

# Estudios de envejecimiento de materiales por espectroscopía de impedancia

Pedro Brito & Patricia Cáceres

*Laboratorio de Dieléctricos, Departamento de Física, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán*  
[pbrito@herrera.unt.edu.ar](mailto:pbrito@herrera.unt.edu.ar), [pcaceres@herrera.unt.edu.ar](mailto:pcaceres@herrera.unt.edu.ar)

**RESUMEN:** Se ha estudiado el comportamiento dieléctrico a bajas frecuencias de muestras de goma siliconada nuevas y envejecidas obtenidas de aisladores para líneas de alta tensión. Las mediciones de impedancia fueron realizadas mediante el analizador de impedancia HP 4284A al que se conectó una celda para sólidos flexible de electrodos planos cuya inclinación y distancia entre electrodos es determinada por la geometría del material estudiado. Esta celda ha sido diseñada y construida en el Laboratorio de Dieléctricos. Algunas de las muestras envejecidas fueron obtenidas de un aislador utilizado en una red de alta tensión durante 10 años y otras fueron envejecidas artificialmente en el laboratorio mediante sucesivos procedimientos de enfriamiento, calentamiento en un horno de MW y exposición a radiación UV durante 30 días con tiempos de exposición a cada uno variables. Los resultados muestran la influencia del envejecimiento en los parámetros eléctricos de la goma siliconada al ser comparados con los correspondiente al mismo material no envejecido

## 1 INTRODUCCIÓN

La espectroscopia dieléctrica o de impedancia es una técnica poderosa para la caracterización de materiales, tal como puede comprobarse en la literatura (Craig (1994), Riu (1999), Hill (1969), MacDonald (1987), Bötcher (1973/78)). En el Laboratorio de Dieléctricos se ha estudiado el envejecimiento de materiales muy diversos como fármacos, frutas, quesos, sólidos diversos, etc. en el rango de bajas frecuencias desde hace muchos años (Brito (2003), Brito (2009), Brito (2013)). La mencionada técnica permite lograr un mayor conocimiento de propiedades de los materiales como estructura, composición, contenido de agua, distribución espacial de componentes particulares y la influencia del proceso de envejecimientos en dichas propiedades. El envejecimiento puede ser natural o artificial. En este trabajo se estudian materiales envejecidos de las dos maneras ya que se usan muestras de un aislador que estuvo sometido a condiciones de trabajo en la línea de alta tensión que alimenta la mina Bajo la Alumbraera situada en la zona de Tafí del Valle y muestras envejecidas artificialmente durante 30 días en las cuales se las enfrió en el congelador de una heladera a 2 °C durante 12 horas por día, para someterlas durante 3 minutos a calentamiento en un horno de microondas hasta alcanzar los 43 °C de temperatura e inmediatamente se las expuso a radiación UV de 254 nm de longitud de onda en periodo variables desde 1 h al comienzo hasta 5 hs

al final del periodo. Todos estos factores son mencionados como causas de envejecimiento de la goma siliconada en la literatura. El interés por el estudio de este material está determinado por su creciente demanda para accesorios de alta tensión y porque no se han realizados estudios sobre el comportamiento dieléctrico de gomas siliconadas envejecidas en condiciones de trabajo (Tuncer (2000), Cherney (2005), Zambrano (2009))

## 2 MEDICIONES DE IMPEDANCIA A BAJA FRECUENCIA

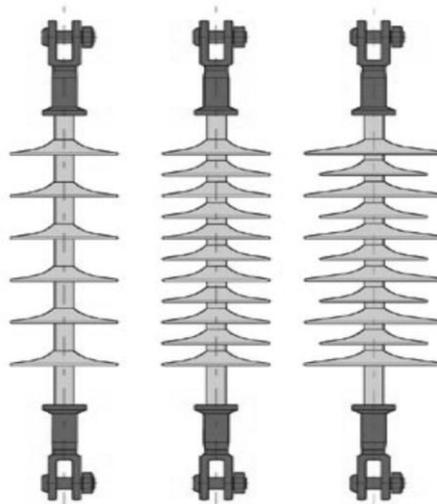


Figura 1. Aisladores típicos para líneas de alta tensión

Las muestras de goma siliconada no envejecida fueron obtenidas de aisladores de alta tensión provistos para ensayos por la empresa Edenor S.A. y las envejecidas fueron provistas por el

Laboratorio de Alta Tensión de la FACET, UNT. Las muestras utilizadas mantienen la forma de los aisladores de alta tensión que se presentan en la Fig. 1 tal como se observan en la Fig. 2.

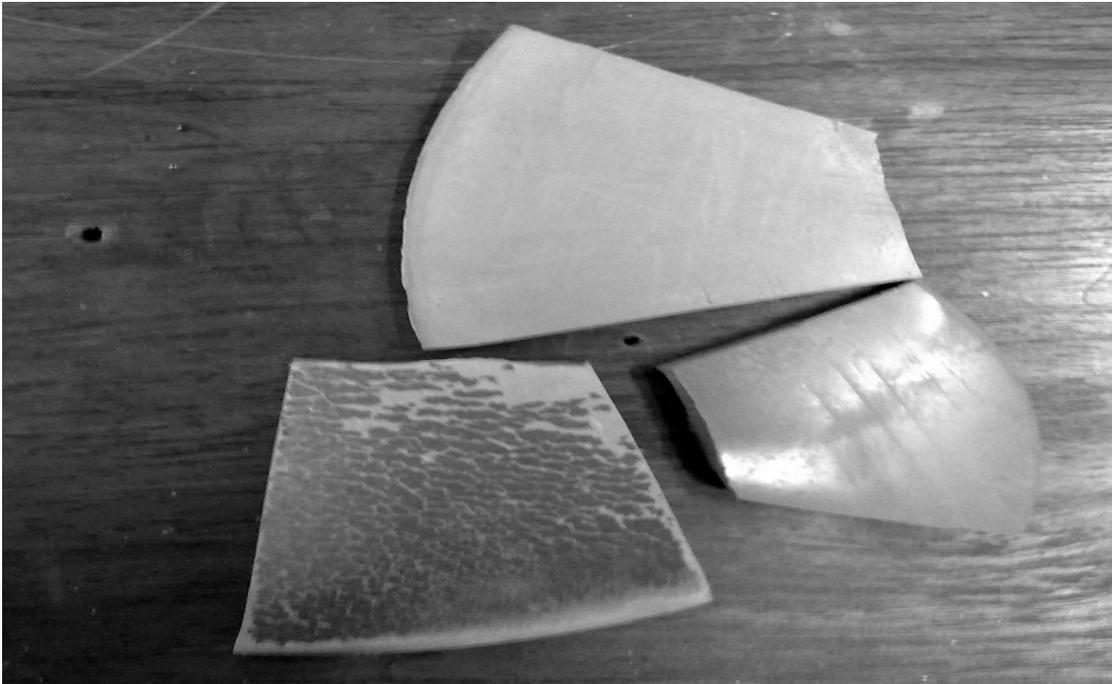


Figura 2. Muestras goma siliconadas de aisladores nuevo y usado

La costra de tierra y otros contaminantes naturales fue eliminada de las superficies de una de las muestras del aislador usado. Las mediciones se realizaron en el rango de frecuencias entre 20 Hz y 1 Mhz a 20 °C y las mediciones eléctricas se hicieron con el analizador de impedancia HP 4284A. Los electrodos planos de la celda de medición son de acero inoxidable de  $10 \pm 0.05$  mm de diámetro y la distancia e inclinación de los electrodos varían con la muestra utilizada. En la Tabla 1 se indican los valores de distancia media y ángulo de inclinación para las distintas muestras. La celda se visualiza en la Figura 3 y fue conectada al analizador mediante el accesorio calibrado HP 16048 de 1 m de longitud, La componente real de la permitividad,  $\epsilon'$ , puede calcularse a partir de los valores de  $C_p$  usando la expresión (1)

$$C = \epsilon' (\pi R^2) \frac{[1 + R^2 \tan^2 \alpha / d^2]}{d} \quad (1)$$

donde  $\epsilon'$  es la permitividad real del medio que llena la celda, R es el radio del electrodo, d es la distancia media entre electrodos y  $\alpha$  es el ángulo entre electrodos (Bertuola (2004), Precker (2006)). La componente imaginaria puede

obtenerse de los valores de conductancia G y la conductividad de los valores de resistencia R.

	d [mm]	$\alpha$ [°]
Aislador Nuevo	4,05	4,58
Aislador Envejecido Artificialmente	3,93	4,57
Aislador de 10 años	4,58	1,68
Aislador de 10 años limpio	4,51	2,02

Tabla 1: distancia media y ángulo de inclinación entre electrodos

Los parámetros eléctricos medidos fueron impedancia,  $Z(\Omega)$ ; the capacitancia  $C_p$  (F); ángulo de fase,  $\Theta$ (rad); factor de pérdida dieléctrica, D; conductancia G(S) y susceptancia B (S). Todas las mediciones se realizaron con un voltaje aplicado a la celda de 1V. Las correcciones iniciales short y open recomendadas fueron realizadas previamente a las mediciones con la celda conectada.



Figura 4: Celda flexible con electrodos adaptable

### 3 DISCUSION DE LOS RESULTADOS EXPERIMENTALES

Las mediciones fueron realizadas a las frecuencias de : 0,020, 0,050; 0,080; 0,1; 0,15; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 1,0; 2,0; 3,0; 4,0; 5,0; 7,0; 8,0; 10,0; 15,0; 20,0; 30,0; 50,0; 100,0; 500,0 y 1000,0 kHz. Considerando el amplio rango de valores obtenidos para los diferentes parámetros eléctricos se ha preferido trabajar para la comparación con los logaritmos de esas magnitudes excepto en el caso del factor de pérdida dieléctrica D.

Las variaciones de Log Cp y de log Z se muestran en las Figuras 5 y 6. En todos los casos hay una clara diferencia entre esos valores para las gomas siliconadas nuevas y envejecidas, sucia y limpia, del Log Cp vs. Log f. Sorprendentemente no se observa diferencia en el Log Z vs. Log f lo que llevaría a explicar por qué razón no se observa variación en el comportamiento eléctrico excepto aquel ligado a la resistencia en especial superficial. En la Figura 7 se puede observar que hay cambios apreciables en los valores de D pero no el tiempo de relajación dieléctrica que se mantiene prácticamente sin cambio. La variación de D explicaría también los cambios de R y X o de G y B observados.

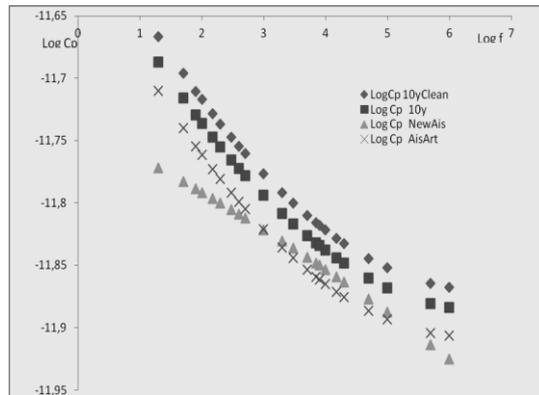


Figura 5: Log Cp vs. Log f, para los diferentes aisladores

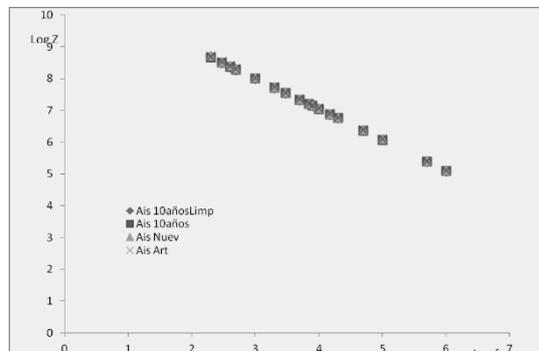


Figura 6: Log Z vs. Log f, para los diferentes aisladores

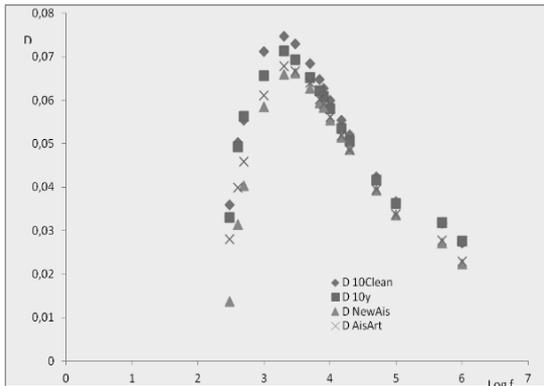


Figura 7: D vs. Log f correspondiente a las diversas muestras

#### 4 CONCLUSION

A pesar que las propiedades dieléctricas de la goma siliconada para aisladores de alta tensión, permitividad y conductividad, no han sido explícitamente determinadas a partir de los parámetros eléctricos medidos, se puede concluir que la impedancimetría de baja frecuencia es una técnica eficiente para la caracterización de goma siliconada. Aunque el proceso artificial de envejecimiento no describe en plenitud el proceso natural, la influencia de los distintos factores señalados en la literatura como causantes de la degradación fue confirmada.

#### 5 REFERENCIAS

- Bertuola A.C. & M.V. Figueredo, *Rev. Bras. Ensino Fis.*, 26(2), 161, 2004.
- Böchtter, J.C. & P. Bordewijk, *Theory of electric polarization*, Vol. I and II, Elsevier, Amsterdam, 1973/8.
- Brito P.C. & P. Caceres, Low frequency Impedance behaviour of tomato and tomato juice natural and filtered, to be send to publised, 2013.
- Brito P.C., C.M Gotter. & D.J Merez., *Acta Farmacéutica Bonaerense*, 22(2), 176, 2003.
- Brito P.C., M. Gotter, M. Mechetti & J.D.Merez, *Journal of Pharmaceutical Science*, 98(5), 1845, 2009.
- Cherney E.A., *IEEE Transactions on Dielectrical Insulation*, 26(6), 1108, 2005.
- Craig, D.Q.M. & J.M., Newton, *Dielectric Analysis of pharmaceutical systems*, Ellis Horwood Ltd., Chichester, 1994
- Hill, N., W.E. Vaughan, A.H. Price & M. Davies, *Dielectric Properties and Molecular Behaviour*, Van Nostrand, London, 1969.
- Macdonald, J.R., *Impedance Spectroscopy*, Wiley-Interscience, New York, 1987.
- Precker Jj.W. & W.P d Silva, *Rev. Bras. Ensino Fis.*, 28(1), 85, 2006.
- Riu, P.J. J.Rosell, R.Bragós & O. Casas, *Electrical Bioimpedance Methods*, Annals New York Academy of Sciences, Vol. 873, 1999.
- Tuncer E. and S.M. Gubanski *J-Phys. Condens. Matter*, 12, 1873, 2000.
- Zambrano J.D. & J.C. Rodriguez, *XIII° Encuentro Regional Iberoamericano de CIGRÉ*, Puerto Iguazú, Argentina, 2009.