

Efecto de la radiación en el envejecimiento de los materiales de cables coaxiales utilizados en el sistema de instrumentación neutrónica del reactor RP-10

Alcides López^{2,*}, Rolando Arrieta¹, Agustín Urcia¹

¹ Departamento de Operación de Reactores Nucleares, Instituto Peruano de Energía Nuclear, Avenida Canadá 1470, Lima 41, Perú

² Dirección de Investigación y Desarrollo, Instituto Peruano de Energía Nuclear, Avenida Canadá 1470, Lima 41, Perú

Resumen

Se presenta el estudio del envejecimiento de los materiales del sistema de instrumentación neutrónica en el reactor RP-10 mediante análisis morfológico comparativo de los plásticos empleados como aislantes de un cable coaxial nuevo e irradiado en su posición de trabajo próximo al núcleo del reactor nuclear por un tiempo aproximado de un año. A través de un análisis fractográfico por microscopía electrónica de barrido y por microscopía electrónica de transmisión se comparó a nivel macroscópico las superficies exteriores, las secciones transversales microscópicas, observándose que a mayor dosis de radiación los plásticos se vitrifican y forman burbujas internas que crecen, produciéndose tensiones internas que fracturan la matriz y disminuyen sus propiedades aislantes, resultados importantes que servirán para la toma de decisiones de reparación o sustitución de los componentes afectados por el envejecimiento debido al cambio de propiedades inducidos por radiación de neutrones.

Abstract

In this work we show the study of aging of the materials applied on neutron instrumentation system, by performing comparative morphological analysis of the plastics used as insulation, in a new and irradiated coaxial cable in its working position, close to the core of the Nuclear Reactor RP-10, for a time approximately of one year. Macroscopic analysis of the exterior surfaces fractography was performed by scanning and transmission electron microscopy, also microscopic cross sections were analyzed, showing that higher doses of radiation induce vitrification of the plastics, with internal bubbles that grow, producing internal stress, fracture and reducing their insulator properties of the matrix, these important results serve to decision making, about repair or replacement of the components affected by ageing caused by the neutron induced radiation.

1. Introducción

Desde el año 2001, el Perú participa en el Proyecto RLA/9/046/ ARCAL LXVIII [1], donde se aprobó la aplicación de Programas de Gestión de Envejecimiento a reactores previamente seleccionados, siendo uno de ellos el Reactor Nuclear de Investigación RP-10 [2,3], facilitando el intercambio de información y de expertos de la región. Debido a la existencia de muchos reactores nucleares de investigación que tienen más de 40 años de vida útil, que han superado incluso a su vida de diseño, el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) incentiva la recolección de información existente [4] para propiciar sistemas de gestión de envejecimiento, a fin de evitar consecuencias negativas sobre la seguridad, operatividad, disponibilidad y gestión de vida de los reactores de investigación. La gestión de envejecimiento [5] junto con la

planificación económica son el fundamento de lo que se conoce como gestión de vida [6,7].

El presente trabajo está orientado al estudio del envejecimiento de la instrumentación y control enfocado en el área de supervisión y control operacional, específicamente a las cámaras que controlan la evolución del flujo neutrónico en la etapa de marcha. El reactor RP-10 [8,9] cuenta con tres canales que miden la etapa de arranque y otras tres para la etapa de marcha, más un canal para el control, todos usan materiales aislantes plásticos en los cables coaxiales que transmiten señales eléctricas y están instalados dentro de la piscina y próximos al núcleo del reactor.

El daño producido por la radiación es consecuencia de la interacción de los

* Correspondencia autor: alopez@ipen.gob.pe

neutrones con los átomos de su estructura, ya sea cristalina o amorfa que provocan desplazamiento de los átomos y cascadas de desplazamientos que pueden impedir el movimiento de las dislocaciones y dar lugar a la disminución de las propiedades de tenacidad y dureza del material, provocando su fragilización y modificando sus propiedades eléctricas. Este daño es proporcional a la fluencia a la que fue sometida los cables en estudio, que fue de aproximadamente de 10^{21} n.cm⁻² [5, 10].

2. Experimental

2.1 Materiales

Los cables utilizados en el presente estudio se emplean en la transmisión de alta tensión y señal, son de marca Belden 8240, coaxial RG-58/U, Type E34972, AWM 1354 y han sido instalados en los detectores de neutrones conectados a Cámaras de Ionización Compensadas (CIC) en el canal de marcha N° 2 del RP-10 [8], con un tiempo de permanencia aproximado de 1 año, las CIC estaban localizadas a 1,5 m del centro del núcleo del reactor, la colocación de estos cables se hizo mediante entubamiento con tubos de aluminio. La calidad del medio en la que estuvo permanentemente operando el cable entubado, fue agua desmineralizada con un pH de 7, conductividad 2 micro siemens (Resistividad mayor a 200 kΩ/cm), temperatura media de operación 45 °C a 10 MW de potencia térmica, el flujo neutrónico era de 10^{14} n.cm².s⁻¹ [11] y estaba asociada a la radiación gamma de los productos de fisión y de los materiales activados de las estructuras. Los cables estaban unidos a las CIC por medio de conectores metálicos, a las que se caracterizó con una tasa de dosis de aproximadamente 2 mSv/h. En algunos casos, se encontraron filtraciones de agua en el interior de los tubos que contienen a los cables, deteriorando rápidamente el cable y produciendo ruido en la transmisión de la señal. En la Figura 1 se puede apreciar los CIC, que están colocados en las inmediaciones del núcleo del RP-10, indicado mediante las flechas rojas. La iluminación azulina observada se debe a la típica radiación Cherenkov producida durante el funcionamiento del reactor.

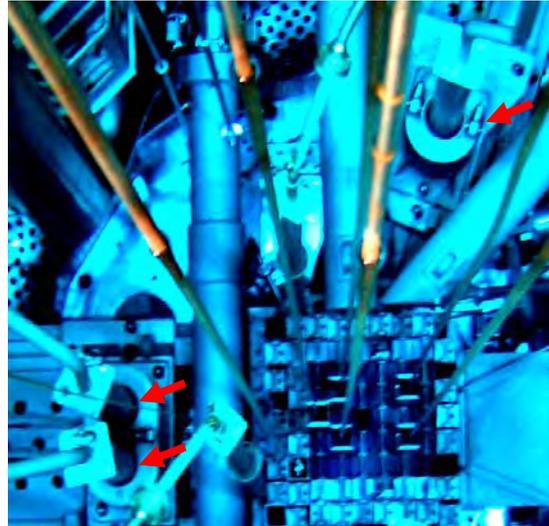


Figura 1. Vista superior del tanque del RP-10 en plena operación, al centro se encuentra el núcleo y se muestran tres de las cuatro cámaras de ionización, ver flechas rojas.

2.2 Método

La preparación de las muestras para microscopía electrónica se hizo en el Instituto de Patología de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, para ello se cortaron secciones ultra finas de aproximadamente 100 nm de espesor usando un ultramicrotomo con cuchilla de diamante, las mismas que fueron analizadas en un Microscopio Electrónico de Barrido Transmisión Philips STEM 400 operando a 80kV de potencial para la imagen y la difracción de electrones de área selecta [12]. El análisis por Microscopía Electrónica de Barrido (MEB) [13] se hizo mediante un microscopio SEM TESCAN modelo VEGA 3 del Ministerio Público de Lima.

3. Resultados y Discusión

3.1 Análisis fractográfico [14]

En la Figura 2 se aprecian los cables estudiados, pudiéndose observar la diferencia de coloración del plástico interior y del efecto de la corrosión en los hilos de cobre del blindaje. Al hacer un corte transversal se observan las secciones en el cable sin y con irradiación (Figura 3), también se observa el notorio cambio de coloración en el aislante exterior, que incrementa su volumen, se fractura y aclara ligeramente su color.

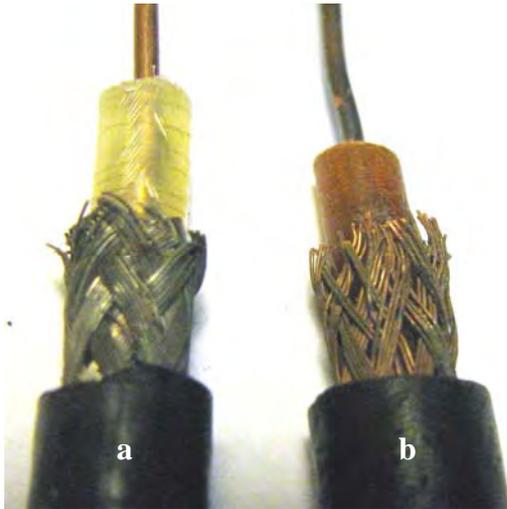


Figura 2. Aspecto de las diferentes partes de los cables coaxiales: a) sin irradiar y b) usado en el RP-10 (irradiado).

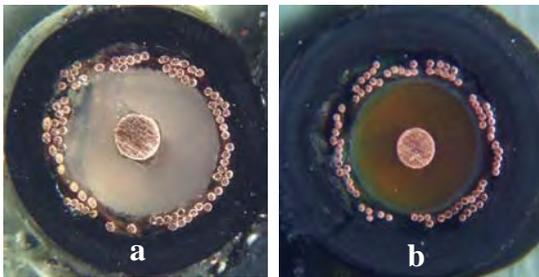


Figura 3. Aspecto de la sección transversal de los cables coaxiales vista al microscopio: a) cable sin irradiar y b) cable irradiado.

El análisis por MEB ha sido aplicado al estudio de la superficie exterior y a las fracturas del material aislante del cable, en la Figura 4b se aprecia el alto grado de resquebrajamiento experimentado por la superficie del aislante luego de un año aproximado de irradiación, las rajaduras tienen en promedio $10\ \mu\text{m}$ de apertura las mismas que han disminuido las buenas características como aislante eléctrico, mientras que la no irradiada (Figura 4a) se presenta continua exponiendo algunas partículas sólidas, esta representa una superficie óptima.

A una mayor ampliación han sido examinadas las fracturas de los materiales aislantes, las micrografías de la Figura 5a muestran la existencia de partículas sólidas agregadas al polímero, dichas partículas constituyen el material de aporte que además le dan el color negro.

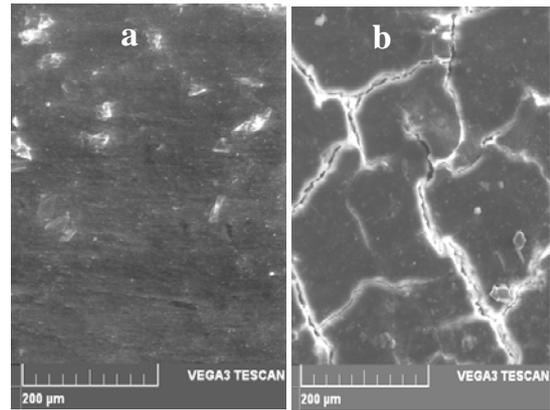


Figura 4. Aspecto de la superficie exterior de los cables coaxiales vista al microscopio electrónico de barrido, a) cable nuevo y b) cable irradiado en el RP-10.

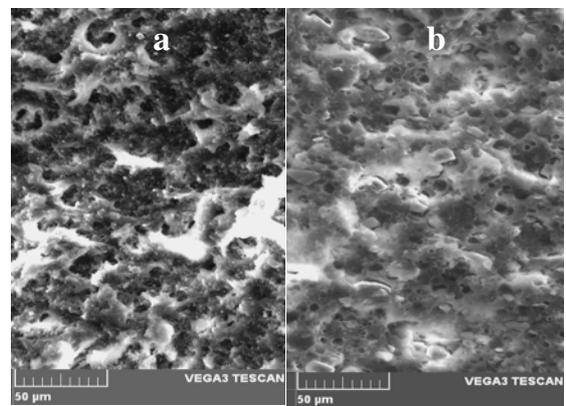


Figura 5. Micrografías MEB de fracturas de aislante a) nuevo y b) luego de un año de irradiación.

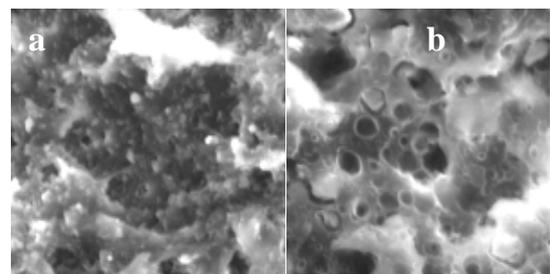


Figura 6. Ampliaciones de la Figura 5 fracturas producidas en el aislamiento exterior de cables coaxiales a) cable nuevo y b) cable irradiado en el RP-10.

En la Figura 5a se observa una matriz polimérica oscura de aspecto granular deslizado, con tamaño de grano aproximado de $3\ \mu\text{m}$, se observa también una población de puntas, propias de la ruptura plástica correspondiente al aislante sin irradiar, mientras que en la Figura 5b las características de la ruptura plástica han desaparecido. Para mayor claridad, estas

imágenes se muestran a mayor amplificación en la Figura 6.

3.2 Análisis de la sección transversal

El análisis por Microscopio Electrónico de Transmisión (TEM) del plástico oscuro de los cables coaxiales, presentan a bajas ampliaciones (2200X), la presencia de burbujas de aire en ambas muestras pudiendo tener entre 5 y 50 micras de diámetro, al interior de la matriz de plástico se observan, además, partículas oscuras de tamaños variables entre 1 y 10 micras, características propias de la fabricación, solo en el plástico de la muestra irradiada se observa una población importante de burbujas esféricas y elipsoidales; para obtener estas vistas, las muestras han sido cortadas en láminas delgadas con un espesor aproximado de 100 nm mostrando segmentos o casquetes esféricos, en menor proporción los casquetes o secciones elipsoidales, el diámetro estimado de las burbujas varía entre 100 nm y 1 micra, tal como pueden apreciarse en las Figuras 7 y 8.

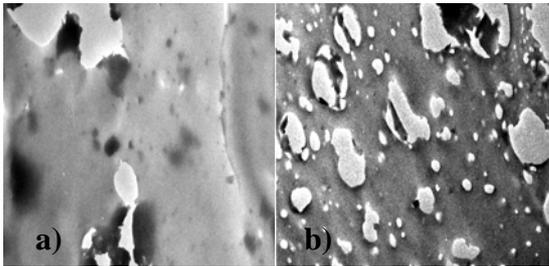


Figura 7. Micrografías electrónicas a ampliaciones idénticas de secciones del aislamiento exterior de cable coaxial, a) cable sin irradiar, b) cable irradiado.

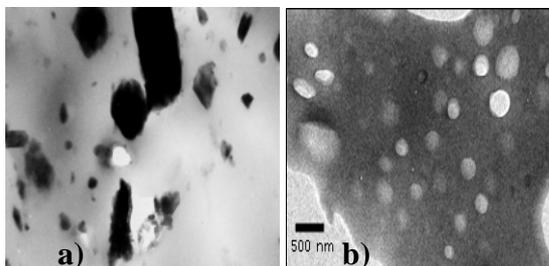


Figura 8. Micrografías electrónicas a ampliaciones idénticas de secciones del aislamiento exterior de cable coaxial, a) cable sin irradiar, b) cable irradiado.

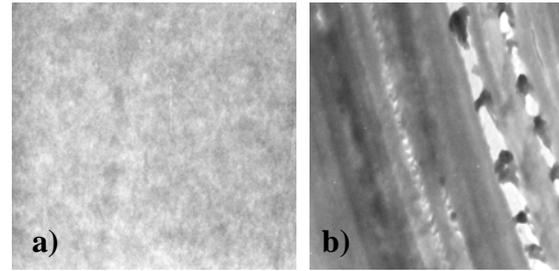


Figura 9. Micrografía TEM, de plásticos aislantes interior de cable coaxial, a) nuevo y b) plástico irradiado.

En la Figura 9 se observa el corte ultra fino del aislante interior transparente, cuando no están irradiados se muestran continuos y son sencillos de cortar (Figura 9a), mientras que cuando han sido irradiados por casi un año, el plástico pierde su elasticidad volviéndose más vidrioso y difícil de ser cortado, resultando muy fácil de fracturarse ante cualquier flexión o torsión del material (Figura 9b).

4. Conclusiones

Los análisis morfológicos de las fracturas y cortes transversales por microscopía electrónica han permitido mostrarnos un panorama claro del daño producido por la radiación en los materiales aislantes de cables coaxiales, observándose que el daño sufrido por el material expuesto a radiación severa es función de la fluencia neutrónica acumulada en la zona de interés y del respectivo espectro energético. A mayor fluencia de radiación los plásticos se vitrifican y forman burbujas internas que crecen, produciéndose tensiones internas que fracturan la matriz y disminuyen sus buenas propiedades mecánicas, estructurales y electrónicas pudiendo traer consecuencias negativas para el funcionamiento del RP-10. Estas fallas se hacen críticas alrededor de cierta fluencia acumulada, que se manifiesta distorsionando la señal utilizada para el control e incorporando variaciones espurias en el nivel de corriente transmitido, el cual es proporcional al flujo neutrónico esperado.

Los resultados hallados son importantes y contribuirán a estimar el tiempo de vida útil de los cables coaxiales, además será útil para la toma de decisiones de reparación o sustitución de los componentes afectados por el envejecimiento, debido al cambio de propiedades inducidos por radiación de

neutrones. Estos resultados pueden tomarse en consideración para estimar el tiempo de vida útil de materiales similares que han sido expuestos a la radiación severa.

5. Agradecimientos

A la Dra. Nancy Rojas del Instituto de Patología de la UNMSM por la realización de los cortes ultrafinos de los aislantes para análisis TEM. A los doctores Elizabeth Carrera y Shermany Aronés del Ministerio Público (Morgue Central de Lima) por facilitarnos el estudio por Microscopía Electrónica de Barrido.

6. Referencias

- [1] Organismo Internacional de Energía Atómica. Mejoramiento de la seguridad de reactores de investigación. Proyecto RLA/9/046 ARCAL LXVIII. 1ª Reunión de Coordinadores de Proyecto, Santiago de Chile, 19 a 23 de marzo de 2001.
- [2] Instituto Peruano de Energía Nuclear. Informe de Seguridad del RP-10. Capítulo I: Introducción y descripción general. [Informe interno]. Lima, junio 2011.
- [3] Organismo Internacional de Energía Atómica. Seguridad en reactores de Investigación. Viena: OIEA; 2004.
- [4] Agencia de Energía Nuclear. OCDE: NEA/SEN/NDC: Status Report 6 on nuclear power plant life managements. 2000.
- [5] Instituto Peruano de Energía Nuclear. Plan de gestión de envejecimiento del RP-10 Lima. [In press].
- [6] Gómez Briceño Dolores. Materiales estructurales: Envejecimiento y gestión de vida. En: Tecnologías energéticas e impacto ambiental. 1º Edición - McGraw-Hill Profesional; 2001.
- [7] Consejo de Seguridad Nuclear. Instrucción IS-22, sobre gestión del envejecimiento y la operación a largo plazo de centrales nucleares. 2009.
- [8] Instituto Peruano de Energía Nuclear. Informe de seguridad del RP-10. Capítulo VII: Instrumentación y Control. [Informe interno]. Lima, junio 2011.
- [9] Instituto Peruano de Energía Nuclear. Informe de seguridad del RP-10. Capítulo XII: Conducción de las operaciones. [Informe interno]. Lima, junio 2011.
- [10] Instituto Peruano de Energía Nuclear. Cuaderno de actividades diarias del RP-10. Año 2011. [Informe interno].
- [11] Instituto Peruano de Energía Nuclear. Informe de seguridad del RP-10. Capítulo XVII: Límites y Condiciones Operacionales. [Informe interno]. Lima, junio 2011.
- [12] Philips, Eindhoven, NL. User manual STEM 400.
- [13] Miguel Suarez João Carlos, Coutinho Fernanda MB, Sydenstricker Thais H. SEM studies of tensile fracture surfaces of polypropylene-sawdust composites. Polymer Testing. 2003; 22(7):819–824.
- [14] Shackelford James F. Introducción a la ciencia de materiales para ingenieros. 6ª Edición. Madrid: Pearson-Prentice Hall; 2006. P. 114-115.