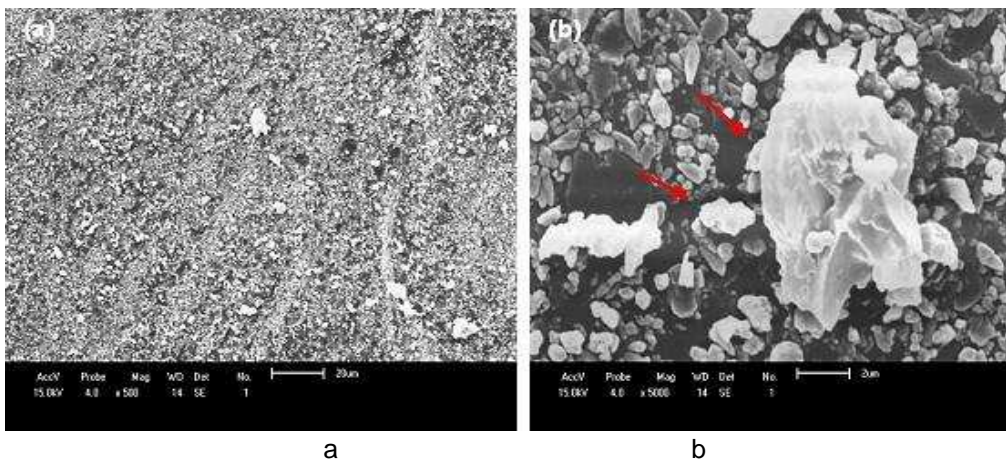
**Clasificación Hidrofobicidad**

La clasificación de la hidrofobicidad de la cubierta polimérica de los aisladores ensayados se realizó según el método propuesto por la Guía STRI [8]. Estas mediciones se realizaron antes de comenzar el ensayo, en el momento que este concluyó, así como tres y diez días después de terminar el mismo.

**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

**Dispersión de la NANOSÍLICE en la RTV SR**

La figura 4, presenta las imágenes obtenidas por MEV de la sección transversal, del compuesto de RTV SR que contenía 5% en peso de nanosilíce.

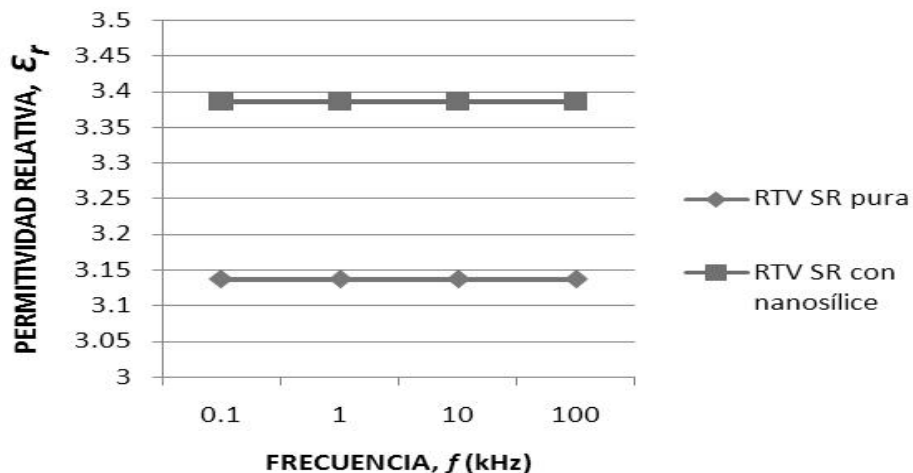


**Fig. 4. Fotomicrografías obtenidas por MEV de la sección transversal del compuesto de RTV SR con 5% de nanosilíce. (a) Aumentado 500 veces, (b) Aumentado 5 000 veces.**

Cuando se realiza un aumento de 500 veces (figura 4 a), se observa una buena distribución de las partículas de nanosilíce en la matriz polimérica, aunque al realizar un aumento de 5000 veces (figura 4 b), se aprecia la formación de aglomerados en algunas regiones. Esto se puede deber a la característica nanométrica del polvo de la nanosilíce y el método de mezclado, lo que posiblemente dificultó una mejor homogenización.

**Medición de la Permitividad Relativa para varias frecuencias**

Los resultados de las mediciones de la permitividad relativa realizados a la RTV SR pura y sin carga, para diferentes frecuencias se muestran en la figura 5.



**Fig. 5. Variación de la permitividad relativa con la frecuencia.**

La RTV SR pura y la RTV SR con 5% en peso de nanosílice mantuvieron el valor de su permitividad relativa constante para las diferentes frecuencias, en 3,137 y 3,386 respectivamente; para una variación del 7,94%. Esto se puede deber a que para esas bajas concentraciones de cargas las características dieléctricas de la RTV SR no son afectadas significativamente.

### Evaluación de la resistencia a la erosión

Los resultados del ensayo de resistencia a la erosión, mostrados en la tabla 2, demuestran que la nanosílice aumenta la resistencia a la erosión de la RTV SR, lo cual indica la ventaja de agregar nanosílice a la RTV SR para aumentar su resistencia a la erosión.

**Tabla 2. Resultados del ensayo de resistencia a la erosión.**

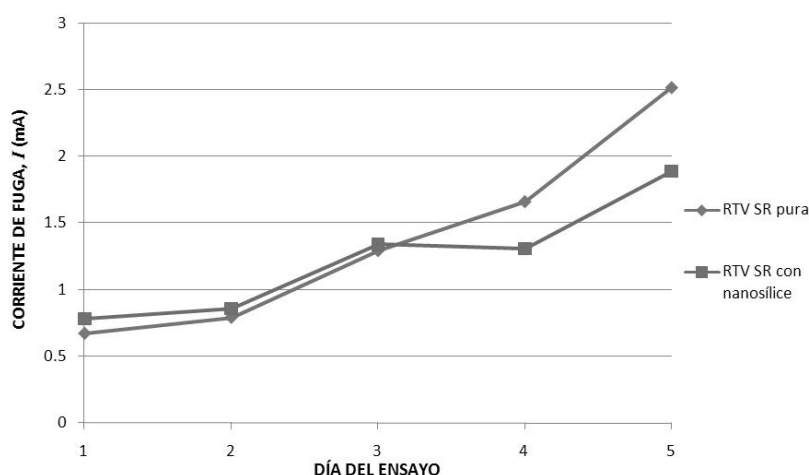
Compuesto	Profundidad de la erosión	Pérdida de masa
RTV SR pura	6 mm	4,64%
RTV SR con 5% de nanosílice	4,9 mm	1,30%

### Ensayo en la Cámara de Niebla

La figura 6, muestra los valores eficaces de corriente de fuga obtenidos antes de retirar la niebla salina al finalizar cada ciclo.

Como se puede apreciar, durante los primeros ciclos, la RTV SR pura presentó menores valores de corriente de fuga que la RTV SR que contenía un 5% de nanosílice como carga. Esto puede deberse a que al agregar cargas en la RTV SR aumenta la rugosidad de su superficie lo que facilita la deposición de contaminantes sobre la misma [9].

Pero con el paso de los días la situación se invierte, aumentando significativamente los valores de las corrientes en los aisladores cubiertos con RTV SR pura, debido a que al no presentar ningún tipo de cargas que la protejan contra la erosión, la misma se degrada con mayor rapidez que la RTV SR con cargas [10], lo cual además de dificultar la recuperación de la hidrofobicidad, facilita la deposición de contaminantes en su superficie, conllevando a un aumento en la circulación de corrientes.



**Fig. 6. Variación de la corriente de fuga con los días, en mediciones realizadas antes de retirar la niebla salina.**

### Recuperación de la Hidrofobicidad

La figura 7, muestra los valores de hidrofobicidad que se obtuvieron de las cubiertas de RTV SR antes de comenzar el ensayo con la niebla salina, en el momento que este concluyó, así como tres y diez días después de terminar el mismo.

Como se puede apreciar, tanto la cubierta de RTV SR pura como la que contenía 5% en peso de nanosílice presentaban el nivel más elevado de hidrofobicidad (HC = 1) antes de comenzar el ensayo, pero durante el mismo disminuyeron su hidrofobicidad; siendo la cubierta de RTV SR pura la que más perdió hidrofobicidad (HC = 4). Esto se debió a que no contenía ningún tipo de cargas que la pudiesen proteger contra la erosión. Sin embargo, la cubierta que contenía 5% en peso de nanosílice, aunque perdió hidrofobicidad durante el ensayo, esta pérdida fue menor (HC = 3). Estos resultados se corroboran con los obtenidos en las mediciones de corriente de fuga vistos en la sección anterior.

En la figura 7, también se puede observar que en ambos casos, a los tres días de finalizar el ensayo no había ocurrido una recuperación de la hidrofobicidad. Sin embargo a los diez días de finalizar el mismo, en ambos casos, la hidrofobicidad se había recuperado en un nivel; lo cual se puede explicar debido a la migración de las cadenas libres de polidimetisiloxano hacia la superficie [11].

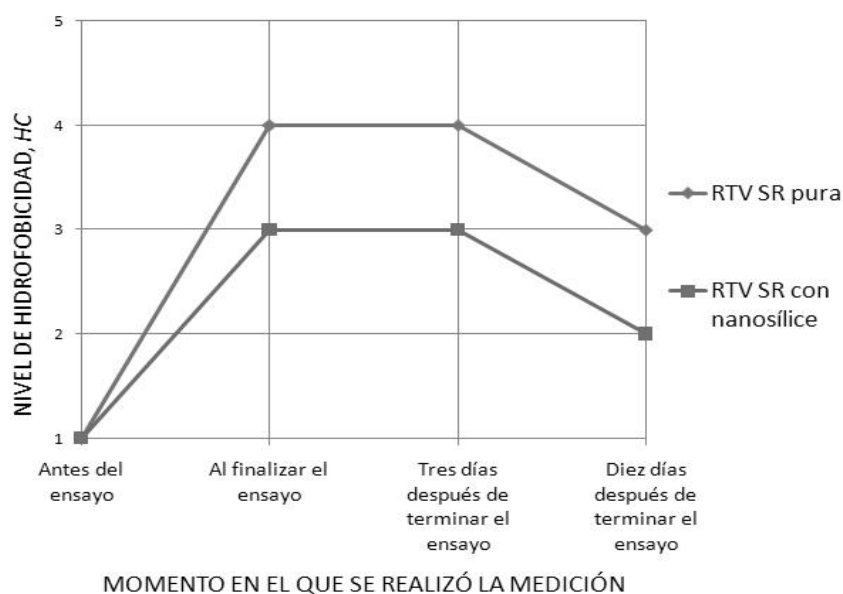


Fig. 7. Variación de los niveles de hidrofobicidad de las diferentes RTV SR que cubrían a los aisladores sometidos al ensayo de niebla salina.

## CONCLUSIONES

Basándose en los resultados obtenidos durante el estudio realizado, se puede concluir que el empleo de la nanosílice como carga en la RTV SR, limita el proceso de pérdida de su hidrofobicidad, aumenta su resistencia a la erosión, reduciendo así el valor de la corriente de fuga en comparación a la RTV SR pura.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer 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]. CHERNEY, E., "RTV Silicone Rubber Pre-Coated Ceramic Insulators for Transmission Lines". En: presented at the X Congreso Internacional en Alta Tensión y Aislamiento Eléctrico, ALTAE. La Habana, Cuba, 2011.
- [2]. HUAFENG SU, Z. J.; *et al.*, "Mechanism of contaminant accumulation and flashover of insulator in heavily polluted coastal area". IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation. Octubre 2010, vol.17, n.5, p. 1635-1641, ISSN 1070-9878.
- [3]. SIDERAKIS, K. ; AGORIS, D.; *et al.*, "Salt Fog Evaluation of RTV SIR Coatings With Different Fillers". IEEE Transactions on Power Delivery. Octubre 2008, vol.23, n.4, p. 2270-2277, ISSN 0885-8977.

- [4]. VENKATESULU, B.; T., M.J., "Erosion resistance of alumina-filled silicone rubber nanocomposites". IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation. Abril 2010, vol.17, n.2, p. 615-624, ISSN 1070-9878.
- [5]. RAMIREZ, I.; *et al.*, "Erosion resistance and mechanical properties of silicone nanocomposite insulation". IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation. Febrero 2009, vol.16, n.1, p. 52-59, ISSN 1070-9878.
- [6]. IEC 60587. "Test method for evaluating resistance to tracking and erosion of electrical insulating materials used under severe ambient conditions". 2007.
- [7]. DENG, H.; *et al.*, "Influence of thickness, substrate type, amount of silicone fluid and solvent type on the electrical performance of RTV silicone rubber coatings". IEEE Transactions on Power Delivery. Enero 1996, vol.11, n.1, p. 431-443, ISSN 0885-8977.
- [8]. SWEDISH TRANSMISSION RESEARCH INSTITUTE (STRI). "Hydrophobicity Classification Guide Guide\_1\_92\_1". 1992.
- [9]. HUI, DENG ; HACKAM, R., "Low-molecular weight silicone fluid in RTV silicone rubber coatings one rubber coatings". IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation. Febrero 1999, vol.6, n.1, p. 84-94, ISSN 1070-9878.
- [10]. MEYER, L.; *et al.*, "The effect of ATH and silica on tracking and erosion resistance of Silicone rubber compounds for outdoor insulation, presented at the Electrical Insulation". En: Conference Record of the 2002 IEEE International Symposium on. Boston, MA, USA, 2002, p. 271-274, ISBN 0780373375.
- [11]. JIA ZHIDONG, G. H., "Study on the hydrophobic transfer based on the theory of absorption and cohesion presented at the Properties and Applications of Dielectric Materials". En: Proceedings of the 7th International Conference on. 2003, p. 162-166, ISBN 0780377257.

## AUTORES

### **Ignat Pérez Almirall.**

Ingeniero Electricista, Máster en Ingeniería Eléctrica. Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, CUJAE, La Habana, Cuba.  
e-mail: [ignat@electrica.cujae.edu.cu](mailto:ignat@electrica.cujae.edu.cu)

### **Daniella Cibele Bezerra.**

Licenciatura en Química, Máster en Ciencia e Ingeniería de Materiales Actualmente es estudiante de doctorado en Ciencia e Ingeniería de Materiales de la Universidad Federal de Campina Grande, donde también labora. Brasil.

### **Miguel Castro Fernández.**

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

### **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. Dr. Guedes es miembro de CIGRE y la SBA.  
e-mail: [edson@dee.ufcg.edu.br](mailto:edson@dee.ufcg.edu.br)

### **André Dantas Germano.**

Obtuvo la licenciatura y la maestría en Ingeniería Eléctrica, en la Universidad Federal de Campina Grande (UFCG). Actualmente es estudiante de doctorado en la Technische Universität München. Brasil.