

# Empleo de cargas minerales en plásticos de PVC para aislantes de conductores eléctricos

Gonzalo Téllez, Natalia Vega,\* Leila García, Olga Lidia Gil,\*\* Carlos de Diego\*\*\* y Juan J. Meitín.†

Centro nacional de Investigaciones Científicas, Avenida 25 y 158, Cubanacán, Playa, Apartado Postal 6414, Ciudad de La Habana. \* Laboratorio de Materiales, "José Isaac del Corral", Unión Geominera, Vía Blanca y Virgen del Camino, Luyanó, Ciudad de La Habana. \*\* Fábrica de Cables EPACET "Conrado Benítez", San José de las Lajas, La Habana. \*\*\* Fábrica de Productos Plásticos "Capitán Daniel Readigos", PLINEX, Unión del Plástico y la Cerámica, Nacional 64, Aldabó, Ciudad de La Habana.

Recibido: 27 de noviembre de 2002. Aceptado: 6 de diciembre de 2002.

Palabras clave: cargas minerales, plásticos, aislantes, PVC, conductores eléctricos  
Key words: mineral loads, plastics, electric insulator, PVC, electric conductors wires.

**RESUMEN.** El empleo de cargas en plásticos está estrechamente relacionado con la utilización que tendrán los diferentes artículos elaborados. En este trabajo fueron desarrolladas formulaciones de plásticos de PVC para aislantes de conductores eléctricos (cables y alambres) empleando diferentes cargas minerales (caolín, vidrio volcánico y zeolitas naturales). La estabilidad de los materiales obtenidos fue evaluada de forma acelerada y mediante ensayos de exposición atmosférica en las condiciones climáticas de tres estaciones de ensayos diferentes (rural, marina e industrial). Los cambios en las propiedades de los materiales expuestos al envejecimiento atmosférico, fueron evaluados mediante ensayos físico-mecánicos (resistencia a la tracción  $\sigma$ , y elongación relativa  $\epsilon$ ), eléctricos (resistividad volumétrica  $\rho_v$  y pérdida dieléctrica  $Tg \delta$ ) y térmicos (determinación de la pérdida del 5 % de plastificante). El comportamiento de cada uno de los materiales durante cinco años de exposición a la intemperie fue similar en las diferentes estaciones de ensayo, y a los tres años de exposición, no cumplen con lo requerimientos de la norma por las propiedades físico-mecánicas. Las muestras correspondientes a las formulaciones con las cargas minerales estudiadas, sin ningún tipo de tratamiento previo (exceptuando el caolín), expuestas bajo techo en las estaciones de ensayo (rural y marina) durante siete años de exposición, no experimentaron prácticamente alteración alguna en sus propiedades dieléctricas y físico-mecánicas. La incorporación de las cargas en todos los casos mejoró la resistencia a la desorción del plastificante. La incorporación de las cargas estudiadas se puede valorar para su empleo en Cuba en la producción de aislantes eléctricos.

**ABSTRACT.** The polymers with loads, are combination of these with solid, liquid or gas substances, which are distributed in the volume of the polymeric mass. The use of loads in plastics, is closely related to the use that the different elaborated articles will have. In this work, PVC plastic electric cables insulation formulations were developed by using different mineral loads (kaolin, volcanic glass and natural zeolites). The stability of the obtained materials was evaluated in accelerated aging way and by means of atmospheric exposure assay under three different climatic conditions (rural, marine and industrial). The changes in the properties of the materials exposed to the atmospheric aging, were evaluated by means of physic-mechanical (traction resistance  $\sigma$  and relative elongation  $\epsilon$ ), electric (volume resistance  $\rho_v$  and dielectric losses  $Tg \delta$ ) and thermal (5 % plastifier loss) assays. The behavior of each one of the obtained materials sample, during five years of atmospheric exposure, is very similar in the different essay stations. The samples of the materials in seven years of exposure under shelter in the assay stations, practically are not affected in its dielectric and physic-mechanical characteristics. The load incorporation in all the cases improved the plastifier desorption resistance. The incorporation of such load materials could be evaluated for its use in the electric isolation production.

## INTRODUCCION

Los polímeros con cargas son una combinación de polímeros con sustancias sólidas, líquidas o gaseosas, las cuales se distribuyen en el volumen de la masa polimérica que se obtiene de forma relativamente uniforme, con límites bien definidos con la fase polimérica, que es la fase continua.<sup>1</sup>

El empleo de cargas en plásticos, está estrechamente relacionado con la utilización que tendrán los diferentes artículos que se elaboren con ellos. Las cargas minerales, que son la mayoría, requieren generalmente de un tratamiento previo, o beneficio para su empleo. Muchos minerales proceden de rocas trituradas, por lo que sus partículas no son uniformes y sus formas generalmente irregulares, aunque existen minerales con los que se pueden obtener partículas de formas bien definidas.<sup>2</sup>

En la selección de una carga se toman en consideración su forma, distribución de tamaño, área superficial, composición química y los aspectos económicos.<sup>2,3</sup> Las cargas pueden contribuir significativamente a la disminución de los costos de producción.

Las propiedades de los polímeros con carga, están determinados principalmente por las propiedades de la matriz polimérica y de la carga, dispersión polímero-carga, forma y tamaño de partícula, dispersión de la carga en el polímero y las condiciones de su incorporación a él.<sup>1</sup>

En la industria de los plástico en Cuba, el empleo de las cargas es insuficiente. Las investigaciones en esta temática en el país han sido muy limitadas y solo recientes.<sup>4,6</sup> Sin embargo, la variedad, los volúmenes y la calidad de cargas minerales de yacimientos ya caracterizados, requieren de la participación y la atención de un mayor número de científicos, técnicos y especialistas de la producción.<sup>2</sup>

El empleo de caolín en la industria del plástico y los elastómeros, pudiera incrementarse considerablemente, sin embargo, no ha sido estudiado suficiente lo relativo al tratamiento de la superficie de sus partículas y a la purificación de impurezas de minerales de hierro, que con frecuencia se encuentran presentes en los yacimientos cubanos y que pueden provocar la degradación del PVC durante el proceso productivo.<sup>3</sup> Estos trabajos pudieran repercutir favorablemente en la obtención de materiales de mayor calidad, además de lograr una mayor incorporación de cargas de los diferentes artículos poliméricos, lo cual contribuiría a una mayor demanda de éstas.

El vidrio volcánico también es utilizado como carga en materiales poliméricos. Estudios anteriores, demostraron que el vidrio volcánico sin tratar, incorporado al PVC en cantidades inferiores a 15 partes, favorece considerablemente las propiedades físico mecánicas.<sup>4</sup>

Las zeolitas han sido empleadas como carga en plásticos de PVC.<sup>8,9</sup> Algunos investigadores les atribuyen propiedades estabilizantes y otras características que favorecen la interacción entre los polímeros.<sup>10</sup> Sin embargo, la elongación relativa no se incrementa cuando la carga de zeolita sobrepasa las 5 partes en 100 de PVC.

Con el presente trabajo, se pretende brindar una información relacionada con el empleo de diferentes cargas minerales, de yacimientos cubanos ya caracterizados, como cargas en plásticos de PVC, para la industria de producción de cables eléctricos que contemple además, los aspectos relacionados con la estabilidad térmica durante el proceso industrial y los aspectos relativos a su estabilidad durante su almacenamiento y explotación.

**MATERIALES Y METODOS**

La masa plástica empleada fue preparada a escala industrial con la composición siguiente:

- PVC K-70.

- Dioctil-ftalato.
- Cargas minerales (distintas, Tabla 1).
- Sulfato tribásico de plomo, como estabilizante térmico.
- Irganox 1076 como estabilizante contra la radiación UV.

La cantidad de carga y la forma de incorporación fue determinada sobre la base de los resultados de investigaciones anteriores.<sup>4</sup> Se seleccionaron concentraciones de vidrio volcánico y de zeolitas superiores a las óptimas, pero garantizando que se cumplieran las características físico-mecánicas y dieléctricas requeridas para estos materiales según NC-60-09: 80.<sup>11</sup>

Las cargas minerales estudiadas fueron incorporadas sin ningún tipo de tratamiento previo, exceptuando el caolín, al cual se le realizó un proceso de levigado. Las muestras fueron preparadas a escala industrial. Las láminas se prepararon en un molino mezclador a 160 °C durante 5 min . Las pruebas de estabilidad térmica estática fueron realizadas en una estufa a 180 °C hasta alcanzar cambios en la coloración. La estabilidad dinámica fue determinada en un molino mezclador a 165 °C hasta alcanzar el cambio de coloración.<sup>12</sup>

La determinación de la pérdida del 5 % de plastificante fue realizada mediante análisis térmico utilizando un derivatógrafo 1500Q (MOM, Hungría).

La resistividad volumétrica  $\rho_v$  ( $\Omega$ -cm) fue determinada mediante un

teraómetro E6-13A (soviético). La determinación de las pérdidas dieléctricas fue realizada mediante un puente de corriente alterna P589 (soviético).

En los ensayos de estabilidad atmosférica solamente fueron utilizados aquellos materiales que pasaron las pruebas de estabilidad térmicas (estáticas y dinámicas) cumpliendo con los requisitos de la norma citada.

Los ensayos de las propiedades físico-mecánicas: resistencia a la tracción ( $\sigma$ , Mpa) y elongación relativa ( $\epsilon$ , %), fueron determinadas con un dinamómetro (Suzpicar, España) a una velocidad de 100 mm/min .

Los análisis de fase de los materiales utilizados como cargas minerales fueron realizados con un difractor de Rayos X DRON-3M (soviético), utilizando la radiación  $CuK\alpha$  y un derivatógrafo MOM\* 1500Q y un espectrofotómetro de IR (Tabla 1).

Las muestras de plásticos de PVC con las diferentes cargas empleadas fueron colocadas en las estaciones de ensayos siguiendo las recomendaciones de la norma ISO 8585<sup>13</sup> (Tabla 2).

**RESULTADOS Y DISCUSION**

Los resultados de la determinación de las principales características de los materiales obtenidos a partir de las formulaciones desarrolladas para cada tipo de carga mineral (Tabla 3).

**Tabla 1.** Composición mineralógica de los materiales empleados como carga.

Material de carga	Composición mineralógica
Caolín levigado "Río del Callejón"	Caolinita, cuarzo, mica, calcita, rutilo, jarosita, negro de humo.
Zeolita "San José del Chorrillo"	Heulandita, clinoptilolita, mordenita, cuarzo, plagioclase, montmorillonita.
Zeolita "Carolina"	Heulandita, clinoptilolita, desmina, plagioclase, calcita, trazas de cuarzo, getita, hematita.
Vidrio volcánico	Vidrio volcánico, montmorillonita, fedelpato, trazas de cristobalita, cuarzo.

**Tabla 2.** Características de las estaciones de ensayos.

Parámetro	Industrial	Estación	
		Quivicán	Playa
		Humedad (%)	79
Insolación (h/mes)	274,96	234,20	274,96
Radiación solar promedio (MJ/m <sup>2</sup> )	17,85	17,75	17,75
Temperatura promedio anual (°C)	24,9	24,1	24,8
Salinidad (mg/m <sup>2</sup> · d)	4,9	5,8	547,9
SO <sub>2</sub> (mg/m <sup>2</sup> · d)	13,3	11,4	46,4

**Tabla 3.** Características de los materiales investigados.

Muestra	Carga	$\sigma$ (Mpa)	$\epsilon$ (%)	T (5 %)	Tg $\delta$	$\rho_v \cdot 10^{15}$ ( $\Omega \cdot \text{cm}$ )
A	Caolín levigado "Río del Callejón"	16,6	225	115	0,080 7	0,14
B	Zeolita "San José del Chorrillo"	14,3	165	108	0,077 2	4,70
C	Zeolita "Carolina"	16,5	239	95	0,074 3	2,40
D	Vidrio volcánico	15,7	202	108	0,067 1	8,30
E	Sin carga	18,4	253	72	0,068 3	0,59

Requisitos de la Norma Cubana NC 60-09:80:  $\rho_v \geq 10^{14} \Omega \cdot \text{cm}$ ;  $s \geq 10 \text{ Mpa}$  y  $\epsilon \geq 100 \%$ .

Al comparar las características medidas con las del material sin cargas (preparado en idénticas condiciones que las muestras cargadas) y las permitidas por la norma cubana referida, se pudo observar que la incorporación de las cargas minerales en las formulaciones de los materiales plásticos elaborados como aislantes de conductores eléctricos (alambre o cable), no afectan de modo importante las propiedades físico-mecánicas (Tabla 3).

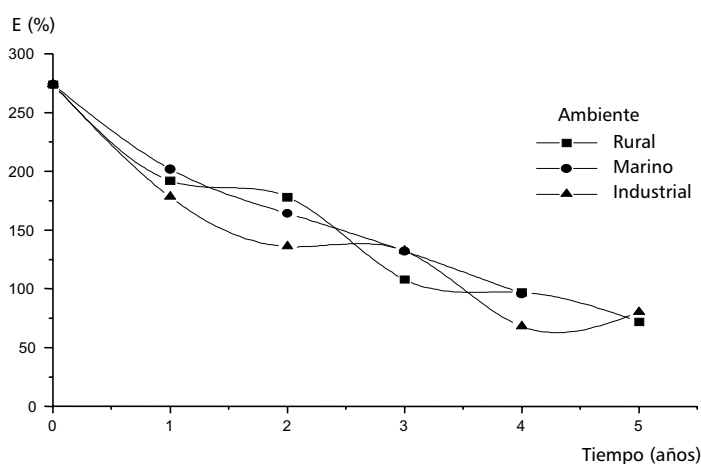
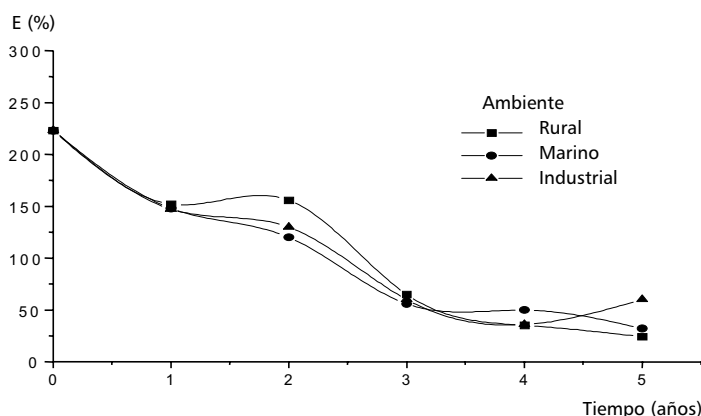
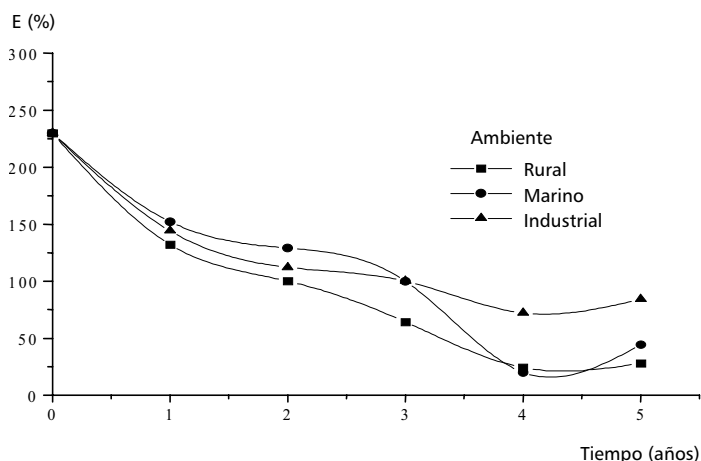
Con relación a las propiedades dieléctricas, la afectación en la muestra A, o sea, el incremento excesivo del valor de pérdida dieléctrica (Tg  $\delta$ ), debe ser tomada en consideración y deberá ser objeto de un estudio posterior para eliminar la fase mineral causante de este efecto, debido probablemente a la presencia de hierro en el material inicial de la carga.

El ensayo para determinar la temperatura en que se pierde el 5 % del plastificante T (5 %), fue útil pues se pudo apreciar que en la elaboración de este tipo de material, las cargas empleadas influyen favorablemente en las propiedades térmicas, especialmente, en la que emplea caolín.

Con relación a la resistividad volumétrica ( $\rho_v$ ), todos los materiales elaborados arrojaron elevados valores, especialmente los preparados con zeolitas y vidrio volcánico.

Se pudo apreciar que la formulación que emplea vidrio volcánico, mantiene en general, una mejoría en las propiedades dieléctricas, así como un valor satisfactorio para la temperatura correspondiente a la pérdida del 5 % del plastificante (Tabla 3).

Los resultados de los ensayos físico-mecánicos (elongación relativa,  $\epsilon$ ) de los materiales expuestos a la intemperie durante seis años de exposición, demuestran que no existen diferencias importantes entre el comportamiento de estos materiales, en las diferentes estaciones de ensayo (Figuras 1 a 4). Como se aprecia, después de tres años de exposi-


**Fig. 1.** Elongación relativa. Muestra A. Intemperie.

**Fig. 2.** Elongación relativa. Muestra B. Intemperie.

**Fig. 3.** Elongación relativa. Muestra C. Intemperie.

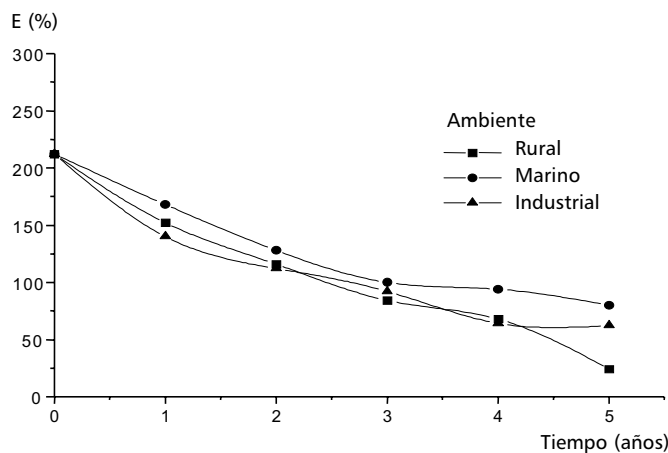


Fig. 4. Elongación relativa. Muestra D. Intemperie.

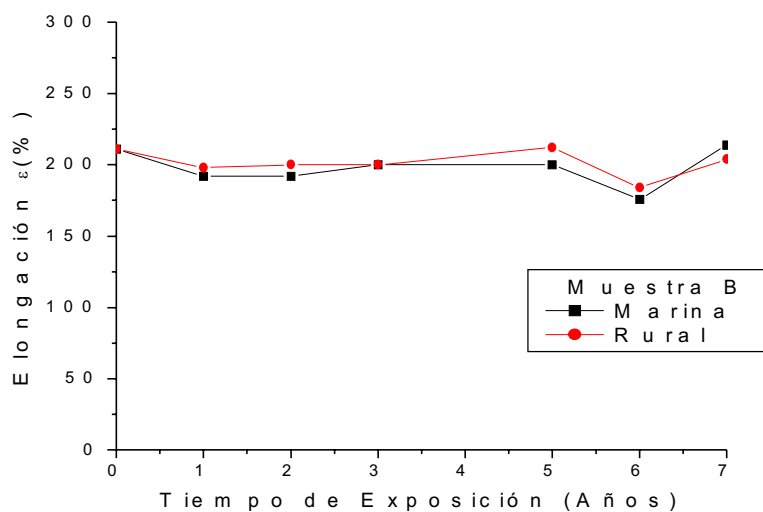


Fig. 5. Elongación relativa. Muestra A. Bajo techo.

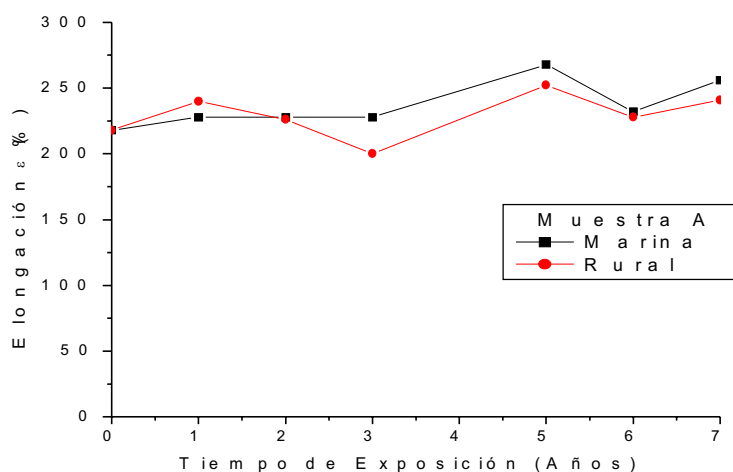


Fig. 6. Elongación relativa. Muestra B. Bajo techo.

ción a la intemperie, estos materiales no cumplen ya con los requerimientos de la norma.<sup>11</sup>

Durante siete años de exposición en las condiciones bajo techo, en las estaciones de ensayo (rural y marina), los materiales ensayados no ex-

perimentan prácticamente alteración alguna, ni en las propiedades físico-mecánicas ni en las dieléctricas (7 años) (Figuras 5 a 8), lo que evidencia que las cargas utilizadas no afectan las propiedades de los artículos elaborados en las condicio-

nes de almacenamiento, ni durante su empleo en condiciones bajo techo.

Los valores de la  $\rho_v$  son similares tanto a la intemperie como en las condiciones bajo techo (Figuras 9 a 13), lo que indica que no es un parámetro adecuado para medir la degradación de este tipo de materiales durante el proceso de envejecimiento. La no disminución de la  $\rho_v$  de los materiales envejecidos a la intemperie está dado por la no degradación del material en todo el volumen, la formación en la superficie de sales no conductoras y la pérdida de plastificante, entre otras causas.

Las características dieléctricas de los materiales durante siete años en las condiciones bajo techo (Tabla 4) no presentan variaciones significativas. La pérdida dieléctrica se presenta ligeramente superior y la resistividad volumétrica se mantiene cumpliendo los requisitos de la norma.

### CONCLUSIONES

La incorporación de las cargas minerales estudiadas, sin ningún tipo de tratamiento previo (exceptuando el caolín) no afectan, prácticamente las propiedades dieléctricas y físico-mecánicas de los materiales desarrollados, manteniendo los requerimientos de la norma cubana para cables.

La incorporación de las cargas en todos los casos mejora la resistencia a la desorción del plastificante.

El comportamiento a la intemperie durante cinco años de exposición, de cada uno de los materiales obtenidos, es muy similar en las diferentes estaciones de ensayos.

Los materiales expuestos en las diferentes estaciones a la intemperie, a los tres años de exposición no cumplen con los requerimientos de la norma por las propiedades físico-mecánicas.

Las muestras expuestas en las estaciones de ensayo bajo techo (rural y marina), no experimentan prácticamente alteración alguna en sus propiedades dieléctricas y físico-mecánicas durante siete años de exposición.

Las cargas minerales incorporadas a la formulación desarrollada (sin tratamiento previo) pueden ser empleadas en la producción de plásticos de PVC para aislantes de cables eléctricos.

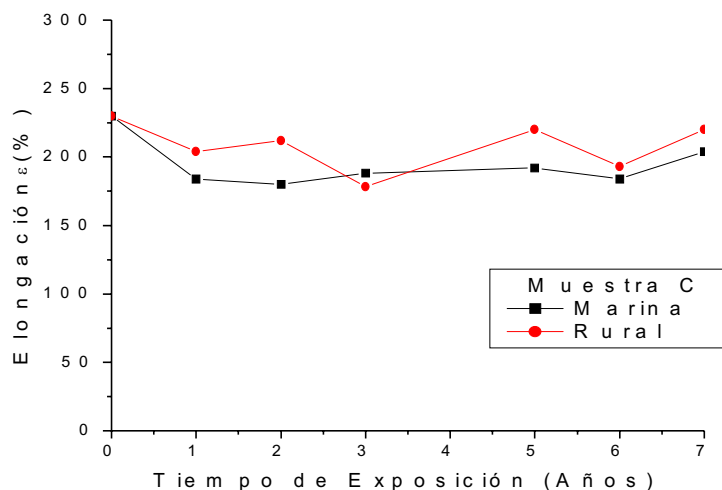


Fig. 7. Elongación relativa. Muestra C. Bajo techo.

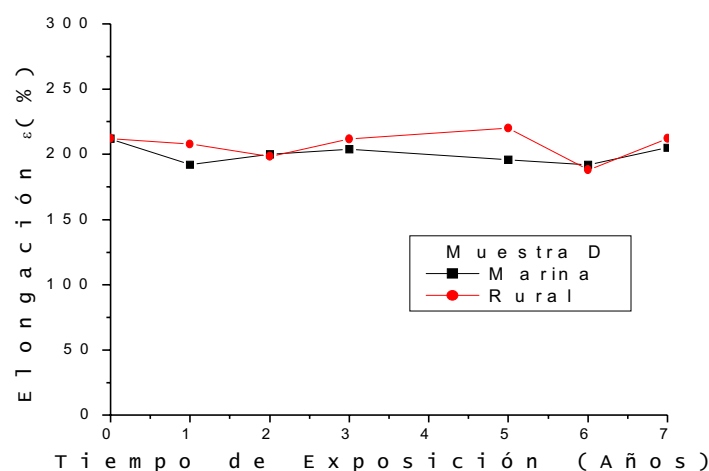


Fig. 8. Elongación relativa. Muestra D. Bajo techo.

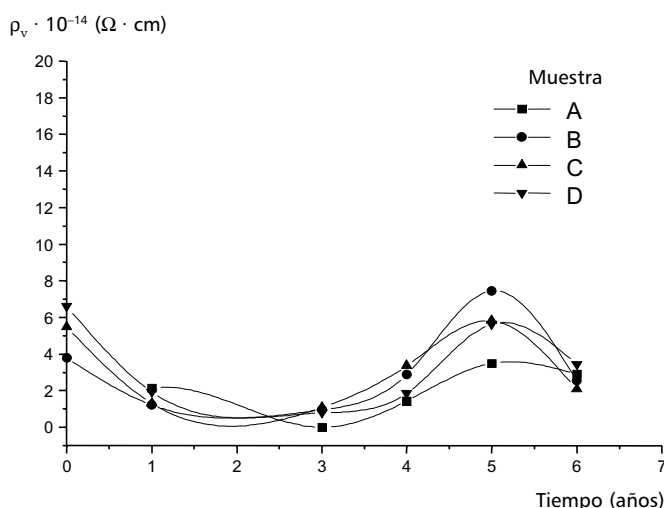


Fig. 9. Resistividad volumétrica. Estación rural. Intemperie.

**BIBLIOGRAFIA**

1. Lipatov Io.C. Físico-química de los polímeros con carga (en ruso), pp 9-63, Ed. Moscú 1977.
2. Lagunas Castellanos. Revista de Plásticos Modernos. No 358, abril 1988.
3. Gul V. E. Fundamentos de la transformación de los plásticos (en Ruso), Ed. Moscú 1985.
4. Tellez. G. Utilización de cargas inorgánicas en plásticos de PVC para la producción de calzado. VI Forum de ciencia y Técnica, La Habana, 1991.
5. Tellez. G. Envejecimiento atmosférico de una nueva formulación de plásticos de PVC para aislantes de cable eléctricos. XII Seminario Científico del CNIC. Revista CENIC. Ciencias Químicas, vol. 26, 1995.
6. Vega N., Tellez G., Valdés J.J. Utilización de minerales como relleno de plásticos de PVC. Resúmenes del Cuarto Forum de Análisis de Rocas y Minerales, La Habana, Octubre 1995.
7. Pablov N. N. Envejecimiento de masas plásticas en condiciones naturales y artificiales, p.113 Ed. Moscú 1982.
8. Zlokina V. A. Revista de masas plásticas. No.4, 1990, en Ruso.
9. Pormentov I. T. Revista Masas Plásticas. No.4, 1990, en Ruso.
10. Chaporinov I, Iliev C. Influencia de las zeolitas naturales como cargas que mejoran la compatibilidad entre los polímeros (en ruso) Bulgaria 1988.
11. NC 60 09: 80. Electrotecnia. Alambres y cables de cobre aislados con PVC hasta 600 V.
12. Lamuela Arrom J. Revista de Plásticos Modernos. No 171, 733-746, Septiembre 1970.
13. ISO 8565 Metals and alloys-atmospheric corrosion testing general requirements for field test

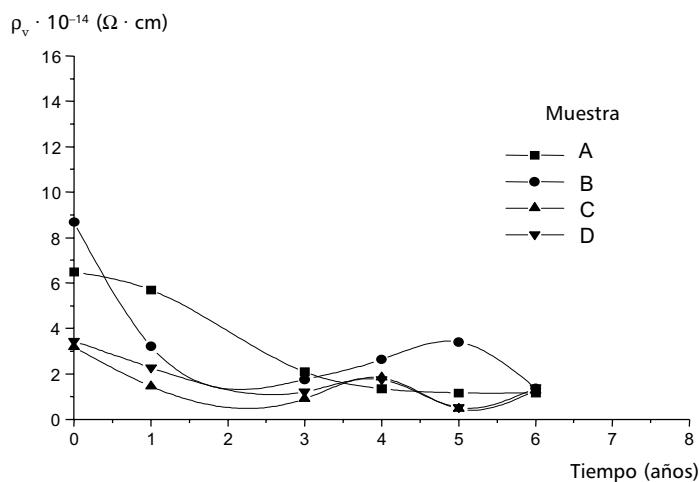


Fig. 10. Resistividad volumétrica. Estación marina. Intemperie.

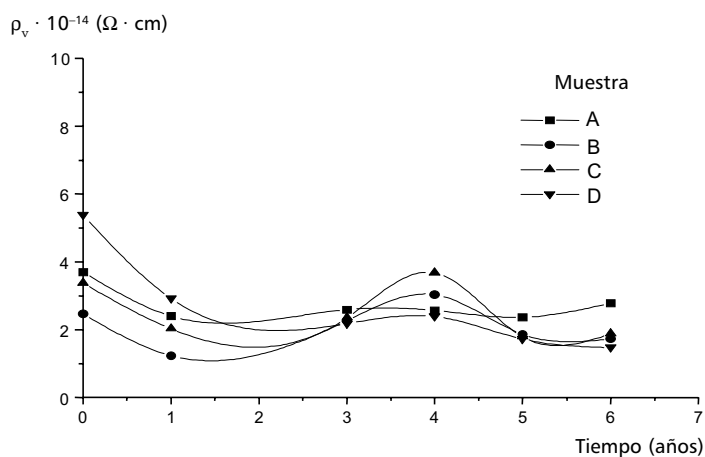


Fig. 11. Resistividad volumétrica. Estación industrial. Intemperie.

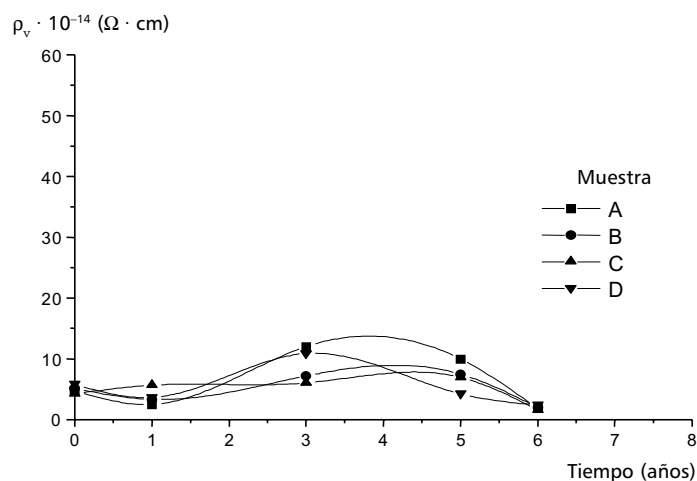
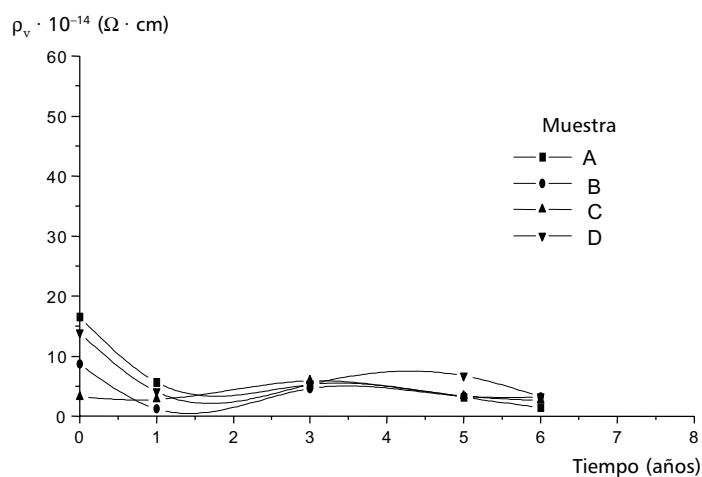


Fig. 12. Resistividad volumétrica. Estación rural. Bajo techo.



**Fig. 13.** Resistividad volumétrica. Estación marina. Bajo techo.

**Tabla 4.** Pérdidas dieléctricas de los materiales después de siete años de exposición bajo techo.

Muestra	Pérdidas dieléctricas		Resistividad volumétrica ( $\Omega \cdot \text{cm}$ )	
	Marina	Rural	Marina	Rural
A	0,085 0	0,086 1	7,90	10,06
B	0,082 1	0,084 3	10,72	9,00
C	0,076 9	0,077 7	1,20	1,76
D	0,077 5	0,074 0	1,75	2,51