

Revista Electrónica Nova Scientia

Atenuación de paquetes de carga de espacio en LDPE por electrodos de la misma composición Space charge attenuation packs in LDPE by electrodes of same composition

Idalberto Tamayo Ávila¹, José Manuel Nieto Jalil², Jorge René Viteri Moya³ y Fausto René Ramos Aguirre⁴

¹Facultad de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito

²Departamento de Mecatrónica, Instituto Tecnológico y de Estudios Superior de Monterrey, Campus Sonora Norte

³Facultad de Ingeniería Química, Universidad Central del Ecuador

⁴Facultad de Ciencias de la Ingeniería e Industrias, Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito

Ecuador - México

Idalberto Tamayo Ávila. E-mail: itavila2005@yahoo.es

Resumen

En este trabajo se estudió la influencia de dos capas semiconductoras de Ethyl Vinyl Acetate (EVA) y negro de humo (Carbon Black), sobre la formación y propagación de carga de espacio cuando se ponen en contacto con el polietileno de baja densidad (LDPE) y se le aplican campos eléctricos elevados (100 kV/mm). Estas capas son usadas como contactos interno y externo con el polietileno reticulado (XLPE) en cables de media tensión formando interfaces donde se acumula la carga. Si se usan capas semiconductoras de la misma composición química se atenúan los paquetes de carga y se retrasa el tiempo de propagación de los mismos a través del volumen de las muestras de LDPE.

Palabras Clave: Polietileno; carga libre; paquetes; interfaces; pulso electroacústico

Recepción: 08-06-2016

Aceptación: 25-08-2016

Abstract

In this work the influence of two semiconductor layers Ethyl Vinyl Acetate (EVA) and carbon black on the formation and propagation of space charge in contact with the low density polyethylene (LDPE) at high electric field (100 kV/mm) was studied. These layers are used as internal and external contacts with cross-linked polyethylene (XLPE) MV cables forming interfaces where charge accumulates. Same chemical composition are used, the ion charge packets is attenuated and delay the propagation time through the sample volume of LDPE.

Keywords: Polyethylene; space charge; packed; interfaces; electro acoustic pulse

Introducción:

El LDPE es utilizado como polietileno base para la obtención del aislamiento de polietileno reticulado, XLPE, (c) en cables de media tensión (*Figura 1*); para ello se le añaden peróxido y antioxidante durante la reacción de temperatura - tiempo en el proceso de extrusión del cable. El XLPE forma dos interfaces con las pantallas semiconductoras (b) y (d), las cuales generalmente son de diferente composición química puesto que la capa semiconductora (d) tiene que ser menos adherible al XLPE para facilitar la manipulación durante las instalaciones; en la mayoría de los casos estas pantallas están constituidas de Ethylene Vinyl Acetate (EVA), negro de humo (Carbon Black) y otros aditivos en porcentajes diferentes dependiendo del fabricante.

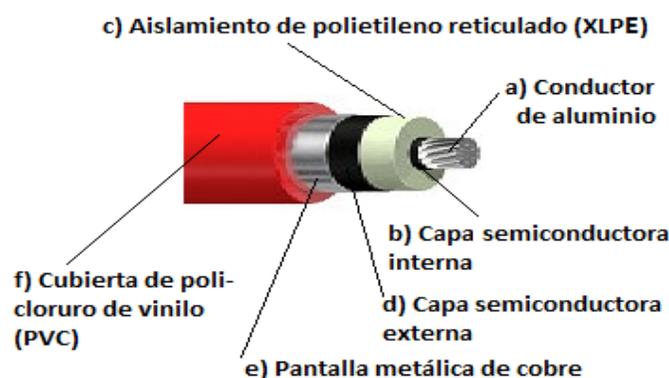


Figura 1. Cable de media tensión

Se conoce que las pantallas semiconductoras (b) y (d) difunden componentes químicos hacia el XLPE (c) provocando defectos que actúan como centros de atrapamiento de carga de espacio (Tamayo, et al. 2003), donde el campo eléctrico local se incrementa hasta un orden de 6 veces comparado con el campo eléctrico máximo de operación de estos cables que es de unos 5 kV/mm; lo anterior contribuye a favorecer el proceso de ruptura del aislamiento de los cables, puesto que al campo aplicado se le superpone el campo eléctrico local creado por la presencia de carga de la carga espacio siendo el campo total:

$$\vec{E}_{total} = \vec{E}_{aplicado} + \vec{E}_{carga\ de\ espacio}$$

También se conoce que la composición química del contacto usado como electrodo influye en la formación de carga (Chen et al. 2001, Chen et al. 2004, Tamayo et al. 2011, Fenying et al. 2011)

mediante la inyección de portadores positivos (huecos) y negativos (electrones) por acción del campo eléctrico aplicado y que siguen la ley de Schottky (Hayase, et al, 2008). Según el modelo bipolar de inyección de carga (Jiandong, et al, 2014; Tamayo, et al, 2015), la carga transportada a través del aislamiento se debe fundamentalmente a la inyección desde los electrodos. Por otra parte, la neutralización de la carga inyectada en el volumen del material dieléctrico depende de dos factores que son la extracción de portadores desde los electrodos y la recombinación de cargas de signos opuestos (Zheng, et al, 2005), mientras que la movilidad de los paquetes de carga viene dada por la siguiente ecuación:

$$\mu = \mu_0 \frac{N}{M} \text{Exp}\left(\frac{U}{kT}\right)$$

En la que μ_0 es el radio de movilidad de las cargas libres, N es el número de vacantes en el nivel de conducción, M es el número de trampas, U es el nivel de atrapamiento, k la constante de Boltzmann y T la temperatura absoluta.

Actualmente los trabajos más novedosos destinados a reducir presencia de la carga de espacio consisten en dopar al LDPE con nanopartículas dieléctricas que disminuyen los centros de atrapamiento de carga y contribuyen a suprimir los paquetes de carga que se forman en las interfaces y que se propagan a través del volumen del material (Wang, et al, 2014; Shengtao, et al, 2015).

Nuestro trabajo se limita a estudiar la influencia de dos capas semiconductoras específicas SCb y SCd respectivamente, que se usan en cables de media tensión, sobre la formación y propagación de paquetes de carga de espacio en el polietileno de baja densidad cuando se someten a campos eléctricos elevados (100 kV/mm). Para tal fin hemos usado la técnica de análisis del Pulso Electroacústico (PEA).

Método Experimental:

Entre las técnicas que se usan actualmente para medir la carga de espacio se encuentra la técnica del Pulso Electroacústico (PEA) que permite detectar la cantidad de carga y su distribución espacial en el material estudiado. La técnica PEA nace en la década de los ochenta, cuando los

doctores Takada, Maeno (Japón) y Cooke (E.E.U.U.) investigan para desarrollar una técnica que permita describir el campo eléctrico en la interfaz entre un electrodo y un material dieléctrico utilizando técnicas electroacústicas. En nuestro trabajo utilizamos una instalación experimental PEA de TechImp Systems del laboratorio DILAB de la Universidad Politécnica de Catalunya (Figura 2).

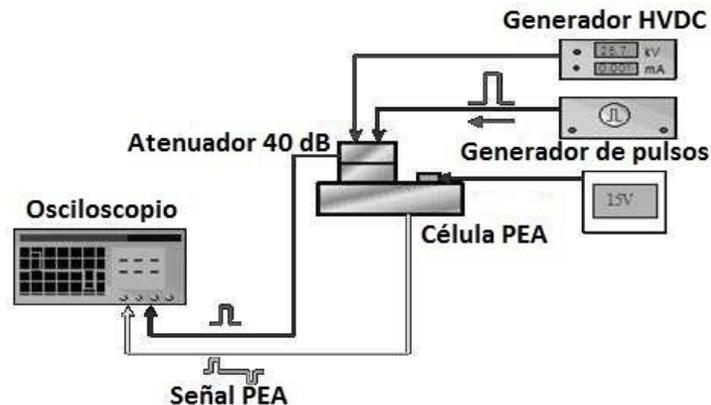


Figura 2. Esquema de la técnica del Pulso Electroacústico (PEA)

Con esta técnica se puede medir la carga formada en muestras planas de hasta 0.5 mm de espesor y en muestras cilíndricas de cables de hasta 50 mm de diámetro. Se aplica una alta tensión con una fuente, HVDC Spellman SL80PN10/10001, 0 – 80kV DC, para la polarización de las muestras; una serie de pulsos de baja tensión de muy corta duración producidos por un generador, fuente Spellman SL6PN600/10007, 0–5kV DC, son superpuestos sobre la alta tensión y serán los encargados de provocar el ligero desplazamiento de las cargas para producir las ondas acústicas.

Cada pulso produce una fuerza eléctrica que provoca desplazamientos de las cargas y se generan ondas de presión acústicas en correspondencia con el nivel de carga de cada estrato del espesor de la muestra. La señal de presión resultante es detectada por un transductor piezoeléctrico, de tal manera que la distribución de carga en la muestra bajo prueba puede ser obtenida a través de la señal de salida del transductor. Esta señal de tensión de salida junto a una señal de los pulsos de tensión aplicados que se utiliza como trigger para sincronizar las señales son enviados a un osciloscopio digital, Tektronix TDS 5032, que configurado adecuadamente monitoriza periódicamente en pantalla la imagen del perfil de carga detectado.

Para el estudio de la influencia de las capas semiconductoras en los procesos de formación y transporte de carga en el LDPE se cortaron electrodos circulares de 10.0 mm de diámetro de la capa original que están en contacto con el aislamiento de polietileno reticulado en los cables de media tensión estudiados, SCb la capa interna y SCd la capa externa como puede observarse en la (figura 1). El electrodo semiconductor SCb tiene un 38.0 % de negro de humo mientras que el SCd tiene un 36.0 %.

Se prepararon cuatro configuraciones para efectuar las medidas mediante la técnica PEA (figura 3) donde se ponen en contacto los electrodos SCb y SCd por ambas caras de la lámina de LDPE de 150 μm de espesor. El semiconductor en contacto con el LDPE por la cara superior se conecta al ánodo (+) mientras que el que está en contacto con la cara inferior se conecta al cátodo (-) durante la aplicación del campo eléctrico en la célula de medidas (figura 2).

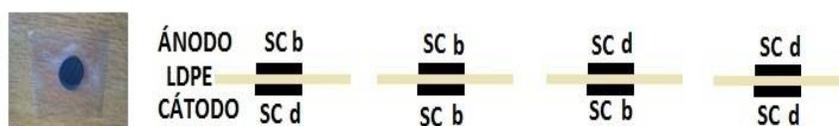


Figura 3. Esquema de las cuatro configuraciones utilizadas:

SCb -LDPE-SCd, SCb-LDPE-SCb, SCd-LDPE-SCb, SCd-LDPE-SCd.

Resultados y discusión:

En la figura 4 se observa el perfil de carga obtenido para la configuración SCb-LDPE-SCd; puede notarse como aproximadamente a los 150 segundos de estar aplicado el campo se forma un pico de carga cerca del electrodo positivo (cátodo) y comienza a propagarse hacia el electrodo negativo (ánodo) tardando un tiempo de 500 segundos en atravesar el espesor de 150 μm de muestra de polietileno. La densidad máxima de carga de este pico llega a ser de 17.25 C/m³.

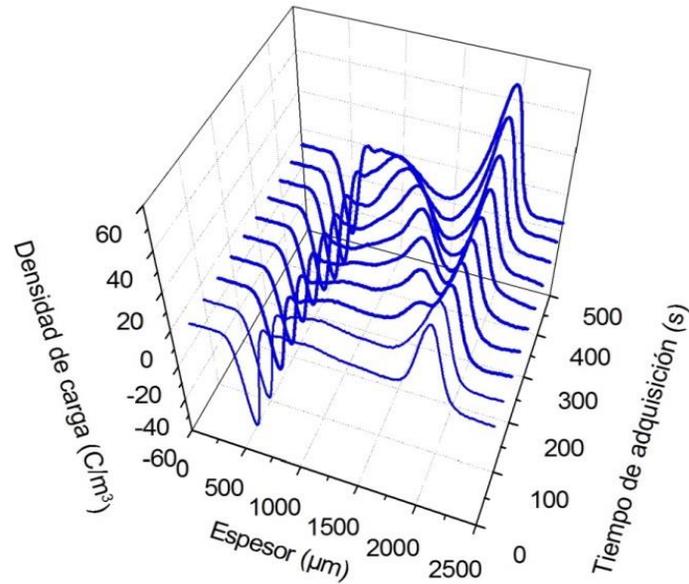


Figura 4. Medidas PEA en configuración SCb-LDPE-SCd

En la *figura 5* puede verse el perfil para la configuración SCb-LDPE-SCb, también cercano a los 150 segundos de aplicar el campo se forma el pico de carga que se propaga hacia el electrodo negativo tardando unos 550 segundos en atravesar la muestra o sea 50 segundos más que en la configuración SCb-LDPE-SCd. La densidad máxima del pico que se propaga llega a ser de 9.38 C/m^3 ; el hecho de usar electrodos con la misma composición química provoca un retardo de 50 segundos en la propagación del paquete de carga y una disminución de la densidad de carga transportada.

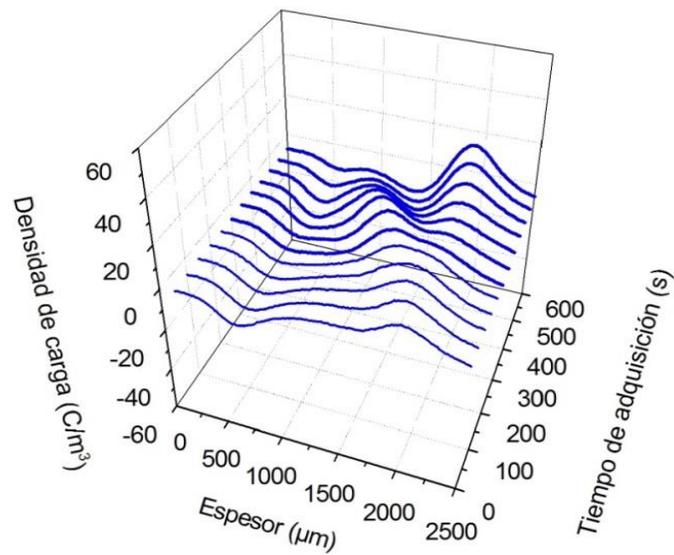


Figura 5. Medidas PEA en configuración SCb-LDPE-SCb

La *figura 6* muestra el perfil de carga para la configuración SCd-LDPE-SCb. Si la comparamos con el obtenido para la configuración SCd-LDPE-SCd de la *figura 4*, se nota una disminución de la cantidad de carga acumulada en los electrodos; también se propaga un pico de carga de menor amplitud 9.38 C/m^3 que se forma a unos 300 segundos de estar aplicado el campo y demora unos 600 segundos en atravesar el espesor de la muestra de LDPE.

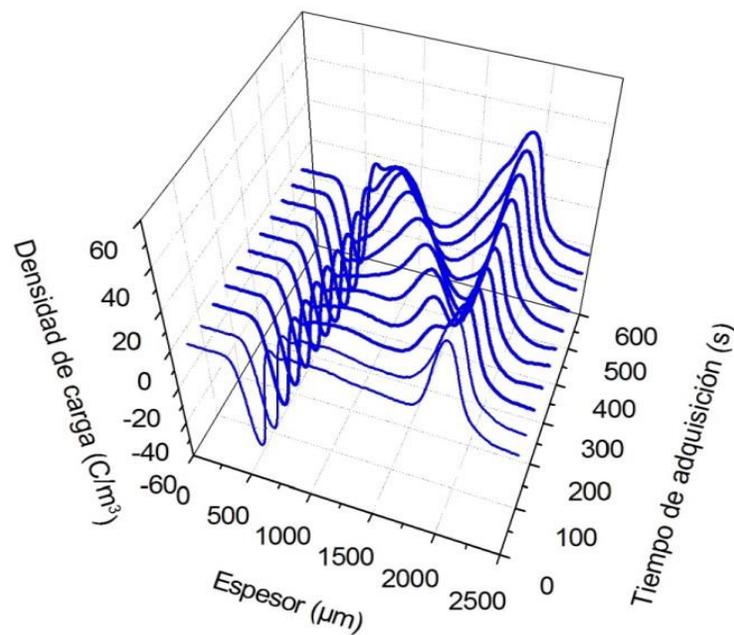


Figura.6. Medidas PEA en configuración SCd-LDPE-SCb

En la *figura 7* puede verse el perfil para la configuración (SCd-LDPE-SCd); aquí apreciamos un descenso considerable de la carga acumulada en las interfaces si se compara con el resto de las configuraciones estudiadas; se propaga un pico de carga de menor amplitud 2.42 C/m^3 , hay un retardo en la formación del paquete ya que aparece a unos 450 segundos de haber aplicado el campo y se demora más en atravesar la muestra siendo el tiempo de tránsito de unos 900 segundos.

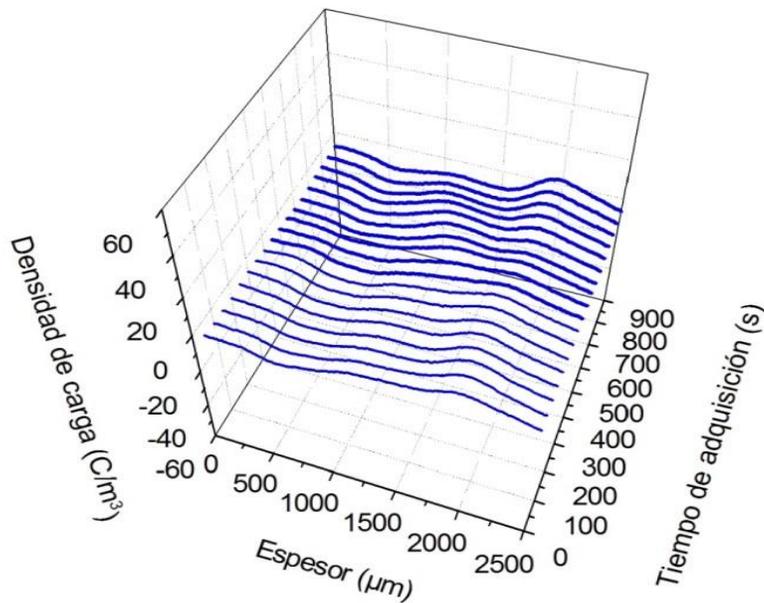


Figura 7. Medidas PEA en configuración SCd-LDPE-SCd

En la tabla 1, resumimos la máxima densidad volumétrica de la carga transportada, el tiempo de formación y el tiempo de tránsito del paquete de carga de espacio por el volumen del LDPE para cada una de las configuraciones estudiadas. Nótese como en la configuración SCd-LDPE-SCd hay un retardo en el tiempo de formación del paquete obteniéndose el mayor tiempo de formación y como aumenta el tiempo de propagación y la densidad de carga transportada es mínima.

Tabla1. Densidades de carga transportada y tiempos

Configuración estudiada	Densidad de carga máxima (C/m ³)	Tiempo de Formación (s)	Tiempo de tránsito(s)
SCb –LDPE - SCd	29.96	150	500
SCb - LDPE - SCb	9.38	300	600
SCd - LDPE - SCb	17.25	150	600
SCd - LDPE - SCd	2.38	450	900

El retardo obtenido en la aparición de los paquetes de carga de espacio, la atenuación en su intensidad, así como la disminución de la velocidad de propagación de los mismos a través del volumen del LDPE lo atribuimos a que la cantidad de carga positiva y negativa inyectada desde ambos electrodos de igual composición química pueden ser comparables y facilitan el proceso de recombinación resultando una cantidad de carga neta menor.

El menor porcentaje de carbón black empleado en el semiconductor SCd (36 %) también puede contribuir a que se inyecte menos carga hacia el LDPE siendo significativa la atenuación cuando se usa este semiconductor como electrodo.

Conclusiones:

La atenuación de paquetes de carga de espacio observada en nuestros experimentos puede atribuirse a la disminución de la carga libre si se tiene en cuenta que los electrodos de igual composición química inyectan portadores de cargas de signos contrarios hacia el volumen del LDPE con coeficientes de recombinación semejantes que facilita la neutralización.

La disminución del tiempo de propagación de los paquetes de carga puede ser debido a que el gradiente de carga de signos contrarios en las interfaces disminuye cuando se usan electrodos de la misma composición y es un factor determinante para que se propaguen los paquetes por el material

Agradecimientos:

Los autores de este trabajo queremos expresar nuestra más sincera gratitud a: Juan de Dios Martínez del laboratorio Físico Central de la planta de la planta de Manlleu de la empresa General Cable que suministró las muestras de cables de media tensión. A David Arencón del

Centro Catalán del Plástico quien elaboró y suministró las muestras de LDPE. A Miguel Mudarra Lopez, José Antonio Diego, Juan Carlos Cañadas y Juan Belana Punseti del Grupo DILAB de la Universidad Politécnica de Catalunya donde pudimos efectuar las medidas.

Referencias:

Chen G, T. Y.G. Tay, A.E. Davies. (2001). Electrodes and Charge Injection in Low-density Polyethylene Using the Pulsed Electroacoustic Technique. IEEE Transactions on Electrical Insulation. Vol.8. N°6. 867 - 873.

Chen G, Tanaka Y, Tanaka T and Zhong L. (2004): "Effect of Polyethylene Interface on Space Charge Formation". IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation. Vol 11. N°1. 113 -116.

Fenyng NIU, Yewen ZHANG, Zhenlian AN, Feihu ZHENG, Peng MA and Qingquan LEI. (2001). Space Charge Injection in LDPE by Semiconductive Electrode with Different Carbon Black Filling Rates. Conference Proceedings of ISEIM. 2011. 12 - 15.

Hayase.Y, Tanaka.Y, Takada.K (2008). Numerical Simulation of Space Charge Injection in LDPE under Relatively Low Electric Stress". IEEE. Annual Report Conference on Electrical Insulation Dielectric Phenomena.157 - 160.

Jiandong Wu, Li Lang, Zhe Li, Yi Yin (2014). Simulation of Space Charge Behavior in LDPE with Modified of Bipolar Charge Transport Model. Conference Proceedings of ISEIM 2014. 65 - 69.

Shengtao Li, Zhao Ni, Yongjie Nie, Wang Xia, Chen George, Teyssedre Gilbert (2015). Space Charge Characteristics of LDPE Nanocomposite/LDPE Insulation System. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation.Vol. 22, N° 1. 92 -100.

Tamayo I, Belana J, Diego J.A, Cañadas J.C, Mudarra M. Sellares J. (2004). Space Charge Studies of Crosslinked Polyethylene Midvoltage Cable Insulation by Thermally Stimulated Depolarization Current, Infrared/Fourier Transform Infrared, and Scanning Electron Microscopy. Journal of Polymer Science. Part B. Polymer Physics. Vol. 42. 4164 - 4174.

Tamayo Ávila I, Nieto Jalil J.M, Viteri Moya J, Roldan Reascos G.M.E, Argüello Mejía A.V (2015). Contribución de la humedad a la formación y transporte de carga de espacio en LDPE mediante la técnica del Pulso Electroacústico. Nova Scientia. N° 14.Vol. 7 (2). 452 – 473.

Tamayo I, Òrrit J, Diego J.A, Belana J, Cañadas J.C. (2011). Influence of EVA - Carbon Black Based SC-shield in Free Charge Generation and Propagation in LDPE. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation. ISE 14, Montpellier. 97 - 98.

Wang Xia, Zepeng Lv, Kai Wu, Chen Xi, Demin Tu, Dissado Leonard A (2014). Study of the Factors that Suppress Space Charge Accumulation in LDPE Nanocomposites. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation. Vol. 21, N° 4. 1670 - 1679.

Zheng Feihu, Zhang Yewen, Gong Bin, Jianwei Zhu, Changshun Wu (2005). Formation and migration of space charge packet in low density polyethylene. Science in China Ser- E Engineering. Materials Science 2005. Vol 48. N°.3. 354 - 360.

