DESEMPEÑO DE COMPUESTOS DE CAUCHO DE SILICONA HTV EN ENSAYOS DE ENCAMINAMIENTO ELÉCTRICO Y EROSIÓN EN CORRIENTE ALTERNADA Y EN CORRIENTE CONTÍNUA

R.C. DE JESUS*
Balestro
Brasil

A.C. BALESTRO
Balestro
Brasil

R.H. CORRAL
Balestro
Brasil

A.A. DELLALLIBERA
Balestro
Brasil

D.R. DE MELLO
CEPEL
Brasil

Resumen *– Este trabajo contiene los resultados de ensayos de encaminamiento y erosión eléctrica de compuestos de caucho de silicona diseñados para presentar alto desempeño en regiones con elevada polución. Los ensayos fueran conducidos por las normas IEC 60587[1] y NBR 10296 [2] (idénticas) y una innovación adicional es que los ensayos también fueran conducidos en corriente continua. Dos compuestos de caucho de silicona fueran estudiados en este trabajo, el primero es un material producido por una grande industria multinacional del sector de silicona, se esperaba que su compuesto soportaría una tensión de encaminamiento eléctrico y erosión de 6,00 kV, el segundo compuesto de caucho de silicona es un material experimental desarrollado por Balestro.*

Palabras clave: **Borracha de Silicone – Encaminamiento Eléctrico – Erosión, Aislador Compuesto – Corriente Alternada – Corriente Continua**

1 INTRODUCCIÓN

A cada año, las líneas de distribución y transmisión aumentan el uso equipos constituidos de materiales poliméricos, especialmente en las dos últimas décadas. La calidad de los polímeros usados para hacer el aislamiento y la cubierta protectora de aisladores y pararrayos quizás sea una de las mayores preocupaciones de las concesionarias eléctricas. Sin embargo, los materiales poliméricos evolucionaron desde los primeros aisladores poliméricos, en especial con la utilización de los compuestos de caucho de silicona [3].

Ya es consenso en el mundo que los compuestos de silicona son los más indicados para hacer aisladores y pararrayos poliméricos debido a las superiores propiedades de aislamiento, hidrofobicidad, resistencia a polución y ataque químicos. Pero aunque es preciso conocer y certificarse que los compuestos de caucho de silicona empleados en los equipamientos de líneas eléctricas son de calidad satisfactorias especialmente para regiones de alta polución, tanto de origine natural (costas marinas y volcanes, por ejemplo) cuanto de origine humana (pulverización agrícola, humos industriales y de automotores) [4].

Dos compuestos de caucho de silicona fueran estudiados en esto trabajo. El primero es un compuesto producido por un grande fabricante multinacional del sector de silicona que supuestamente soportaría un ensayo de encaminamiento de 6,00 kV segundo las informaciones de catálogo del fabricante, esto compuesto presentó el mejor desempeño en el ensayo de encaminamiento y erosión entre los compuestos comerciales y por esto fue seleccionado para esto trabajo, es posible que presentemos los dados de encaminamiento y erosión de otros compuestos comerciales de silicona en otro artigo. El segundo material es un material experimental totalmente desarrollado en Balestro que todavía no es usado en la fabricación de los

* Rua Santa Cruz, 1550, Santa Cruz, Mogi-Mirim, SP – BR. CEP: 13800-911 – e-mail: rodolfocardoso@balestro.com

equipamientos en Balestro. A partir de ahora el primero y el segundo compuestos serán nombrados respectivamente de compuesto A y B.
Para hacer este trabajo primeramente fueron investigadas algunas de las principales propiedades mecánicas y fisicoquímicas de los dos compuestos analizados. El objetivo de estos ensayos era de caracterizar y averiguar las calidades mínimas de los compuestos. En seguida se estudió el comportamiento de los compuestos de caucho de silicona en el ensayo de encaminamiento eléctrico y erosión.
Los ensayos de encaminamiento siguieron las normas IEC 60587 [1] y NBR 10296 [2] que son prácticamente iguales. Estos ensayos se realizaron por los dos métodos de las normas, primero por el método de pasos (método 2) y después por el método constante (método 1). La evaluación del desempeño también fue determinada por los dos modos posibles, por encaminamiento (modo A, el ensayo termina cuando por lo menos uno de los especímenes cierra el circuito de alta tensión con corriente superior a 60mA) y por el modo B (cuando un camino erosionado de 25mm de longitud es marcado en la superficie de por lo menos un espécimen ligando los electrodos o cuando la erosión corre a través de por lo menos uno de los especímenes).
Las normas utilizadas para hacer los ensayos de encaminamiento (IEC 60587 y NBR 10296) describen circuitos de corrientes alternadas (figura 1-(a)), entretanto en esto trabajo también fueran hechos ensayos en corriente continua (figura 1-(b)) con la finalidad de comparar los desempeños de los compuestos estudiados en las dos situaciones – alternada y continua.

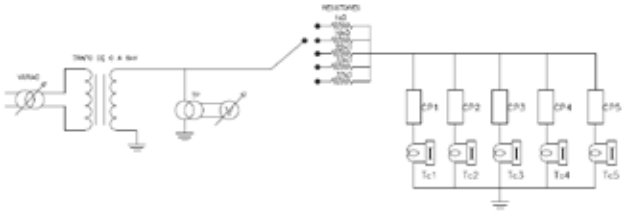

Fig. 1–(a). Circuito en CA

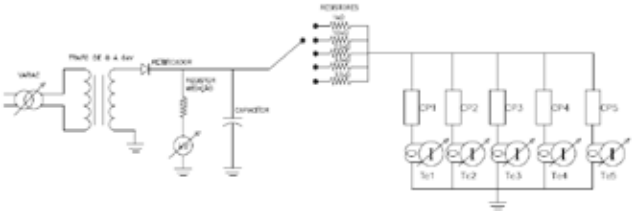

Fig. 1–(b). Circuito en CC

La motivación de este estudio proviene de la tendencia creciente de construirse líneas en corriente continua que pueden transmitir energía eléctrica en tensiones más elevadas y por la preferencia en trabajar con aisladores de silicona en estas líneas en lugar de los aisladores clásicos como los de vidrio [3 y 4].
Los resultados de ensayo de encaminamiento eléctrico y erosión demuestran de manera directa la tendencia y el comportamiento de materiales poliméricos aislantes cuando sometidos a atmósferas agresivas que permiten evaluar la resistencia de los compuestos y su durabilidad en situaciones críticas.

2 ESPECÍMENES Y MÉTODOS DE ENSAYO

2.1 Dureza Shore A

Para medir la dureza de cauchos y sus compuestos fue necesario utilizar equipamientos específicos para estos materiales, el equipo más usado para medir dureza en cauchos es el durómetro tipo Shore A, la dureza Shore A emplea una escala propia de dureza que parte de un mínimo 0 Shore A y alcanza un máximo de 100 Shore A. Para obtener las medidas de dureza se utilizó:

- Durómetro Shore A Calibrado;
- Cronómetro.

Las medidas de dureza fueran hechas obedeciendo la norma ASTM D2240 [5] en especímenes vulcanizados con 6 mm de espesor, usando 60 segundos de periodo de estabilización del durómetro para hacer la lectura sin uso de bancada para durómetro. Las medidas de dureza Shore A fueran hechas en triplicado y el valor medio de los resultados fue calculado.

2.2 Tensión a la Rotura y Alargamiento

Para se hacer los ensayos de tensión a la rotura y alargamiento se siguió las normas ASTM D412 [6]. Los materiales necesarios fueron:

- Dinamómetro calibrado;
- Extensómetro calibrado;
- Microprocesador;
- Paquímetro.

Cinco especímenes fueran producidos a partir de placas de compuesto de caucho vulcanizadas obedeciendo la norma ASTM D412. Los espesores de los especímenes fueran medidos con un parquímetro y fueron registrados en un microprocesador. En un dinamómetro y un extensómetro calibrados los cinco espécimens fueran sometidos a un esforzó de tracción hasta la rotura de los espécimens, la deformación y esfuerzo y suyas tasas fueran registradas por un microprocesador que con los dados dimensionales de los espécimens calculó los resultados de tensión a la rotura y alongamiento y también las medias de los cinco especímenes.

2.3 Resistencia al Rip

Para se hacer los ensayos de resistencia al rip se siguió las normas ASTM D624 [7]. Los materiales necesarios fueran:

- Dinamómetro calibrado;
- Microprocesador;
- Paquímetro.

Cinco especímenes fueran producidos a partir de placas de compuesto de caucho vulcanizadas obedeciendo la norma ASTM D624. Los espesores de los especímenes fueran medidos con un parquímetro y fueron registrados en un microprocesador. En un dinamómetro calibrado los cinco especímenes fueron sometidos a un esfuerzo de tracción hasta la rotura de los especímenes, el esfuerzo y sus tasas fueron registradas por un microprocesador que con los dados dimensionales y los resultados de resistencia al rip fueron calculados y también las medias de los resultados de los cinco especímenes.

2.4 Evaluación de la Hidrofobicidad

La hidrofobicidad de los compuestos de caucho de silicona fue evaluada siguiendo la metodología y orientaciones de la guía "STRI Guide 92/1 - Hydrophobicity Classification Guide" [8]. Para hacer los ensayos se utilizó:

- Aspersor;
- Agua desionizada;
- Cámara fotográfica digital.

Con a ayuda de un aspersor, el agua desionizada fue aspergida sobre la superficie de los compuestos de caucho de silicona hasta que gotas de agua fueron producidas. Con una cámara fotográfica se registró las imágenes de las gotas que fueron comparadas con las imágenes del STRI Guide y así hacer la clasificación de hidrofobicidad de cada compuesto estudiado.

2.5 Encaminamiento Eléctrico y Erosión

Los ensayos de encaminamiento eléctrico y erosión fueran conducidos por la norma IEC 60587 y/o por la norma NBR 10296 que es similar. Para hacer los ensayos en corriente continua un rectificador fue instalado en el circuito eléctrico del equipamiento para transformar la corriente alternada en continua. Los ensayos por la metodología 2 se inicio en 1,00 kV en los cinco especímenes de los 2 compuestos tanto para corriente alternada como para corriente continúa.

Los ensayos por la metodología 1 fueron ensayados por 6 horas en la tensión determinada para cada compuesto y tipo de corriente (alternada o continua) en el ensayo hecho por la metodología 2, en casos de desaprobación no ensayo de la metodología 1, un nuevo grupo de cinco especímenes fueron ensayados en una clase de tensión inferior hasta obtener la aprobación para la metodología 1. Para los ensayos de encaminamiento eléctrico y erosión fueran usados los materiales a seguir:

- Equipamiento de encaminamiento eléctrico y erosión;
- Rectificador (para ensayos en corriente continua);
- Solucion salina de cloruro de amonio y surfactante;
- Balanza analítica.

En todos los ensayos se midieron las masas de los especímenes antes y después de los ensayos para evaluar la intensidad de la erosión.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Dureza Shore A

Los valores de dureza shore A de los compuestos de caucho de silicona A y B están presentados respectivamente en las figuras 2-(a) y 2-(b). Los valores de dureza do compuesto A son en media mayores en 5 pontos de la escala Shore A. Generalmente, cuanto mayor la carga, mayor la dureza, sin embargo la calidad de las cargas también interfieren en la dureza; en este caso, es posible que el caucho A tenga una cantidad mayor de sílice que aumenta el refuerzo y la dureza.

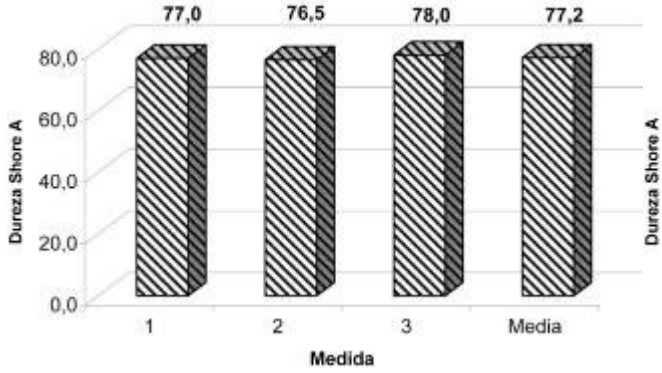

Fig. 2–(a). Dureza en el compuesto A.

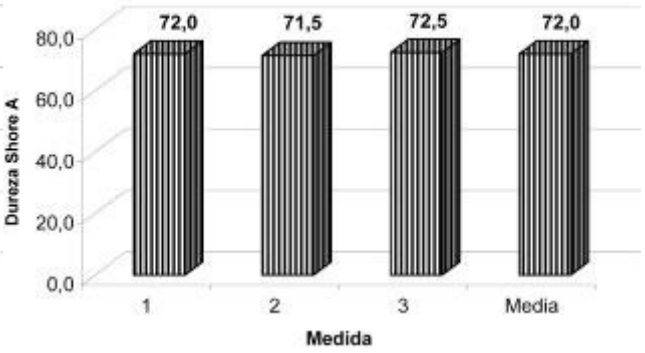

Fig. 2–(b). Dureza en el compuesto B.

3.2 Tensión a la Rotura y Alargamiento

Los valores de tensión de rotura de los compuestos de silicona A y B están presentados respectivamente en las figuras 3-(a) y 3-(b). De la misma manera los valores de alargamiento de los compuestos A y B están presentados respectivamente en las figuras 4-(a) y 4-(b).

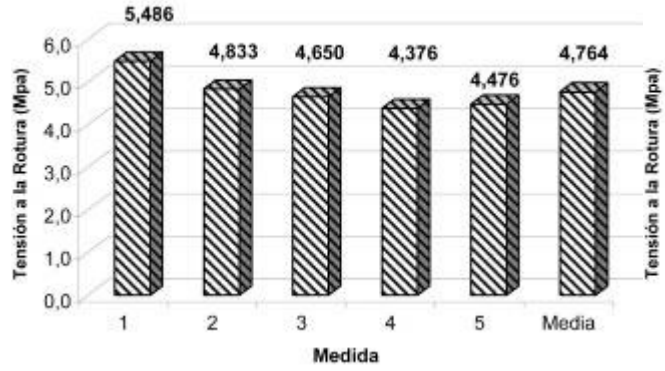

Fig. 3–(a). Tensión a la Rotura en el compuesto A.

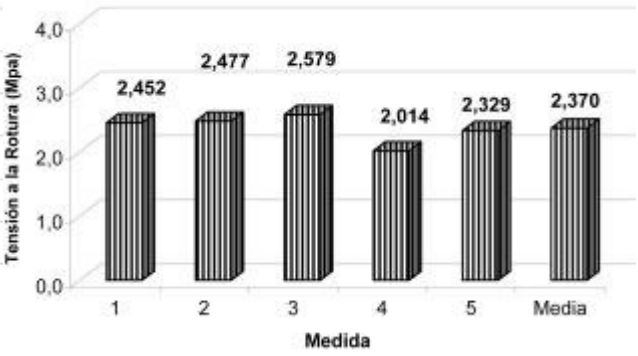

Fig. 3–(b). Tensión a la Rotura en el compuesto B.

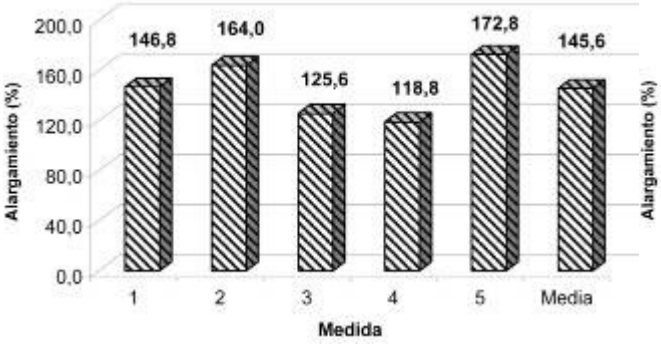

Fig. 4–(a). Alargamiento en el compuesto A.

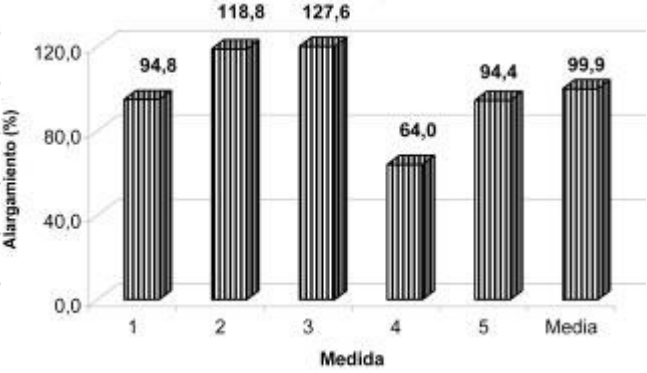

Fig. 4–(b). Alargamiento en el compuesto B.

Los valores de tensión de rotura y los valores de alargamientos de los compuestos estudiados confirman los resultados del ensayo de dureza. El caucho B presenta menor alargamiento y tensión de rotura que el caucho A probablemente por una menor cuantidad de oxide de sílice en el compuesto B.

3.3 Resistencia al Rip

Los valores de resistencia al rip de los compuestos de caucho de silicona A y B están presentados respectivamente en las figuras 5-(a) y 5-(b). El compuesto B presenta una resistencia al rip acentuadamente menor que el caucho A, esto resultado es concordante con los resultados anteriores de traspón a la rotura, alargamiento y dureza. Entretanto es importante aclarar que para la aplicación aislante, muchas veces no es necesario el mejor desempeño mecánico y si lo mejor desempeño eléctrico. Las calidades mecánicas de los cauchos aislantes deben cumplir con los requerimientos de procesamiento de las piezas visto que las solicitaciones de uso generalmente son mucho más brandas.

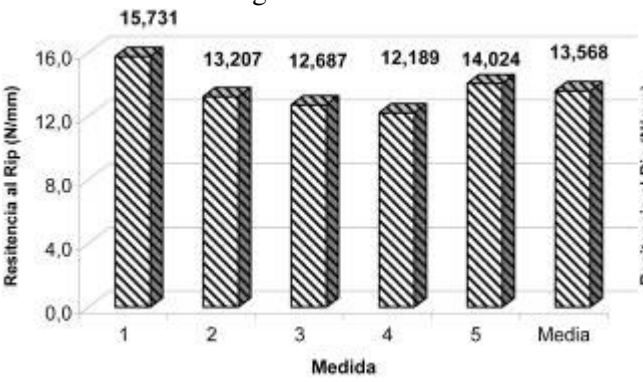

Fig. 5–(a). Resistencia al Rip en el compuesto A.

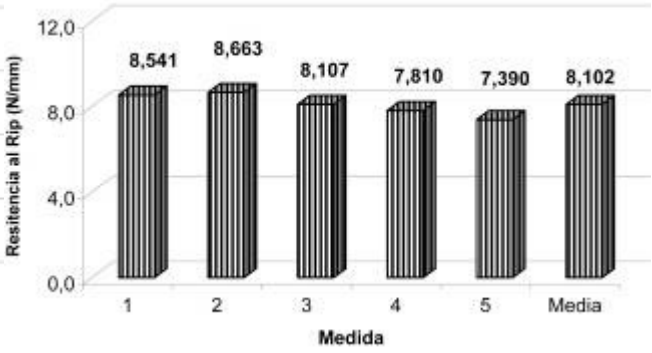

Fig. 5–(b). Resistencia al Rip en el compuesto B.

3.4 Evaluación de Hidrofobicidad

En la figura 6 se observa las imágenes de superficies con diferentes grados de hidrofobicidad del Hidrfobicity Classification Guid - STRI.

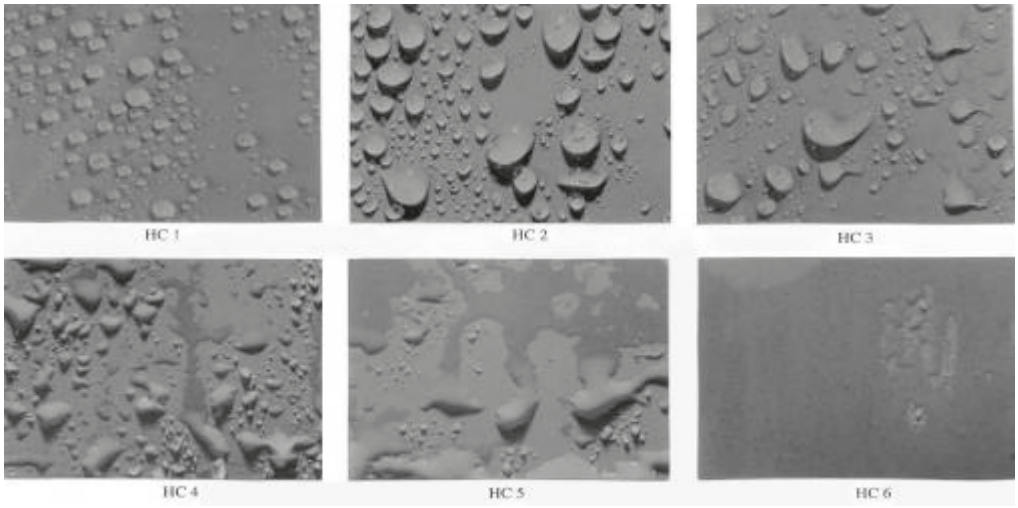

Fig. 6. Hidrfobicity Classification Guid - STRI

Las figuras 7-(a) e 7-(b) presentan las imágenes de las superficies aspergidas con agua de los compuestos de caucho de silicona A e B respectivamente.

Fig. 7–(a). Compuesto A.

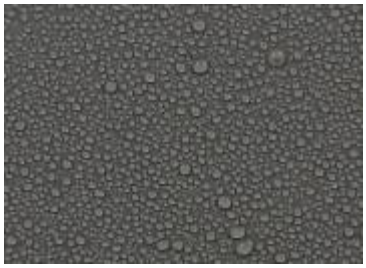

Fig. 7–(b). Compuesto B.

Se observa que tanto el compuesto A cuanto el compuesto B presentan hidrofobicidad grado HC 1 según el Hidrfobicity Classification Guid – STRI, esto es lo mismo que afirmar que ambos compuestos tienen grado máximo de hidrofobicidad previsto por la guía. Estos resultados no son inesperados ya que alta hidrofobocidad es una característica inherente de la silicona.

3.5 Encaminamiento Eléctrico y Erosión

En las figuras 8-a y 8-b están presentados los respectivos resultados de encaminamiento eléctrico y de erosión de los compuestos A y B ensayados por la metodología 2 de las normas IEC 60587 y NBR 10296 en corriente alternada.

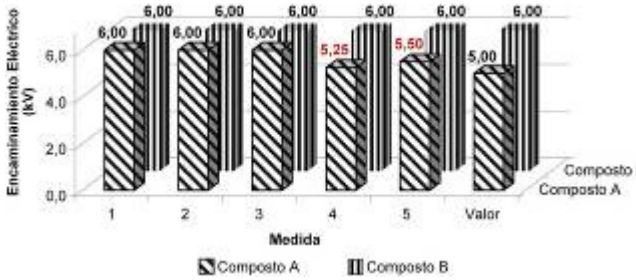

Fig. 8–(a). Encaminamiento en CA.

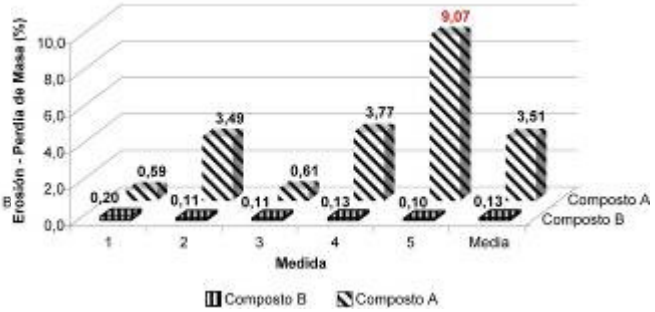

Fig. 8–(b). Erosión en CA.

En las figuras 9-a y 9-b están presentados los resultados respectivos de encaminamiento eléctrico y de erosión de los compuestos A y B ensayados por la metodología 1 de las normas IEC 60587 y NBR 10296 en corriente alternada.

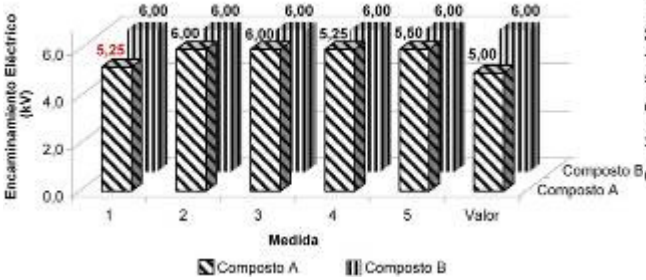

Fig. 9–(a). Encaminamiento en CC.

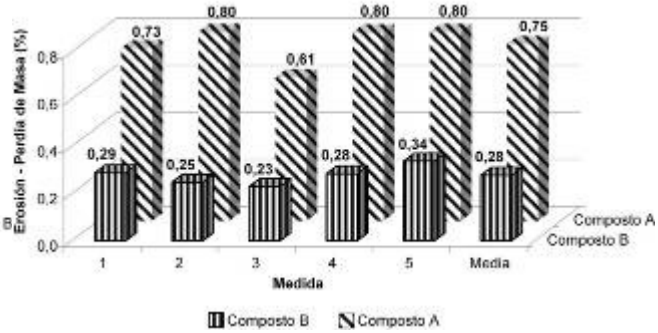

Fig. 9–(b). Erosión en CC.

En las figuras 10-a y 10-b están presentados los resultados respectivos de encaminamiento eléctrico y de erosión de los compuestos A y B ensayados por la metodología 2 de las normas IEC 60587 y NBR 10296 en corriente continua.

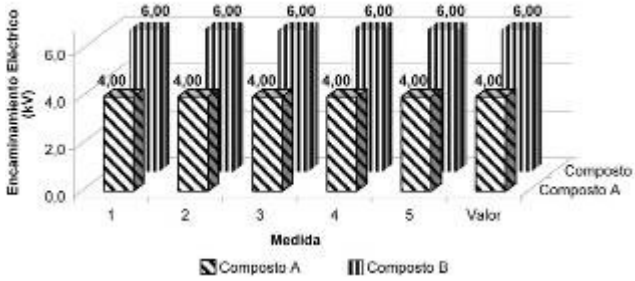

Fig. 10–(a). Encaminamiento en CA – 6h.

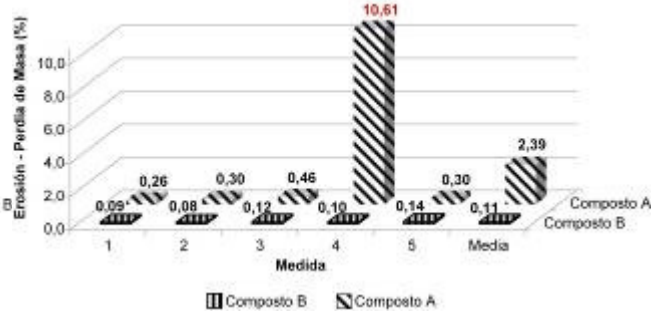

Fig. 10–(b). Erosión en CA – 6h.

En las figuras 11-a y 11-b están presentados los resultados respectivos de encaminamiento eléctrico y de erosión de los compuestos A y B ensayados por la metodología 1 de las normas IEC 60587 y NBR 10296 en corriente continua.

Por los resultados de ensayo de encaminamiento eléctrico y de erosión es posible observar que el compuesto B presentó el mejor desempeño eléctrico visto que en todas las condiciones – metodología 1 o 2 tanto en corriente alternada como en corriente continua – el compuesto B suporto la máxima tensión de ensayo sin fallar y con erosión casi nula (siempre debajo de 0,1 %).

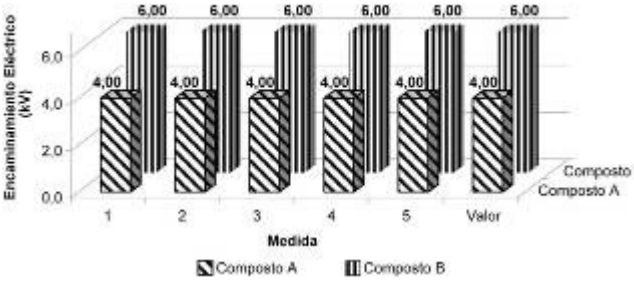

Fig. 11–(a). Encaminamiento en CC – 6h.

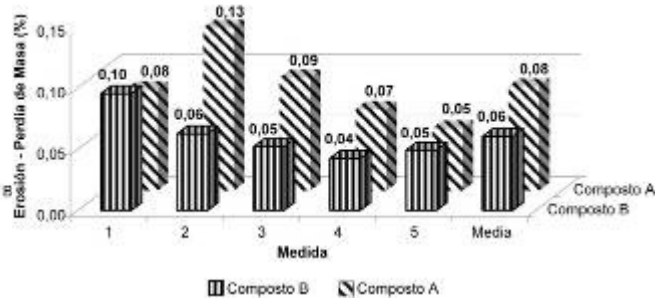

Fig. 11–(b). Erosión en CC – 6h.

El compuesto A hecho por una multinacional y que es producido para tener alto desempeño en esto ensayo y clasificado como un compuesto 6,00 kV no alcanzo los resultados esperados. En la metodología 2 de las normas en corrientes alternada y continua, este compuesto suportó solamente 5,00 kV de tensión de ensayo. Pero peor fue que en las metodologías 1 y 2 los cauchos suportaran solamente la tensión de 4,00 kV sin encaminar, mismo así, en corriente alternada el caucho A fallo en la evaluación de erosión.
En las figuras 12 –(a-d) se pode observar los aspectos de la erosión en los especímenes ensayados en CA. En las figuras 13-(a-d) se puede observar los aspectos de la erosión en los especímenes ensayados en CC.

Fig. 12–(a). Met 2 Ref CA.

Fig. 12–(b). Met 2 Bal CA.

Fig. 12–(c). Met 1 Ref CA.

Fig. 12–(d). Met 1 Bal CA.

Fig. 13–(a). Met 2 Ref CC.

Fig. 13–(b). Met 2 Bal CC.

Fig. 13–(c). Met 1 Ref CC.

Fig. 13–(d). Met 1 Bal CC.

Las imagines observadas en las figuras 12 y 13 demuestran que el compuesto B erosiona menos que el compuesto A en todos los ensayos, mas este efecto es más pronunciado en los ensayos en CA.
El mejor desempeño eléctrico del caucho B se explica por la selección cuidadosa de las cargas (naturaleza y cuantidad) y también de los aditivos de la formulación desarrollada que fue pensada del punto de vista electroquímico por los especialistas eléctricos y de materiales de B que ya actúan en el sector desde muchos anos.

4 CONCLUSIONES

- Compuesto de caucho de silicona con diferentes formulaciones presentan diferentes resultados eléctricos y mecánicos;
- Los dos compuestos presentaran los mejores resultados posibles en el ensayo de hidrofobicidad;
- El compuesto de caucho de silicona B presento mejores resultados en el ensayo de encaminamiento eléctrico y erosión, tanto en corriente alternada cuanto en corriente continua;
- El compuesto B no presentó gran diferencia de desempeño cuando comparados los resultados en corriente alternada y corriente continua, pero el compuesto A presentó una mayor erosión en corriente alternada;
- Sin embargo para el compuesto A hay una grande diferencia cuando se compara las metodologías 2 y 1 de las normas, el ensayo de paso siempre resulta mejor que los ensayos estáticos, pero este comportamiento no fue observado en el compuesto de B;
- Con base en los resultados de encaminamiento y erosión, Balestro tiene intención de hacer los ajustes necesarios y usar el compuesto B en la fabricación de tuyos productos.

5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] INTERNATIONAL STANDARD IEC 60587 – Electrical insulation materials used under severe ambient conditions – Test methods for evaluation resistance to tracking and erosion; third edition, May 2007.

[2] ABNT NBR 10296:1988 - Material isolante elétrico - Avaliação de sua resistência ao trilhamento elétrico e à erosão sob severas condições ambientais - Método de ensaio, Maio 1988.

[3] R. C. de Jesus, L. H. Meyer, F. Feresin y F. Giannini – "Avaluación Interlaboratorial del Ensayo de Encaminamiento Eléctrico y Erosión, Aplicado a Compuestos de Silicona Empleados en Aislamiento Eléctrico, Según la Norma NBR 10296", in 14º CUJAE *Convención Científica de Ingeniaría y Arquitectura,*, Habana, Dec. 2008.

[4] E. G. C. Gonzalez – "Desenvolvimento de compósitos de silicone para uso em isoladores de linhas de transmissão" - Dissertação de Mestrado, Rio de Janeiro, 1999.

[5] INTERNATIONAL STANDARD American Society for Testing and Materials – ASTM D2240 Standard Test Method for Rubber Property—Durometer Hardness; AUG 2005.

[6] INTERNATIONAL STANDARD American Society for Testing and Materials – ASTM D412 Standard Test Methods for Vulcanized Rubber and Thermoplastic Elastomers—Tension; DEZ 2006.

[7] INTERNATIONAL STANDARD American Society for Testing and Materials – ASTM D624 Standard Test Method for Tear Strength of Conventional Vulcanized Rubber and Thermoplastic Elastomers; JUL 2000.

[8] INTERNATIONAL GUID – STRI Guide 92/1 – Hydrophobicity Classification Guide; 1992.

View publication stats