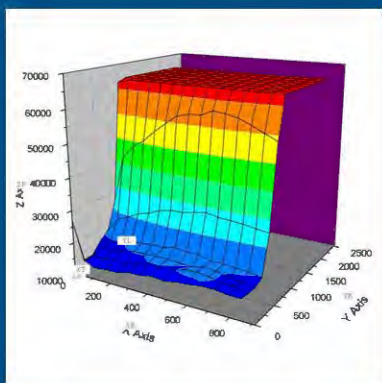
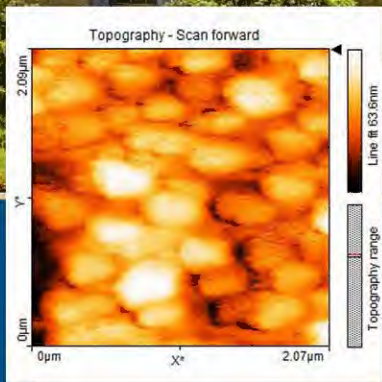
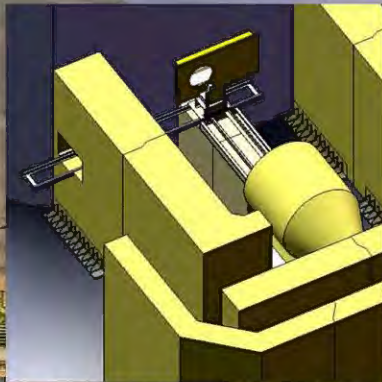
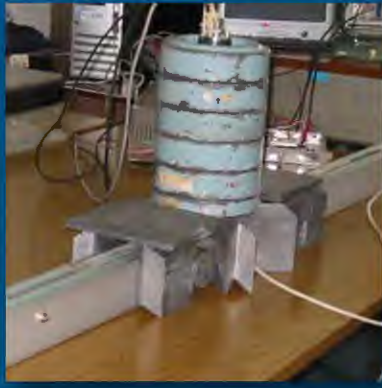


ISSN 1684-1662 (Impresa)
ISSN 2225-2029 (En línea)



IPEN
INSTITUTO PERUANO
DE ENERGÍA NUCLEAR

Informe Científico Tecnológico 2011

Instituto Peruano de Energía Nuclear



FÍSICA Y QUÍMICA

CIENCIA DE LOS MATERIALES

INGENIERIA NUCLEAR

**APLICACIONES EN MINERÍA, INDUSTRIA
Y MEDIOAMBIENTE**

APLICACIONES EN MEDICINA Y BILOGÍA

**SEGURIDAD NUCLEAR Y PROTECCIÓN
RADIOLÓGICA**

INSTRUMENTACIÓN CIENTÍFICA

ASPECTOS GENERALES

**INFORME CIENTÍFICO TECNOLÓGICO
2011**

INSTITUTO PERUANO DE ENERGÍA NUCLEAR – IPEN

Presidente: Carlos F. Barreda Tamayo

Director Ejecutivo: Carlos A. Espinoza Alegría

Editor en Jefe: Alcides López Milla

Comité Editor: Antonio Prado Cuba

Juan Agapito Panta

Eduardo Montoya Rossi

Carátula Unidad de Imagen Institucional

ISSN 1684-1662 (Versión impresa)

ISSN 2225-2029 (Versión electrónica)

Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2013-01330

Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN)

Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

Lima, enero 2013

© Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN)

Telefax 2252459

Página Web: <http://www.ipen.gob.pe>

E-mail: postmaster@ipen.gob.pe

Se permite la reproducción parcial y referencial, con la obligación de citar la fuente “**Informe Científico Tecnológico 2011**” del Instituto Peruano de Energía Nuclear.

Los trabajos publicados en el Informe Científico Tecnológico 2011 han sido desarrollados en el IPEN; en algunos casos, en colaboración con otras instituciones nacionales y extranjeras. Los editores señalan explícitamente que el contenido, método y resultados expuestos por los autores de los artículos, son de su responsabilidad.

Impreso en Lima - Perú

Enero 2013

CONTENIDO

	Página
PRESENTACIÓN	V
ÍNDICE DE TRABAJOS	VII
I. FÍSICA Y QUÍMICA	1
II. CIENCIA DE LOS MATERIALES	13
III. INGENIERÍA NUCLEAR	37
IV. APLICACIONES EN MINERÍA, INDUSTRIA Y MEDIOAMBIENTE	67
V. APLICACIONES EN MEDICINA Y BIOLOGÍA	85
VI. SEGURIDAD NUCLEAR Y PROTECCIÓN RADIOLÓGICA	97
VII. INSTRUMENTACIÓN CIENTÍFICA	137
VIII. ASPECTOS GENERALES	153
ANEXOS	177
ÍNDICE DE AUTORES	207

Presentación

Nuestro país viene confirmando la tendencia de crecimiento económico de los últimos años, poniendo énfasis, en el último bienio, en la inclusión social que haga llegar los beneficios del desarrollo económico a las grandes mayorías, para alcanzar dicho objetivo entre otras tareas se refuerza y reestructura el soporte que brindan las instituciones vinculadas a la ciencia, tecnología e innovación a la atención de las necesidades del sector productivo y de la población en general.

En cumplimiento de su Plan Estratégico el Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN) en alianza estratégica con el sector salud y con el Instituto de la Seguridad Social (EsSALUD) viene culminando la instalación de un acelerador de partículas tipo Ciclotrón que beneficiará a la gran mayoría de la población nacional en aplicaciones oncológicas, cardiológicas, neurológicas y de investigación. Asimismo se brindará asistencia técnica para la adquisición y uso de tecnologías que permitan la investigación, el desarrollo y la aplicación de células y tejidos irradiados para injertos así como para la irradiación de sangre y componentes sanguíneos, posibilitando en el plazo más corto posible trasplantes de médula ósea en pacientes pediátricos.

Como parte de las fructíferas relaciones de cooperación con el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), organismo especializado del Sistema de las Naciones Unidas, se está desarrollando el proceso de adquisición de elementos combustibles para el reactor nuclear de investigación RP-10, lo que permitirá asegurar la sostenibilidad del Centro Nuclear Oscar Miro Quesada de la Guerra (RACSO). Dentro de este marco de cooperación y en cumplimiento de su rol como Autoridad Regulatoria Nacional el IPEN ha emitido normativa con requisitos sobre: a) “Seguridad radiológica en radiografía industrial”; b) “Seguridad física de fuentes radiactivas”; c) “Requisitos Técnicos y administrativos para los servicios de dosimetría personal de radiación externa”, d) “Protección Radiológica y Seguridad en Medicina Nuclear”, e) “Protección Radiológica en Diagnóstico Médico con Rayos X”, f) Proyecto “Seguridad Radiológica en Minería e Instalaciones de Uranio y Torio o materiales sin procesar”.

En el campo de la seguridad radiológica y con ocasión del terremoto que desencadenara en un accidente nuclear en Fukushima se creó un portal, especialmente orientado a los connacionales en Japón, con instrucciones y medidas para enfrentar las emergencias radiológicas.

En el mismo campo de cooperación con el OIEA se viene desarrollando un proyecto regional con los otros integrantes de la Comunidad Andina (Colombia, Ecuador y Bolivia) para compartir la experiencia peruana de las últimas décadas en el control y erradicación de plagas, principalmente la mosca de la fruta utilizando para ello la Técnica del Macho Estéril. En igual manera se promocionan las técnicas de irradiación de alimentos frescos que beneficiarán a las comunidades altoandinas con cultivos de autoconsumo y al sector agroexportador que podrá colocar sus productos en mercados exigentes como los europeos y asiáticos.

El Informe Científico Tecnológico es una publicación oficial del IPEN que presenta artículos originales en campos interdisciplinarios en los que las técnicas nucleares tienen algún grado de aplicación; refleja el quehacer institucional en investigación y desarrollo, y está orientado no solo hacia la comunidad científica, sino también al público general interesado en conocer las diversas aplicaciones pacíficas de la energía nuclear en sectores fundamentales como salud humana, agricultura, hidrología e industria, energía y medioambiente.

El Informe también pretende ser un medio de comunicación y de difusión científica-tecnológica. Se espera que contribuya con el desarrollo, la productividad, la competitividad e inclusión social en todos los campos de la actividad productiva y de servicios nacionales.

En el IPEN, gran parte de las investigaciones y estudios se hacen en base al esfuerzo y colaboración interinstitucionales y como resultado de esta interacción cooperativa en la presente entrega presentamos resúmenes de trabajos ordenados para una mejor exposición en temas de: Física y Química, Ciencia de los Materiales, Ingeniería Nuclear, Aplicaciones en Minería, Industria y Medio Ambiente, Medicina y

Biología, Seguridad Nuclear y Protección Radiológica, Instrumentación Científica y un complemento de Aspectos Generales y Anexos.

En la sección de minería, industria y medioambiente destacan estudios de determinación de filtraciones de una relavera utilizando técnicas isotópicas así como el estudio de la interconexión de filtraciones y surgencias de bocaminas aguas abajo de una mina. En aplicaciones en medicina y biología un estudio ilustra el impacto de la gammagrafía ósea en decisiones clínicas de manejo de neoplasias. En la sección de seguridad nuclear y protección radiológica destacan el análisis del control regulatorio de la radiografía industrial así como el estudio de las ventajas logradas con el control de las importaciones de fuentes y equipos de radiación ionizante de uso industrial.

En la sección de ciencia de los materiales destaca la obtención de partículas de quitosano mediante radiación gamma y gelación ionotrópica. En ingeniería nuclear se estudia el alineamiento óptico y caracterización del haz neutrónico radial N° 4 del reactor nuclear RP-10. En física y química se muestra la caracterización química de *Lemma* o lenteja de agua del lago Titicaca mediante análisis por fluorescencia de rayos X en energía dispersiva. En aspectos generales destaca el tratamiento de residuos radiactivos líquidos en el accidente nuclear de Fukushima. En instrumentación científica, destaca el desarrollo de un prototipo económico para monitorear radón en instalaciones industriales y viviendas.

Deseamos agradecer a las instituciones nacionales e internacionales por su apoyo, a los autores por el esfuerzo de plasmar los resultados de sus investigaciones en artículos, que han nutrido la presente edición y serán de mucho provecho para la comunidad científica tecnológica del país, sobre todo porque los países desarrollados han visto que los cambios fundamentales en sus sociedades y economías siguen siendo producidos por los avances tecnológicos derivados de la ciencia, la investigación y el desarrollo teniendo un impacto importante en el origen de nuevas industrias, empleos, ingresos y bienestar. En dicho propósito el IPEN obtuvo el Premio Nacional SINACYT a la Innovación 2012 como Institución Innovadora.

Lima Diciembre del 2012
Carlos Barreda Tamayo
Presidente del IPEN

Índice de Trabajos

	Página
I. FÍSICA Y QUÍMICA	1
1. Caracterización elemental de artefactos metálicos arqueológicos rescatados de los sitios Higueras 1 sector sudoeste y Esquivilca sector B de la costa centro sur de Lima Paula Olivera, Álvaro Acevedo, Luisa Vetter	3
2. Caracterización química de <i>Lemna</i> o Lenteja de Agua del Lago Titicaca mediante análisis por Fluorescencia de Rayos X en Energía Dispersiva Paula Olivera, Guido Quispe	7
II. CIENCIA DE LOS MATERIALES	13
3. Obtención de partículas de quitosano mediante radiación gamma y gelación ionotrópica Kety León, Javier Gago, Alcides López, Julio Santiago	15
4. Caracterización de la aleación ternaria Zn-Ni-Co electrodepositada en medio ácido y su propiedad anticorrosiva Warren Reátegui, José Solís	20
5. Efecto de la temperatura y homogenización del Bromuro de Cetiltrimetilamonio (CTAB) en el proceso de síntesis de Nanoesferas de Au David Asmat, Luis Angelats, Juan Estrada, Rusber Minaya, Alcides López	25
6. Degradación fotocatalítica de anaranjado de metilo con dióxido de titanio obtenido por ultrasonido Vanessa Martínez, José Solís, Alcides López	31

III. INGENIERÍA NUCLEAR	37
7. Efecto de la radiación en el envejecimiento de los materiales de cables coaxiales utilizados en el sistema de instrumentación neutrónica del reactor RP-10	39
Alcides López, Rolando Arrieta, Agustín Urcia	
8. Alineamiento óptico y caracterización del haz neutrónico radial No. 4 del reactor nuclear RP-10	44
Alcides López, Javier Gago	
9. Evaluación de la disponibilidad del reactor RP-10 frente al cambio de las condiciones de suministro eléctrico del Centro Nuclear “RACSO”	50
Rodion Santivañez, Rolando Arrieta	
10. Sistema de escaneado de alambres de cobre irradiados en el reactor RP-10 usando WSCAN	57
Pablo Arias, José Paez, Mariano Vela	
11. Monitoreo de potencia del reactor RP-10 mediante la medición de la actividad del ¹⁶N. Avances de proyecto	62
José Félix, Mariano Vela, Rolando Arrieta	
IV. APLICACIONES EN MINERÍA, INDUSTRIA Y MEDIOAMBIENTE	67
12. Estudio de la interconexión de filtraciones y surgencias de bocaminas aguas abajo de una mina en Huancavelica	69
Jacinto Valencia, Enoc Mamani, José Maguiña, Jorge Condori	
13. Determinación de tiempos de residencia en las unidades de procesamiento de una planta de tratamiento de agua potable	72
Gerardo Maghella, Enoc Mamani, José Maguiña, Jorge Condori	
14. Determinación de filtraciones de una relavera utilizando técnicas isotópicas, La Libertad	76
Jacinto Valencia, Enoc Mamani, Gerardo Maghella, Jorge Condori	
15. El magmatismo de la cordillera oriental, importante metalotecto para la presencia de uranio	79
Jacinto Valencia, Enoc Mamani	
V. APLICACIONES EN MEDICINA Y BIOLOGÍA	85
16. Impacto de la gammagrafía ósea en decisiones clínicas de manejo de tres neoplasias prevalentes	87
Rosanna Morales, Roque Cano, Raquel Mendoza, Edgar Yana	
17. Evaluación del polimorfismo genético mediante PCR-SSCP en dos secuencias del gen <i>TLR2</i> en alpacas (<i>Vicugna pacos</i>) y su relación con enfermedades infecciosas	91
Angel Montes, Rufino Quilla, Máximo Díaz, Jorge Rodríguez, Juan Agapito	
VI. SEGURIDAD NUCLEAR Y PROTECCIÓN RADIOLÓGICA	97
18. Veinte años de protección radiológica en el reactor nuclear RP-10	99
Alejandro Zapata, Fernando Ramos, Rolando Arrieta, Mariano Vela	
19. Repatriation of disused sealed sources from Peru to the United States	105
Mario Mallaupoma, Raymond Greenberg Jr., Cristy Abeyta, Jim Matzke	
20. Análisis del control regulatorio de la radiografía industrial en el Perú	110
Miguel Tiellacuri	

21. Evaluación de dosis radiactiva en neonatos durante su estancia en UCI	115
Rolinson Paniagua, Germán Cáceres, Jerry Medrano	
22. Ventajas logradas con el control de las importaciones de fuentes y equipos de radiación ionizante de uso industrial	120
Miguel Ticllacuri	
23. Aspectos técnicos de seguridad en la disposición de fuentes radiactivas selladas en desuso	125
Mario Mallaupoma	
24. Control operacional en instalaciones relevantes del Centro Nuclear RACSO	130
Mario Mallaupoma, Alejandro Zapata, Jesús Miranda, Andrés Corahua	
VII. INSTRUMENTACIÓN CIENTÍFICA	137
25. Desarrollo de un prototipo económico para monitorear radón en instalaciones industriales y viviendas	139
Oscar Baltuano, Marco Munive, Jorge Martínez, Susana Gonzáles, Yuri Hernández, José Solís	
26. Desarrollo de una extrusora de laboratorio para compuestos poliméricos basado en residuos de fibras naturales y polietileno	147
Javier Gago, Víctor Ramos, Kety León, Alcides López, Yuri Hernández, Luis Huatay, Julio Santiago, José Solís	
VIII. ASPECTOS GENERALES	153
27. The need of a Member State's Commitment to prevent denial of shipments of radioactive material worldwide	155
Mario Mallaupoma, Ulric Schwela	
28. Estimación de riesgo de desastres en el Centro Nuclear Óscar Miró Quesada de la Guerra (RACSO)	161
Rolando Arrieta, Mariano Vela	
29. Tratamiento de residuos radiactivos líquidos en el accidente nuclear de Fukushima	168
Mario Mallaupoma	
30. A model for minimizing denial of shipments in the America Region	173
Natanael Bruno, Mario Mallaupoma	

I. Física y Química

Caracterización elemental de artefactos metálicos arqueológicos rescatados de los sitios Higueras 1 sector sudoeste y Esquivilca sector B de la costa centro sur de Lima

Paula Olivera^{1,*}, Álvaro Acevedo², Luisa Vetter³

¹ Dirección de Investigación y Desarrollo, Instituto Peruano de Energía Nuclear, Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

² Facultad de Ciencias Sociales E.P. de Arqueología, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Av. Venezuela cdra. 34 Lima

³ Pontificia Universidad Católica del Perú, Programa de Estudios Andinos

Resumen

Un grupo de 70 piezas metálicas, procedentes del Proyecto de Rescate Arqueológico Loop Costa, han sido analizadas utilizando métodos no destructivos de análisis por Fluorescencia de rayos X, con el fin de caracterizar la composición química elemental de estos objetos, encontrándose que estas piezas son aleaciones basados en cobre, material que utilizaron para fabricar sus utensilios metálicos aleándolos con otros metales que diferenciaban a cada lugar, en Esquivilca sector B trabajaron con aleaciones cobre-estaño y cobre, mientras en Higueras 1 sector sudoeste trabajaron con cobre-antimonio y cobre-arsénico. Asimismo, algunas piezas presentan un material adherido en el que se ha encontrado azufre y mercurio lo que nos induce a pensar que en Higueras 1 sector sudoeste se utilizaba estos minerales como pigmentos sobre piezas de metal.

Palabras clave: Arqueometría, Metales arqueológicos, Fluorescencia de Rayos X

Elemental characterization of metal artifacts recovered from archaeological sites Higueras 1 sector west and Sector B and Esquivilca south central coast of Lima

Abstract

A group of 70 metal artifacts from the Archaeological Rescue Project Loop Costa have been analyzed using non-destructive methods of analysis by X-ray fluorescence, in order to characterize them and to determine the chemical elemental composition of these objects, finding that these pieces are copper alloys, material used to manufacture their distinct metal utensils in every place. In Esquivilca Sector B copper-tin alloys and copper were used and in Higueras 1 Southwest Sector, copper-antimony and arsenic alloys. Also some parts have an adhered material which contains sulfur and mercury, which leads us to think that in Higueras 1 Sector South West, pigments of these minerals were used on metal parts.

Keywords: Archaeometry, Archaeological metals, X-ray Fluorescence

1. Introducción

El Proyecto de Rescate Arqueológico es un procedimiento de excavación parcial o total de sitios arqueológicos afectados por la ejecución de proyectos de desarrollo y producción, los mismos que han sido involucrados con los Proyectos de Evaluación Arqueológica y Plan de Manejo Arqueológico. Los Rescates Arqueológicos conllevan necesariamente a la liberación del área donde se realizan y deben ser previamente aprobados por el Ministerio de Cultura. En este caso, debido a los trabajos de ampliación del gaseoducto de Camisea entre Pampa Melchorita y Lima, en la zona de Cañete y Chilca, los sitios arqueológicos

Higueras 1 sector sudoeste y Esquivilca sector B, han tenido que ser intervenidos con el fin de rescatar los materiales encontrados en dichos sitios arqueológicos. Un grupo de 70 piezas metálicas procedentes del Proyecto de Rescate Arqueológico Loop Costa han sido analizadas utilizando métodos no destructivos con el fin de caracterizarlos e intentar conocer la composición química elemental de estos objetos, de manera que nos proporcione una idea acerca del tipo de material que utilizaron para fabricar sus objetos de uso personal y de tipo utilitario [1].

* Correspondencia autor: polivera@ipen.gob.pe

La Fluorescencia de Rayos X es una técnica analítica multielemental que en los últimos tiempos ha venido cobrando importancia debido a su gran sensibilidad para detectar y diferenciar la presencia de elementos químicos a muy bajas concentraciones, convirtiéndose en la actualidad en una herramienta muy poderosa para el estudio de materiales mediante métodos no destructivos [2].

2. Procedimiento experimental

2.1 Selección de muestras

En primera instancia se seleccionaron 50 piezas metálicas que habían sido poco afectadas por la corrosión y las inclusiones de sal y arena en gran parte del cuerpo. Entre las piezas más recurrentes para el análisis destacan los tupus, anzuelos, agujas y pinzas. Posteriormente, para corroborar la presencia de algunos elementos como el As, Sn y Sb se seleccionaron 20 piezas adicionales con los mismos criterios de las muestras anteriores.

2.2 Preparación de la muestra

A cada una de las piezas se le sometió a una limpieza profunda en la zona de irradiación (o de análisis) con un hisopo impregnado en una solución de ácido clorhídrico al 10 %, con el fin de retirar las capas de polvo y óxidos formados por el tiempo de permanencia en el entorno rescatado, enjuagado con abundante agua de caño, el enjuague final se hizo con agua bidestilada y secado con alcohol etílico p.a., tal como se muestra en la Figura 1.



Figura 1. Proceso de limpieza de la muestra.

2.3 Irradiación y medición de rayos X

Se irradiaron dos o tres puntos de cada muestra para verificar si su composición era

homogénea, utilizando 2 fuentes radiactivas anulares, como fuente de excitación, Cd-109 y Am-241, ambos de 25 mCi (Figura 2). La adquisición de datos se llevó a cabo con sendos sistemas de espectrometría de alta resolución para rayos X; el primero, constituido principalmente por un detector semiconductor de Si (Li) marca CANBERRA Modelo SL 30165 (Resolución: 165 eV para 5.89 keV) y un Analizador Multicanal PCAII The Nucleus; y el segundo, constituido por un detector de Ge planar marca EURYSIS MESURES Modelo EGX 100-10-R y un Analizador Multicanal EAGLE Plus marca CANBERRA con Genie 2000, respectivamente. Para la identificación de partículas sólidas adheridas sobre algunas de las piezas se utilizó el sistema de FRX Epsilon 5, el mismo que cuenta con tubo de rayos X de Gd con un set de blancos secundarios. Para los análisis se aplicó métodos no destructivos a fin de preservar las piezas estudiadas.



Figura 2. Geometría de irradiación.

2.4 Evaluación de espectros y determinación cuantitativa

La evaluación de los espectros, identificación de los elementos presentes en las muestras y la cuantificación de las mismas se hizo utilizando el Software Quantitative X Ray Analysis System (QXAS), proporcionado por el Organismo Internacional de Energía Atómica. Se aplicó el método de sensibilidad elemental del programa IAEA-AXIL-QXAS para la cuantificación de los elementos [3, 4, 5].

En las Figuras 3, 4, 5 y 6 se presentan los espectros de las muestras más características.

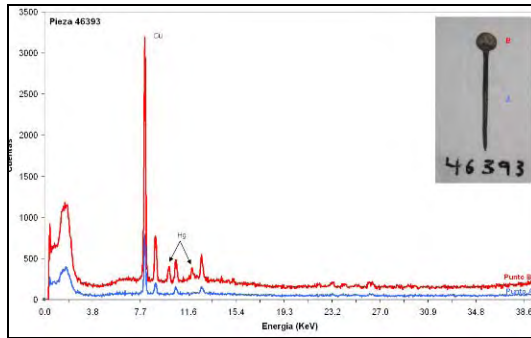


Figura 3. Tupu con rastros de pigmento en la cabeza más no en el vástago.

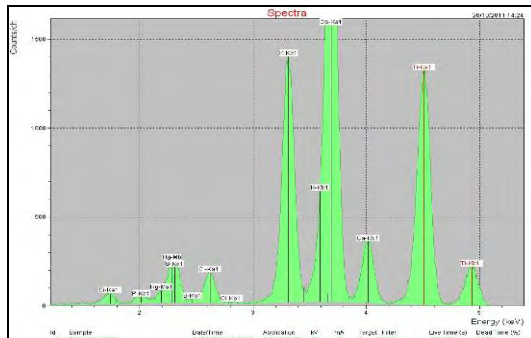


Figura 4. Identificación del material adherido a la cabeza del tupu de la Figura 3.

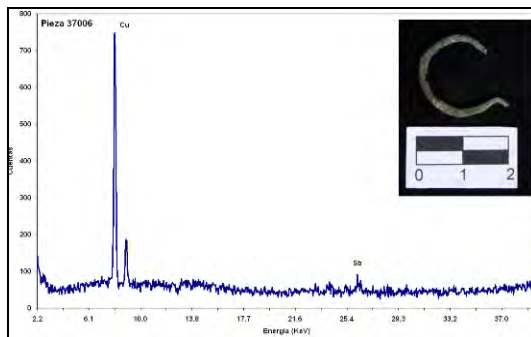


Figura 5. Pieza de cobre con antimonio.

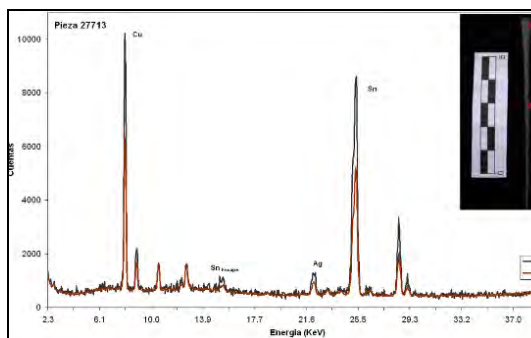


Figura 6. Aguja de cobre-estaño-plata.

3. Discusión de resultados

Revisando detenidamente los resultados obtenidos en las 70 muestras, se puede observar que en las piezas analizadas procedentes del sitio Higueras 1 Sector Suroeste, no existe la presencia de estaño. Asimismo, durante los análisis se identificó piezas confeccionadas solo de cobre, así como aleaciones binarias de cobre-plata y cobre-arsénico, entre las más resaltantes. La Tabla 1 resume los resultados obtenidos.

Tabla 1. Las aleaciones más representativas que se ha encontrado en los objetos analizados [6,7].

Sitio	Aleación	Objeto
Higueras 1 Sector Suroeste	Cobre – Plata	Tupu
		Aguja (rolado)
		Tupus (cabeza semicircular)
		Tupu (cabeza cuadrangular)
		Pinza (forma ovoide)
	Cobre - Plata - Arsénico - Oro	Lamina con borde redondo
	Cobre – Antimonio	Tupu con cabeza de diferentes formas
		Anzuelo
	Cobre – Mercurio – Azufre	Escoria
		Tupus con costra de color anaranjado
Cobre – Mercurio	Anzuelo	
	Tupu con cabeza triangular	
Cobre – Mercurio – Arsénico	Anzuelo	
	Tupu con costra de color anaranjado	
Cobre – Arsénico	Tupu	
	Aguja	
	Pinza	
	Tupu	
	Fragmento de forma cúbica	
Esquivilca B	Cobre – Plata	Tupu con cabeza cónica
		Placa con grapas
	Cobre – Estaño	Tupu con cabeza en forma de clavo
	Cobre - Plata y Estroncio	Disco
Cobre	Aguja	
	Pinza	

La identificación de azufre y mercurio está relacionada a la presencia de partículas

sólidas o escorias adheridas a algunas de las piezas analizadas. Para el caso de Esquivilca Sector B, no se observa la presencia de arsénico, mercurio ni azufre en ninguna pieza, pero sí la presencia de estaño. La diferencia en la composición química elemental en las distintas piezas de cada uno de los sitios evaluados podría estar relacionada con la función del asentamiento y/o al uso de cada objeto. Es evidente que en el sitio Higuera 1 Sector Suroeste utilizaban sus adornos personales decorados de color anaranjado rojizo, no así en Esquivilca Sector B donde no se ha detectado azufre ni mercurio.

En la Figura 4 se puede observar que el material adherido a la cabeza del tupo presenta Si, P, S, Hg, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Zn, Sr y W en su composición, propio de la tierra o material de entorno; la presencia del cloro puede deberse al HCl que se utilizó para la limpieza de la zona a irradiar. La presencia de S y Hg en el material adherido, nos lleva a pensar que se ha utilizado un pigmento a base de sulfuro de mercurio para la decoración del objeto, para confirmar esta presunción es necesario realizar un análisis por Difracción de Rayos X, microanálisis EDX o Microscopia Electrónica de Barrido y Transmisión [8].

4. Conclusiones

Todas las piezas analizadas son aleaciones basadas en cobre, material que utilizaron para fabricar sus objetos y que mezclaron con otros metales que hicieron posible poder ser diferenciados en cada lugar, en Esquivilca Sector B trabajaron con aleaciones cobre-estaño y/o cobre-arsénico; y en Higuera 1 sector sudoeste cobre-antimonio, cobre-arsénico y cobre-plata. Así también, la presencia de azufre y mercurio en algunas de las piezas de Higuera 1 sector sudoeste nos sugiere que se utilizaba estos minerales como pigmentos sobre piezas de metal.

5. Agradecimientos

Nuestro agradecimiento a la Lic. Lucia Balbuena, Gerente General de Trashumantes S.A.C. responsable del Proyecto de Rescate por habernos permitido estudiar las piezas recuperadas, que nos ayudarán a entender la metalurgia de la antigua costa sur del Perú.

6. Bibliografía

- [1]. Vetter L, Portocarrero P. La Arqueometalurgia en el Perú. *Arqueología y Sociedad*. 2004; 15:219-238.
- [2]. Van Grieken R., Markowicz A. *Handbook of X-Ray Spectrometry*. 2nd Edition. New York: Marcel Dekker, Inc. 2002.
- [3]. International Atomic Energy Agency. *Quantitative X ray analysis system User's Manual and Guide to X Ray Fluorescence Technique*. Computer Manual Series No. 21. Vienna: Austria; 2009.
- [4]. Vetter L, Petrick S, Olivera P. Técnicas nucleares en el estudio de piezas de oro de Morro de Étén. En: Instituto Peruano de Energía Nuclear. *Informe Científico Tecnológico 2009*. Lima: IPEN. 2010. p. 60-66.
- [5]. Olivera P, Portocarrero P. Descifrando algunas piezas de metal de la colección Versteylen mediante el uso de técnicas analíticas nucleares. En: Instituto Peruano de Energía Nuclear. *Informe Científico Tecnológico 2009*. Lima: IPEN. 2010. p. 67-71.
- [6]. Heather Lechtman. El bronce y el horizonte medio. *Boletín del Museo de Oro*. 1996 julio-diciembre; 41:3-26.
- [7]. Vetter L, Villacorta, L. La Arqueometalurgia de la costa central del Perú: Una perspectiva desde la colección del Museo de Sitio Arturo Jiménez Borja-Puruchuco. *Baessler Archiv*. 2001; 49:193-210.
- [8]. López A, Olivera P. Caracterización de pigmentos aplicados en material arqueológico de la Cultura Chíncha por Fluorescencia de Rayos X y Microscopia Electrónica de Transmisión. *Revista de la Sociedad Química del Perú*. 2007; 73(1):3-17.

Caracterización química de *Lemna* o Lenteja de Agua del Lago Titicaca mediante análisis por Fluorescencia de Rayos X en Energía Dispersiva

Olivera Paula^{1,*}, Quispe Guido²

¹ Dirección de Investigación y Desarrollo, Instituto Peruano de Energía Nuclear, Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

² Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura E.P. de Ciencias Físico Matemáticas, Universidad Nacional del Altiplano, Av. Sesquicentenario N° 1150 Puno, Perú

Resumen

El objetivo de este trabajo ha sido la caracterización química de la *Lemna* o lenteja de agua existente en las aguas superficiales del Lago Titicaca, las muestras han sido sometidas a un riguroso proceso de limpieza, secado, triturado y molido en un mortero de ágata y comprimido en pastillas de 25 mm de diámetro, en una prensa hidráulica. Las muestras fueron analizadas mediante la técnica de Fluorescencia de Rayos X (FRX) dispersivo en energía utilizando dos sistemas de FRX, uno con Fuentes radiactivas y otro con un tubo de rayos X con Gadolinio y un conjunto de blancos secundarios como fuentes de excitación, para la determinación de los elementos Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Br, Rb, Sr, Sb, Ba, Pb en su composición química.

Palabras clave: Lemna, Fluorescencia de Rayos X, caracterización química

Chemical characterization of *Lemna* or “Lenteja de Agua” from Titicaca Lake by Energy Dispersive X-Ray Fluorescence Technique

Abstract

The objective of this work has been the chemical characterization of the *Lemna* or “lenteja de agua”, existing in the superficial water of the Lake Titicaca, the samples have been submitted to a rigorous process of cleaning, drying, crushing and shattering in a mortar of agate and pelletized to a 25 mm diameter into a hydraulic press. The samples were analyzed by Energy Dispersive X-Ray Fluorescence (XRF) technique, utilizing two XRF systems, one with radioactive Sources and another with an X-rays tube with Gadolinium and an assembly of secondary targets as excitation sources. The elements Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Br, Rb, Sr, Sb, Ba, Pb were determined in its chemical composition.

Keywords: Lemna, X Ray Fluorescence, Chemical characterization

1. Introducción

La *Lemna* comúnmente llamado “Lenteja de agua” crece y flota sobre la superficie de lagos, pantanos y cursos de aguas muy lentas, tiene una gran capacidad de absorción de Fósforo y Nitrógeno; su proliferación viene siendo un gran problema de contaminación para la bahía del Lago Titicaca de Puno, por cuanto impide el ingreso de la luz solar a las profundidades de sus aguas reduciendo el crecimiento de las especies fotosintetizadoras [1,2].

En la actualidad hay pocos estudios realizados sobre este material, por lo tanto hay poca información sobre su composición química; por esa razón, empleamos la Fluorescencia de Rayos X que es una técnica

analítica multielemental muy poderosa, que en los últimos tiempos ha venido cobrando importancia debido a su gran sensibilidad para detectar y diferenciar la presencia de elementos químicos a muy bajas concentraciones en muestras de matriz orgánica [3].

El objetivo de este trabajo ha sido la caracterización química de la *Lemna* o lenteja de agua presente en las aguas superficiales del Lago Titicaca, que permita sugerir algún tipo de aplicación o uso de este vegetal en beneficio de la comunidad y paralelamente limpiar las superficies de agua afectadas.

Se utiliza la técnica de Fluorescencia de

* Correspondencia autor: polivera@ipen.gob.pe

Rayos X dispersivo en energía en dos modalidades de trabajo, para luego evaluar los factores que intervienen en la obtención de un buen resultado analítico al analizar una muestra vegetal mediante esta técnica; la fuente de excitación, la geometría de irradiación, el sistema de espectrometría de rayos X utilizado para la detección y conteo, el ambiente de irradiación/medición y el uso de un material de referencia adecuado que juegan un papel fundamental en la obtención de resultados confiables.

2. Metodología Experimental

2.1 Muestreo

Se ha tomado muestras de *Lemna* de las orillas del Lago Titicaca, en la ciudad de Puno, tal como se señala en la fotografía satelital de la Figura 1 y cuya descripción de los lugares están detallados en la Tabla 1.



Figura 1. Foto satelital de la bahía de Puno mostrando los puntos de muestreo.

2.2 Preparación de las muestras

Cada una de las muestras fue lavada minuciosamente con agua destilada para retirar las partículas del agua del Lago, luego fueron secadas individualmente a 60°C por 24 horas, trituradas y molidas en un mortero de ágata, comprimidas en forma de pastillas a una presión de 10 ton por 5 minutos en una prensa hidráulica. Las pastillas fueron preparadas de 25 mm de diámetro y con una densidad másica de 0,204 g/cm².

Tabla 1. Lugares de muestreo.

<i>Punto de muestreo</i>	<i>Descripción del Lugar</i>
3	Orillas del malecón, bahía exterior de Puno (a unos 500 metros de la Universidad Nacional del Altiplano).
4	Orillas del desfogue de la calle Lampa, bahía interior de Puno.
5	Bahía interior de Puno, bajando calle Candelaria a unos metros de la costanera.
7	Bahía interior de Puno, bajando la Av. Titicaca.
8	Puerto bahía exterior de Puno, muelle Banquero.
10	Bahía interior de Puno, cerca al Puerto principal bahía exterior de Puno, muelle lacustre.



Figura 2. Material de referencia, preparadas en la misma forma que las muestras para determinar el error relativo de los resultados obtenidos.

2.3 Irradiación y medición

La irradiación, medición y toma de datos han sido realizados en dos sistemas de Fluorescencia de rayos X dispersivo en energía, uno con tubo de rayos X con ánodo de Gadolinio y un set de blancos secundarios como fuentes de excitación, dispuestos tal como se muestra en la Figura 3 y el otro con fuentes radiactivas de Cd-109 (5 mCi) y Am-241 (25 mCi) [2] como fuentes de excitación, mostrado en la Figura 4. La adquisición de datos se llevó a cabo con sistemas de espectrometría de alta resolución para rayos X; el primero constituido principalmente por un detector semiconductor de Si(Li) marca CANBERRA Modelo SL 30165 (Resolución: 165 eV para 5.89 keV) y un Analizador Multicanal PCAII The Nucleus, y el segundo por un sistema de FRX modelo Epsilon 5 constituido por un tubo de rayos X con Gd como blanco y un set de blancos secundarios (Al, Ti, Fe, Ge, Zr, Mo, Ag, Al₂O₃) como fuente de excitación y un sistema de espectrometría de alta resolución para rayos X, constituido por un detector semiconductor, de ULEGe marca

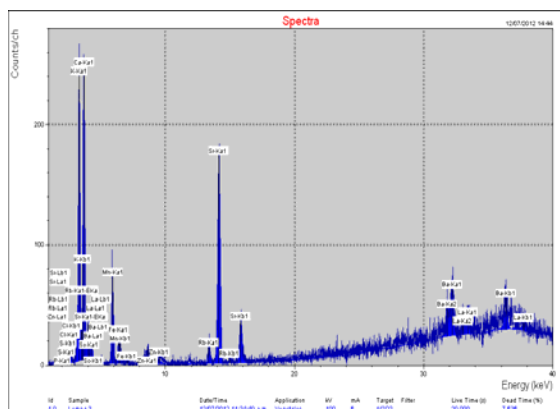


Figura 6. Espectros de FRXDE de una de las muestras analizadas en el sistema de FRX EPSILON 5.

3. Resultados y Discusión

Los resultados obtenidos de la caracterización de la *Lemna* con ambos sistemas, son presentados en la Tabla 2 y graficados en la Figura 7; de allí se puede observar que:

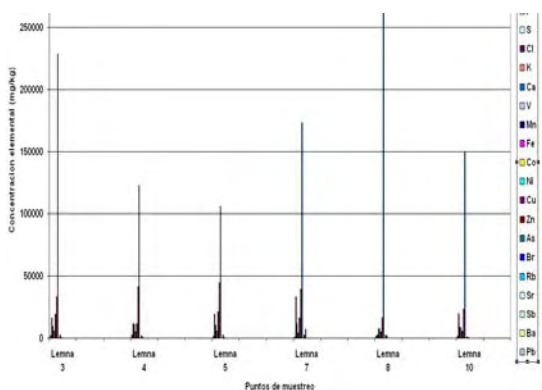


Figura 7. Composición elemental en cada punto de muestreo.

- Los puntos de muestreo 3 y 8 presentan mayor concentración de Ca y Sr.
- La concentración más baja de Cl y K se obtiene en el punto 8 de muestreo seguido por el punto 10. En los demás puntos de muestreo se hallaron concentraciones parejas.

Por otro lado, los factores determinantes que se deben tener en cuenta para la obtención de un buen resultado analítico, al analizar una muestra vegetal mediante la técnica de análisis por Fluorescencia de Rayos X dispersivo en energía, son: la fuente de excitación, la geometría de irradiación, el sistema de espectrometría de rayos X utilizado para la detección [3, 5, 6], el ambiente de irradiación/medición y el uso de un material de referencia adecuado juegan un papel fundamental en este objetivo [7]. Esto

se puede corroborar observando los resultados obtenidos con ambos sistemas de FRXED con diferentes materiales de referencia, debidamente certificados tal como se muestran en las Tablas 3 y 4. Los límites de detección son ampliamente favorecidos en un sistema con vacío como es el caso del EPSILON 5, así como el número de elementos posibles de determinar.

4. Conclusiones

Mediante la técnica de análisis por Fluorescencia de Rayos X se ha podido determinar los elementos Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Br, Rb, Sr, Sb, Ba, Pb en la composición química de la *Lemna* secada a 60 °C; sin embargo, para hacer un estudio más detallado es necesario incrementar puntos de muestreo, así como incluir análisis del agua y sedimentos del entorno.

Los factores determinantes para la obtención de un buen resultado analítico al trabajar con muestras vegetales, mediante la técnica de análisis por Fluorescencia de Rayos X dispersivo en energía, son la fuente de excitación, la geometría de irradiación, el sistema de espectrometría de rayos X utilizado para la detección, el ambiente de irradiación/medición y el uso de un material de referencia.

5. Agradecimientos

A los ingenieros Teófilo Donaires Flores y Germán Quille Calizaya de la Facultad de Ing. Química de la Universidad Nacional del Altiplano-Puno, por su valioso apoyo en el proceso de toma de muestras.

6. Bibliografía

- [1]. Autoridad Binacional Autónoma de Lago Titicaca-ALT. Resultados de la Implementación de la Cosecha Mecánica de *Lemna* y Aireación de las Aguas de la Bahía de Puno. [Informe Técnico]. Puno; 2011.
- [2]. Canales-Gutiérrez A. Evaluación de la biomasa y manejo de *Lemna gibba* (Lenteja de Agua) en la Bahía Interior del Lago Titicaca, Puno. *Ecología Aplicada*. 2010; 9(2):91-99
- [3]. Van Grieken R, Markowicz A. *Handbook of X-Ray Spectrometry*. 2nd Edition; 2002.

[4]. Quispe Lima G. Análisis Espectral de *Lemna spp* "Lenteja de agua" por el Método de Fluorescencia de Rayos X. [Tesis para optar el título profesional de Lic. en Ciencias Físico Matemáticas]. Puno, Perú: Universidad Nacional del Altiplano; 2011.

[5]. Beckhoff B, Kanngießer B, Langhoff N, Wedell R, Wolff H. Practice of X-Ray Fluorescence Analysis. 1st Edition: Springer, Germany, 1st edition; 2006.

[6]. Tertian F, Claisse R. Principles of Quantitative X-Ray Fluorescence Analysis.

1st Edition British Library Cataloguing. New York: Heyden & Son; 1982.

[7]. Montalvo Balarezo O, Olivera de Lescano O, Rivera Castilla D. Análisis multielemental de restos óseos por fluorescencia de rayos X para la reconstrucción de dietas del período temprano en la cultura Lima. Boletín de la Sociedad Química del Perú. 1998; 64(2):133-144.

Tabla 2. Resultados de la caracterización de la *Lemna* analizada por ambos sistemas.

Elemento	Concentración (mg/kg)											
	Lemna 3		Lemna 4		Lemna 5		Lemna 7		Lemna 8		Lemna 10	
Al	1982	± 925	2426	± 1162	1712	± 752	1235	± 1003	1495	± 299	1505	± 227
Si	16362	± 5537	11449	± 3788	19027	± 13489	33391	± 6828	2290	± 125	19735	± 3247
P	9806	± 983	11288	± 1032	10431	± 67	11699	± 1015	7589	± 175	8908	± 723
S	5318	± 226	5070	± 93	5461	± 67	4130	± 164	7539	± 45	8151	± 381
Cl	19285	± 1126	11430	± 137	21171	± 516	16139	± 23	4813	± 39	5394	± 177
K	33251	± 769	41452	± 392	44639.5	± 719.8	39408.5	± 521	15937.4	± 142.3	23289	± 380
Ca	228519	± 2384	122674	± 2805	105667	± 1965	172823	± 5533	285525	± 4907	149937	± 3743
V					24	± 4					10	± 3
Mn	2394	233	1804	41	2493	10	2394	115	2416	4	980	16
Fe	451	± 17	729	± 50	391	± 9	7251	± 207	1275	± 21	431	± 3
Co	1.3	± 0.3	2.9	± 0.2	2.2	± 0.2	3.0	± 0.1			2.2	± 0.3
Ni	0.5	± 0.03	2.8	± 0.03	2.4	± 0.6	1.8	± 1.9	1.0	± 0.7	3.2	± 1.2
Cu	1.4	± 0.1	2.2	± 0.1	2.7	± 0.2	2.9	± 0.1	1.3	± 0.04	2.7	± 0.5
Zn	71	± 0	91	± 2	75	± 1	126	± 4	69	± 2	105	± 2
As	1.6	± 0.1	1.4	± 0.2	1.4	± 0.1	1.1	± 0.1	1.5	± 0.0	1.5	± 0.2
Br	12	± 0.2	13	± 0.04	13	± 0.01	13	± 0.1	12	± 0.1	10	± 0.2
Rb	35	± 2	20	± 0.05	21	± 0.7	18	± 0.8	18	± 0.3	13	± 1
Sr	121	± 5	66	± 5	68	± 5	79	± 5	135	± 6	78	± 5
Sb	0.056	± 0.055	0.063	± 0.036	0.074	± 0	0.064	± 0.006	0.987	± 0.074	0.074	± 0.006
Ba	91	± 51.39	66	± 3.061	74	± 12.65	88	± 10.81	71	± 34.05	41	± 10.3
Pb							1.2	± 0.2				

Tabla 3. Resultados obtenidos del análisis de material de referencia en un sistema de FRXDE con Fuentes radiactivas y en ambiente atmosférico.

<i>Elemento</i>	<i>Valor Determinado</i>			<i>Valor Certificado.</i>	<i>Error %</i>	<i>Material de Referencia</i>	<i>Limite de detección</i>
K (%)	4.5	±	0.1	3.8	18.2	Grass PTXRFIAEA06	528
Ca (%)	6722	±	357	5411	24	Grass PTXRFIAEA06	106
Mn (ppm)	51	±	4	63	-19	Liquen-IAEA 336	12
Fe (ppm)	455	±	12	497	-8	Alga IAEA 392	6
Ni (ppm)	10	±	1	7	49	Grass PTXRFIAEA06	0.2
Cu (ppm)	29	±	1	23	25	Alga IAEA 392	1
Zn (ppm)	97	±	3	128.0	-24.2	Alga IAEA 392	2
As (ppm)	LLD			0.63		Liquen-IAEA 336	2
Br (ppm)	11	±	0.4	12.4	-8.6	Grass PTXRFIAEA06	1
Rb (ppm)	7	±	0.3	6.3	13.6	Grass PTXRFIAEA06	0.5
Sr (ppm)	8	±	0.3	9.3	-14.5	Liquen-IAEA 336	1
Mo (ppm)	8	±	0.3	6	42	Grass PTXRFIAEA06	0.1
Ba (ppm)	43	±	3	19.1	126	Grass PTXRFIAEA06	1.3
Pb (ppm)	7.9	±	0.5	6.5	21.5	Grass PTXRFIAEA06	1

Tabla 4. Resultados obtenidos del análisis de material de referencia en un sistema de FRXDE con tubo de Gd y blancos secundarios y en ambiente de vacío.

<i>Elemento</i>	<i>Valor Determinado</i>			<i>Valor Certificado</i>	<i>Error %</i>	<i>Material de Referencia</i>	<i>Limite de Detección</i>
Al	650	±	67	680	-4.4	Liquen-IAEA 336	350
Si	10000	±	1234	10700	-6.5	Grass PTXRFIAEA06	212
P	547	±	104	610	-10.4	Liquen-IAEA 336	112
S	3963	±	0	3623	9.4	Grass PTXRFIAEA06	292
Cl	6393	±	421	6240	2.4	Grass PTXRFIAEA06	290
K	38255	±	508	37769	1.3	Grass PTXRFIAEA06	126
Ca	5335	±	221	5411	-1.4	Grass PTXRFIAEA06	113
V	1.5	±	0.7	1.5	-0.7	Liquen-IAEA 336	0.7
Mn	51	±	4	63	-19	Liquen-IAEA 336	1.4
Fe	513	±	13	497	3.3	Alga IAEA 392	1.6
Co	3.2	±	0.04	3.3	-2.7	Alga IAEA 392	0.8
Ni	6.5	±	0.1	6.7	-3.0	Grass PTXRFIAEA06	1.4
Cu	3.9	±	0.7	3.6	7.4	Liquen-IAEA 336	0.8
Zn	125	±	0.2	128	-2.6	Alga IAEA 392	1.2
As	0.64	±	0.03	0.63	1.9	Liquen-IAEA 336	0.3
Br	12.9	±	0.3	12.9	0.2	Liquen-IAEA 336	0.7
Rb	5.6	±	0.4	6.3	-9.9	Grass PTXRFIAEA06	0.6
Sr	7.8	±	0.3	7.9	-1.7	Grass PTXRFIAEA06	0.4
Sb	0.068	±	0	0.073	-6.85	Liquen-IAEA 336	0.04
Ba	19.5	±	0.04	19.1	2	Grass PTXRFIAEA06	3.3
Pb	6.083	±	0.786	6.5	-6.4	Grass PTXRFIAEA06	0.8

II. Ciencia de los Materiales

Obtención de partículas de quitosano mediante radiación gamma y gelación ionotrópica

Kety León^{1,*}, Javier Gago¹, Alcides López¹, Julio Santiago²

¹Dirección de Investigación y Desarrollo, Instituto Peruano de Energía Nuclear, Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

²Facultad de Química e Ingeniería Química. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Av. Venezuela s/n

Resumen

Se prepararon partículas de quitosano de tamaño micrométrico y nanométrico por gelación ionotrópica, utilizando radiación gamma y obteniéndose partículas de forma y tamaño uniforme. Se aplicó radiación gamma a muestras de quitosano hasta 15 kGy, en 5 dosis y a las que se les añadió un polianión, fueron caracterizadas por Microscopía de Fuerza Atómica (AFM) y Microscopía Electrónica de Transmisión (TEM), observándose la presencia de micropartículas y nanopartículas a partir de la segunda hasta la cuarta dosis de irradiación, a partir de la quinta ya se observa la formación de una especie de malla. La concentración de 0,2 % de quitosano y 0,84 g/mL del polianión son importantes en la formación de las partículas así como en su distribución. Las nanopartículas obtenidas presentaron actividad antimicrobiana frente a la cepa de *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853, *E. coli* ATCC 25922 y *Bacillus subtilis*, no se observó actividad antimicrobiana para la cepa de *Staphylococcus aureus* ATCC 25923. Esta investigación es parte de un proyecto mayor que acoplará el principio activo de la planta nativa llamada *Croton lechleri* y será usado en la formulación de una pomada con características cicatrizantes para el tratamiento de heridas y quemaduras.

Palabras claves: Irradiación gamma, Gelación iónica, Quitosano, Partículas

Abstract

Preparations were made to obtain particles of micrometric and nanometric size by ionotropic gelation of chitosan, using gamma radiation to obtain particles of uniform size and shape. Samples of chitosan which were irradiated to 15 kGy, in five applied doses and which a polyanion was added to, were characterized by Atomic Force Microscopy (AFM) and Transmission Electron Microscopy (TEM), showing the presence of microparticles and nanoparticles from the second to the fourth dose of irradiation, while the net formation is observed from the fifth dose. The concentration of 0,2 % chitosan and 0,84 g/mL of the polyanion are important in the formation of the particles and their distribution. The obtained nanoparticles have antimicrobial activity against *Pseudomonas aeruginosa* strain ATCC 27853, *E. coli* ATCC 25922 and *Bacillus subtilis*, while no antimicrobial activity was observed for *Staphylococcus aureus* strain ATCC 25923. This research is part of a major project to apply the active ingredient of a native plant called *Croton lechleri* and will be used in the formulation of an ointment for the treatment of wound and burn healing.

Keywords: Gamma irradiation, Ionic gelation, Chitosan, Particles

1. Introducción

En los últimos años se ha experimentado un avance notable en las investigaciones sobre nanotecnología y nanociencia aplicadas a las ciencias médicas.

Existe mucho optimismo en que la nanotecnología aplicada a las ciencias médicas proporcionará nuevas herramientas para el diagnóstico y tratamiento de enfermedades.

La esperanza es que las partículas, materiales y dispositivos nanométricos puedan ser diseñados para interactuar con los materiales biológicos de una manera más directa, eficiente e incluso precisa, debido a su pequeño tamaño, serán capaces de acceder a áreas del cuerpo, tales como el cerebro y células individuales, a las cuales han sido difícil acceder con las tecnologías actuales.

* Correspondencia autor: indel@ipen.gob.pe

Una de las características importantes de los materiales a escala nanométrica, que la hacen atractiva para uso médico, es su relación superficie a masa que es mayor al de otras partículas de mayor tamaño, su propiedad cuántica, así como su capacidad de adsorber y transportar otras sustancias.

Existen polímeros naturales y sintéticos usados en la preparación de nanogeles; uno de ellos es el quitosano, un aminopolisacárido obtenido por la N-acetilación termoalcalina de la quitina aislada de los desechos de los crustáceos [1]. La quitina forma parte de la estructura de soporte de numerosos organismos vivos, tales como artrópodos (crustáceos e insectos), moluscos y hongos [2].

Desde el punto de vista fisicoquímico el quitosano es un biopolímero hidrosoluble que puede formar películas, hidrogeles, estructuras porosas, fibras, micro y nanopartículas en condiciones y medio ácido suaves. Además, el carácter policationico le confiere al quitosano alta afinidad para asociar macromoléculas terapéuticas, por ejemplo, insulina, pADN, siARN, heparina, etc. y antigénicas, a las cuales protege de la degradación enzimática e hidrolítica [1-6].

En 1989 Bodmeir *et al.* describieron la producción de perlas de quitosano por gelación ionotrópica usando TPP, probando distintas viscosidades de quitosano y TPP, donde dispersaron moléculas de sulfadiazina que luego evaluaron en un medio intestinal simulado [3].

En 1997 se describió la preparación de nanopartículas de quitosano por gelificación ionotrópica con tripolifosfato sódico (TPP), obteniendo nanopartículas biodegradables y biocompatibles preparadas por un proceso más suave, sin altas temperaturas ni solventes orgánicos. El mecanismo propuesto para la formación de nanopartículas de quitosano-TPP plantea que la gelificación ionotrópica del quitosano ocurre por interacciones electrostáticas entre productos de la disociación del TPP en solución acuosa con los grupos amino del quitosano [4].

Durante la década pasada, el quitosano ha sido usado en el desarrollo de sistemas innovadores para la liberación de fármacos,

en ingeniería de tejidos y en la manufactura de parches cicatrizantes.

Algunas de sus propiedades funcionales como su biodegradabilidad, biocompatibilidad, mucoadhesión, capacidad filmogénica, hemostático, promotor de absorción, actividad antimicrobiana, anticolesterolémica y antioxidante, la hacen atractiva para una variedad de usos [1-8].

La ventaja de usar la radiación ionizante en un sistema acuoso es la creación de especies fuertemente oxidantes y reductoras. Se ha demostrado que esta técnica es eficiente en la preparación de nanogeles poliméricos de tamaños, formas y composición química determinados y que pueden ser usados para diferentes aplicaciones médicas.

El objetivo del trabajo fue obtener nanopartículas de quitosano usando la radiación gamma y la gelación ionotrópica para su aplicación médica.

2. Experimental

2.1 Materiales

Se utilizó quitosano de alta viscosidad (fluka) con 78 % de deacetilación, tripolifosfato de sodio TPP (Sigma Chemical Co. USA) de grado analítico, ácido acético glacial, Agar Casoy, Caldo Casoy y Agar Muller Hinton de Merck.

2.2 Preparación de las muestras

Se prepararon soluciones acéticas de quitosano (0,012 a 0,2 % wt/v) las que se colocaron en viales de vidrio e irradiaron a dosis de hasta 15 kGy en un equipo Gammacell 220, con una tasa de dosis de 5 kGy/h. Para la obtención de los coloides se preparó una solución de anión en una concentración de 0,84 mg/mL. Luego de la irradiación, cada solución fue compensada con el anión correspondiente.

2.3 Caracterización de los coloides

La caracterización de los coloides se realizó mediante Microscopía de Fuerza Atómica (AFM) usando el microscopio Nanosurf Easy Scan 2 AFM System.

La caracterización estructural y morfológica de las partículas de quitosano fueron estudiadas empleando microscopía electrónica de transmisión para lo cual se

utilizó el microscopio de transmisión Phillips EM 400 operando a 80 kV. Para la medición de la viscosidad se utilizó un reómetro marca Brookfield y la medición del pH se realizó en un pHmetro marca Cole-Parmer. Las lecturas de absorbancia de los coloides se realizó en un espectrofotómetro UV-Vis BioChrom Libra S22.

2.4 Pruebas de actividad antimicrobiana

Se realizó por el método de difusión en agar de Bauer-Kirby, siguiendo las recomendaciones del Comité Nacional de Control de Normas de Laboratorio Clínico (NCCLS) [12].

El inóculo (preparado a una turbidez equivalente a 0,5 de la escala de Mac Farland) fue aplicado en la placa y agar Muller Hinton. Se dejó secar de 3 a 5 minutos, luego se perforaron hoyos de aproximadamente 0,8 mm de diámetro en los que se sembraron las muestras. Se incubaron a 37 °C por 18-24 horas.

3. Resultados y Discusión

Las soluciones después de la irradiación se muestran limpias a todas las dosis aplicadas. Luego de añadir el TPP se forman las partículas, lo que se evidencia en la dispersión óptica de un rayo láser. La Figura 1 muestra los resultados obtenidos por espectrofotometría, observándose baja absorbancia para longitudes de onda menores a 240 nm, para mayores longitudes, la absorbancia aumenta debido a que el incremento de TPP reacciona precipitando partículas en la solución.

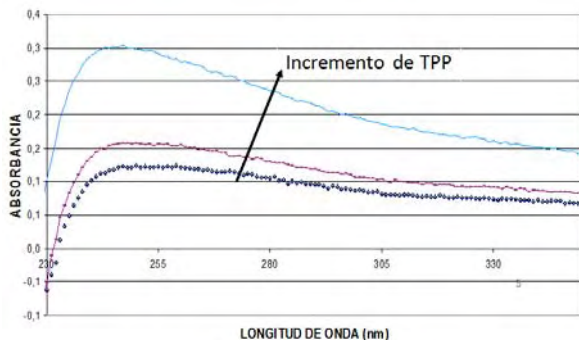


Figura 1. Variación de la absorbancia debido a la suspensión de partículas originadas por el incremento de TPP.

Los grupos amino libres del quitosano producto de la radiación gamma interactúan electrostáticamente con el TPP lo que hace que se formen las partículas que se manifiestan en la dispersión del láser.

Tabla 1. Efecto de la dosis de radiación en el pH y viscosidad del polímero.

Dosis (kGy)	pH	Viscosidad (cP)
0	3.46	38
1	3.48	1.5
3	3.49	1.15
5	3.50	1

En la Tabla 1 se observa que el pH de las soluciones se mantiene en todas las dosis aplicadas con ligera variación y que la viscosidad disminuye al incrementarse la dosis, debido al rompimiento de enlaces.

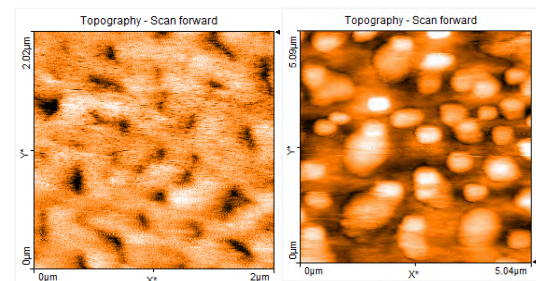


Figura 2. Quitosano no irradiado sin el anión y el anión.

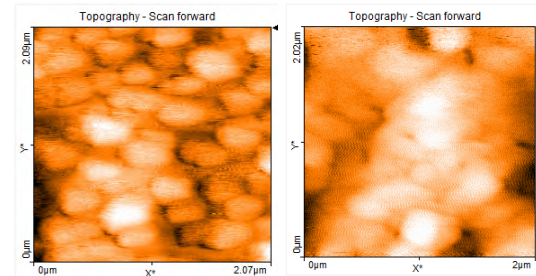


Figura 3. Quitosano irradiado a 3 y 5 kGy dosis con el anión.

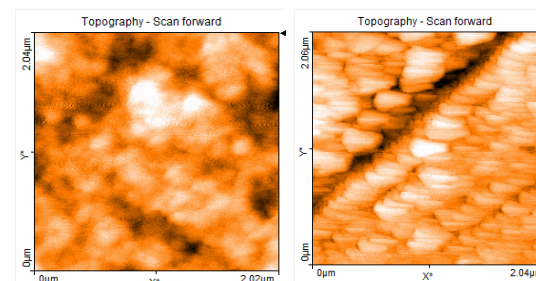


Figura 4. Quitosano irradiado a 8 y 15 kGy dosis con el anión.

En las Figuras 3 y 4 las imágenes AFM nos muestran formación de partículas semiesféricas y que a medida que aumenta la

dosis de radiación las partículas tienden a formar una especie de malla.

Se observa que las muestras no irradiadas presentan partículas de diferentes tamaños al añadir el anión y a medida que pasa el tiempo tienden a sedimentar, mientras que en el caso de las muestras irradiadas se mantiene la suspensión.

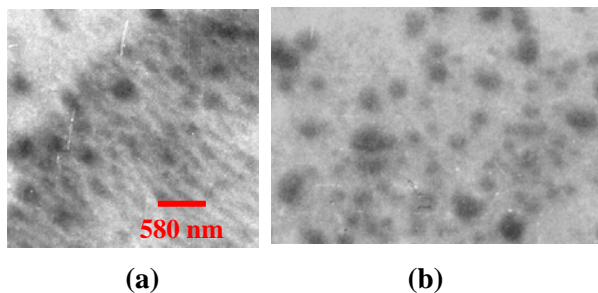


Figura 5. Microfotografías electrónicas de transmisión de geles de quitosano irradiados a dosis de: (a) 3 kGy y (b) 5 kGy.

Por microscopía electrónica de transmisión, en la figura 5 se observa la formación de nanogeles a 3 y 5 kGy de dosis de radiación analizada, con un tamaño promedio de 150 nm.

En la Figura 6 se muestra la actividad antimicrobiana de los nanogeles de quitosano frente a la cepa de *P. aeruginosa*, lo que se evidencia en la formación de los halos de inhibición de crecimiento microbiano. Estos halos se mantienen en el tiempo. También se ha observado actividad antimicrobiana frente a *E. coli*, ambas cepas gram negativas. No se ha observado actividad antimicrobiana frente a la cepa de *S. aureus*, un gram positivo. Se ha observado cierta actividad antimicrobiana frente a la cepa de *B. subtilis*.

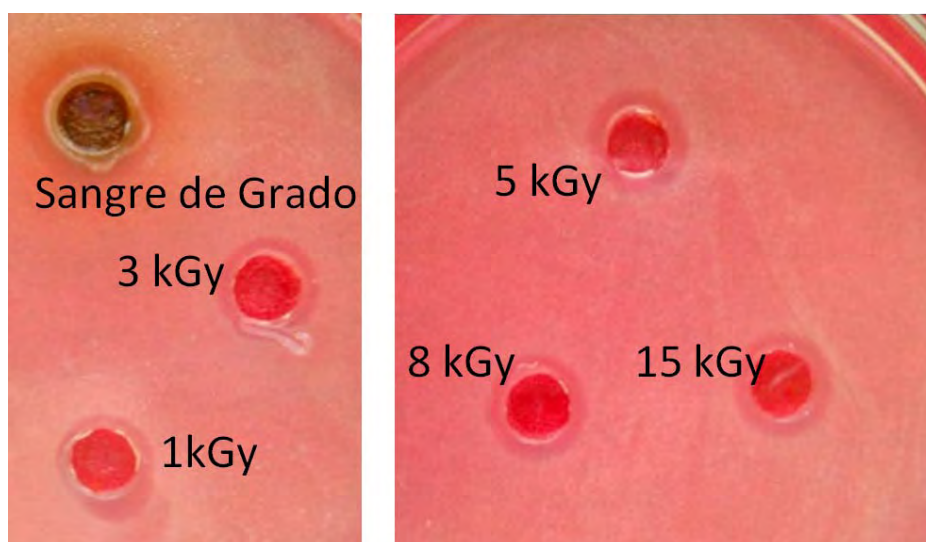


Figura 6. Actividad antimicrobiana de nanogeles de quitosano tratados con radiación gamma frente a *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853.

4. Conclusiones

- Se ha logrado obtener nanogeles de quitosano en un proceso combinado de radiación gamma y gelación ionotrópica.
- Dependiendo de la dosis aplicada y por efecto de la radiación gamma se pueden obtener nanogeles de diferente tamaño.
- La forma obtenida de los nanogeles a las dosis estudiadas es únicamente semiesférica.

- La concentración 0.2 % de quitosano y 0.84g/mL de TPP posibilitan la formación de nanogeles de quitosano.

5. Agradecimiento

Al Licenciado Johnny Vargas del Laboratorio de Aplicaciones-SERA por la irradiación de las muestras.

6. Bibliografía

- [1]. Goycoolea FM, Remuñan C, Alonso MJ. Nanopartículas a base de polisacáridos: quitosano. En: Vila Jato JL. editores. Nanotecnología Farmacéutica: Realidades y posibilidades farmacoterapéuticas. Real Academia Nacional de Farmacia. Madrid, España; 2009. p. 103-131.
- [2]. Paños Ines, Acosta Niuris, Heras Angeles. New drug delivery systems based on chitosan. *Current Drug Discovery Technologies*. 2008; 5:333-341.
- [3]. Bodmeier R, Oh K, Pramar Y. Preparation and evaluation of drug containing chitosan beads. *Drug Development and Industrial Pharmacy*. 1989; 15(9):1475-1494.
- [4]. Calvo P, Remuñán-López C, Vila-Jato JL, Alonso MJ. Novel hydrophilic chitosan-polyethylene oxide nanoparticles as protein carriers. *J. Appl. Polym. Sci*. 1997; 63:125-132.
- [5]. Rodríguez N, Valderrama A, Alarcón H, López A. Preparación de partículas de quitosano reticuladas con tripolifosfato y modificadas con polietilenglicol. *Rev. Soc. Quím Perú*. 2010; 76(4):336-354
- [6]. Expósito Ruth. Quitosano, un biopolímero con aplicaciones en sistemas de liberación controlada de fármacos. [Tesis Doctoral]. España, Madrid: Universidad Complutense de Madrid; 2009.
- [7]. Dutta PK, Tripathi Shipra, Mehrotra GK, Dutta Joydeep. Perspectives for chitosan based antimicrobial films in food applications. *Food Chemistry*. 2009; 114(4): 1173-1182.
- [8]. Dhawan S, Kumar A, Vivek Ranjan. Evaluation of mucoadhesive properties of chitosan microspheres prepared by different methods. *AAPS PharmSciTech*. 2004; 5(4): 122-128.
- [9]. Dubey R, Parikh R. Two-stage optimization process for formulation of chitosan microspheres. *AAPS PharmSciTech* 2004; 5(1):20-28.
- [10]. Wim H De Jong, Paul JA Borm. Drug delivery and nanoparticles: Applications and hazards. *Int. J. Nanomedicine*. 2008; 3(2): 133-149.
- [11]. Risco Esther, Iglesias José, Cañiqueral Salvador. Interés Terapéutico del látex de *Croton lechleri*. 12 Forum de Natura Rerum. París, Octubre 2001.
- [12]. Coyle Marie B, editor. Manual de pruebas de susceptibilidad antimicrobiana. Organización Panamericana de la Salud. Washington D.C.; 2005.

Caracterización de la aleación ternaria Zn-Ni-Co electrodepositada en medio ácido y su propiedad anticorrosiva

Warren Reátegui¹, José Solís^{2, 3,*}

¹ Facultad de Ingeniería Química y Textil, Universidad Nacional de Ingeniería, Av. Túpac Amaru 210, Lima 25, Perú

² Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Ingeniería, Av. Túpac Amaru 210, Lima 25, Perú

³ Dirección de Investigación y Desarrollo, Instituto Peruano de Energía Nuclear, Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

Resumen

Se presenta el proceso de electrodeposición del recubrimiento de la aleación ternaria Zn-Ni-Co usando una solución que contiene cloruro de zinc ($ZnCl_2$), cloruro de cobalto ($CoCl_2 \cdot 6H_2O$), y cloruro de níquel ($NiCl_2 \cdot 6H_2O$). La fase cristalina, morfología superficial y dureza de las aleaciones obtenidas fueron caracterizadas por difracción de rayos X (DRX), Microscopía de Fuerza Atómica (MFA) y microdurómetro, respectivamente. La composición química del recubrimiento fue medida mediante espectroscopía de absorción atómica. La velocidad de corrosión fue medida con un potencióstato mediante la técnica de resistencia de polarización lineal. Se encontró que las aleaciones ternarias obtenidas tienen una mejor resistencia a la corrosión y mayor dureza que el recubrimiento de Zn. Bajo las condiciones examinadas, la electrodeposición del recubrimiento ternario es del tipo anómalo. La fase cristalina de la aleación obtenida sobre acero común y cobre es la fase $Zn_{11}Ni_2$.

Characterization of the electrodeposited ternary alloy Zn-Ni-Co in acid media and its anticorrosive property

Abstract

The electrodeposition coating process of the ternary alloy Ni-Co-Zn using a solution containing zinc chloride ($ZnCl_2$), cobalt chloride ($CoCl_2 \cdot 6H_2O$) and nickel chloride ($NiCl_2 \cdot 6H_2O$) is presented. The crystalline phase, the superficial morphology and micro-hardness of the obtained alloys were characterized by X ray diffraction (XRD), Atomic Force Microscopy (AFM) and micro-indentation testing, respectively. The chemical composition of the coating was measured by atomic absorption spectroscopy. The corrosion rate was measured using a potentiostat by the technique resistance of the lineal polarization. It was found that the obtained ternary alloys have better corrosion resistance and higher micro-hardness than the Zn coating. Under the study conditions, the electro-deposition of the ternary alloy coating is of anomalous type. The crystalline phase of the obtained alloy on to steel and cooper corresponds to the $Zn_{11}Ni_2$ phase.

1. Introducción

El proceso industrial electrolítico utilizado en el Perú para recubrir con zinc objetos ferrosos, para protegerlos de la corrosión, no es amigable con el medio ambiente, porque en ese proceso se utiliza cianuro de sodio ($NaCN$), anhídrido crómico (CrO_3) y sulfato de cromo $Cr_2(SO_4)_3$ que generan múltiples problemas de orden ambiental [1-7]. Entonces, encontrar nuevos procesos para producir recubrimientos anticorrosivos más efectivos y que sean amigables con la naturaleza es muy importante.

La electrodeposición de aleaciones se está utilizando para la producción de nuevos

materiales con mejores propiedades mecánicas, químicas y físicas [8-10]. Últimamente se han estudiado los recubrimientos de aleaciones de Zn, tales como Zn-Co, Zn-Ni, Zn-Fe y Zn-Ni-Co, los cuales poseen mejores propiedades mecánicas y anticorrosivas que los recubrimientos de zinc [11-14]. Es importante tener en cuenta que cuando mayor sea el contenido de cobalto en el recubrimiento ternario de Zn-Ni-Co, esta tendrá alta resistencia a la corrosión marina, bajo coeficiente de fricción lo que permitiría que las juntas (tornillos) sean fácilmente

* Correspondencia autor: jsolis@ipen.gob.pe

desmontables así como juntas que están suavemente soldadas puedan ser retiradas con ácidos [8]. Los recubrimientos con bajo contenido de Co son menos nobles que el acero, así que ellos representan un tipo de cubierta de sacrificio. Aquellas cubiertas con alto contenido de Co son más nobles que el acero y proveen un tipo de barrera de protección [10]. En el presente trabajo se ha desarrollado un proceso electroquímico para

la producción de aleaciones Zn-Ni-Co que es amigable con el medioambiente.

2. Experimental

Para el desarrollo experimental del proceso electrolítico, se utilizó tres soluciones acuosas basadas en cloruro de zinc ($ZnCl_2$), cloruro de cobalto ($CoCl_2 \cdot 6H_2O$) y cloruro de níquel ($NiCl_2 \cdot 6H_2O$). En la Tabla 1 se muestra las concentraciones de las soluciones así como las condiciones de operación.

Tabla 1. Composición de las soluciones utilizadas y las condiciones de operación.

<i>Muestra</i>	<i>ZnCl₂</i>	<i>NiCl₂ 6H₂O</i>	<i>CoCl₂ 6H₂O</i>
Solución 1	1 M	0,1 M	0,1 M
Solución 2	1 M	0,2 M	0,2 M
Solución 3	1 M	0,3 M	0,3 M

Para un volumen de 0,5 L se empleó agua desionizada con menos de $3\mu S/cm$, temperatura de $55\text{ }^\circ C$, ánodo de grafito con área catódica de $0,25\text{ dm}^2$ área anódica de 1 dm^2 Separación A/C de 3 cm y pH de 3,5. Como cátodo se usó una lámina de acero común o cobre pulida, previamente se limpió el cátodo con alcohol etílico e inmediatamente se procedió a un desengrase electrolítico tipo industrial por 1 min. Se lavó el cátodo con agua potable. Se neutralizó los restos de la solución de desengrase en una solución al 5 % Vol de ácido clorhídrico (QP) y a continuación se lavó con agua desionizada. Con una balanza analítica de cuatro decimales se registraron los pesos antes y después del proceso. El proceso electrolítico en todos los casos tuvo una duración de 2 min para la densidad de corriente fijada y fueron obtenidos a 3,5 de pH, temperatura de $55\text{ }^\circ C$ y una densidad de corriente entre $0,4$ y $0,8\text{ A/dm}^2$. El análisis elemental de los recubrimientos se determinó mediante Espectroscopía de Absorción Atómica (EAA).

Para la medida de la composición elemental por EAA se utilizó un equipo Shimadzu AA-6701F, que fue previamente calibrado con los patrones respectivos de Zn, Ni y Co, y para hacer la medida del recubrimiento obtenido se disolvió en ácido nítrico 5 % Vol

QP. La estructura cristalina del recubrimiento fue caracterizada por difracción de rayos-X, utilizando un Difractómetro Rigaku Miniflex II operado con una fuente de radiación de $CuK\alpha$ ($\lambda=0,15045\text{ nm}$) a 30 kV y 20 mA. La morfología de los recubrimientos fue estudiada mediante microscopía de fuerza atómica (MFA) y fueron realizadas empleando el instrumento Nanosurf EASY SCAN 2 AFM System. El espesor del recubrimiento fue medido usando un microscopio óptico Nikon Eclipse E200-Pol. Los ensayos de microdureza fueron realizados aplicando una carga de 10 gf con el Buehler High Quality Micro Hardness Tester 5101. La velocidad de corrosión fue determinada aplicando la técnica de resistencia de polarización lineal empleando una solución de NaCl 3 % wt. Para tal fin se empleó un potenciostato Gamry-600 con electrodos de referencia Ag/AgCl. Definido el potencial de corrosión en circuito abierto del sistema y basado en la norma ASTM G59-97, se procedió a un barrido de potencial de 300 mV a una velocidad de $0,167\text{ mV/s}$, teniendo en cuenta -100 mV con respecto al potencial de corrosión para la zona catódica y $+200\text{ mV}$ con respecto del potencial de corrosión para la zona anódica.

3. Resultados y Discusión

La Tabla 2 muestra los porcentajes promedios de los elementos Zn, Ni y Co, medidos en las soluciones precursoras 1, 2 y 3, en sus respectivos recubrimientos obtenidos con una densidad de corriente de $0,8 \text{ A/dm}^2$. Se observa que el porcentaje de Zn en el recubrimiento ternario, siempre es mayor que el porcentaje de Zn en la solución. En el recubrimiento ternario el contenido de Zn disminuye cuando las concentraciones de Ni y Co aumentan en las soluciones. Los porcentajes de Ni y Co en el recubrimiento ternario son menores a los porcentajes de Ni y Co en las soluciones. Las soluciones 1 y 2 generan las mayores diferencias entre los porcentajes de los elementos Zn, Ni y Co en el recubrimiento ternario, sin embargo las soluciones 2 y 3 tienen diferencias mínimas en los porcentajes de Zn, Ni y Co, desde el punto de vista de composición elemental se tendrían recubrimientos similares.

Tabla 2. Porcentaje promedio de Zn, Ni y Co en el recubrimiento ternario y la solución precursora, obtenido con $j=0.8 \text{ A/dm}^2$ en un tiempo de 2 min.

Muestra	% Zn	% Ni	% Co
Solución 1	83,3	8,3	2,4
Recubrimiento 1	94,3	3,3	2,4
Solución 2	71,4	14,3	14,3
Recubrimiento 2	84,3	6,4	9,3
Solución 3	62,5	18,7	18,8
Recubrimiento 3	85,1	5,6	9,3

En la Figura 1 se muestra la topografía del recubrimiento mediante Microscopía de Fuerza Atómica obtenido sobre sustrato de acero (a) y cobre (b), obtenido a partir de la solución 3 ($j = 0,4 \text{ A/dm}^2$, tiempo 2 min). En la Figura 2 se muestran los difractogramas de rayos X del recubrimiento sobre una base de acero (c) y cobre (d), en ambos materiales se aprecia una nueva fase $\text{Zn}_{11}\text{Ni}_2$ adicionalmente al del sustrato.

En la Figura 3 se muestran los espesores medidos del recubrimiento ternario obtenido a partir de la solución 3, y del cinc obtenidos a partir de una solución industrial cianurada con aditivos de procedencia alemana y comercializada en el Perú.

Los tiempos para obtener el recubrimiento fueron 20, 40 y 60 min y una lámina de cobre como cátodo.

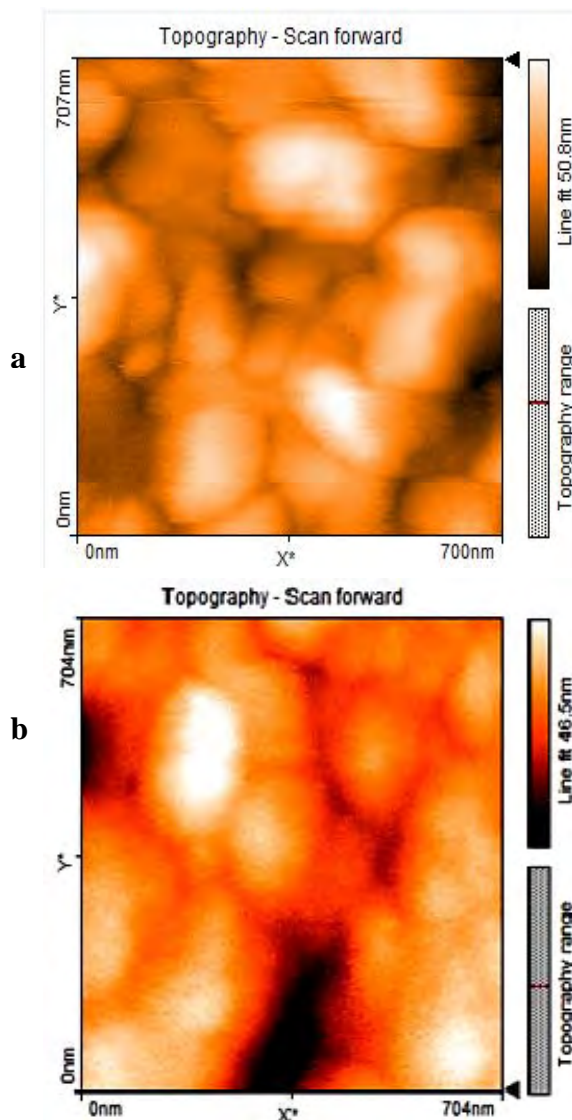


Figura 1. Topografía del recubrimiento obtenido mediante Microscopía de Fuerza Atómica a partir de la solución 3 ($j = 0.4 \text{ A/dm}^2$, tiempo 2 min) sobre sustrato de: (a) acero, (b) cobre.

En la Figura 4 se muestra los valores promedios de la dureza Vickers para el recubrimiento ternario medido con una carga de 10 gf. Los espesores de los recubrimientos ternarios son menores que los recubrimientos de cinc obtenidos con los mismos tiempos; sin embargo, la dureza del recubrimiento ternario es hasta 6 veces mayor que la del cinc. La dureza del recubrimiento de cinc disminuye a medida que el espesor aumenta debido a un crecimiento defectuoso de la película para tiempos mayores de 40 min.

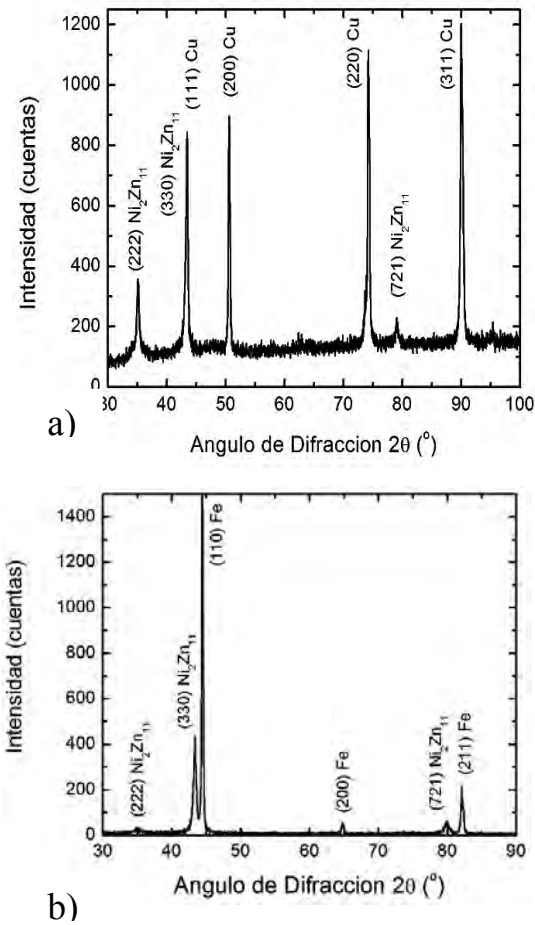


Figura 2. Difractogramas de rayos X (DRX) del recubrimiento obtenido a partir de la solución 3 sobre sustrato de cobre (a) y acero (b).

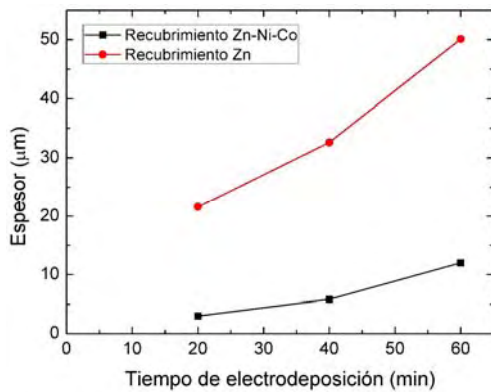


Figura 3. Variación del Espesor del recubrimiento ternario de zinc obtenido a partir de la solución 3 sobre un sustrato de cobre medido con el microscopio óptico en función del tiempo de depósito.

En la Tabla 3 se muestran los valores de velocidad de corrosión del recubrimiento de zinc y del recubrimiento ternario. La velocidad de corrosión del recubrimiento de zinc, medido en milésimas de pulgada por año (mpy) obtenido con un tiempo de 20, 40

y 60 min es 4.9, 6.7 y 8.8 veces más rápida, que la velocidad de corrosión del recubrimiento ternario.

Tabla 3. Espesor promedio del recubrimiento de zinc y de la aleación ternaria con sus respectivas velocidades de corrosión promedio obtenidas a diferentes tiempos.

Tiempo (min)	Velocidad de corrosión (mpy) Recubrimiento ternario	Velocidad de corrosión (mpy) Recubrimiento cinc
20,0	2,2	10,7
40,0	2,3	15,5
60,0	1,7	15,1

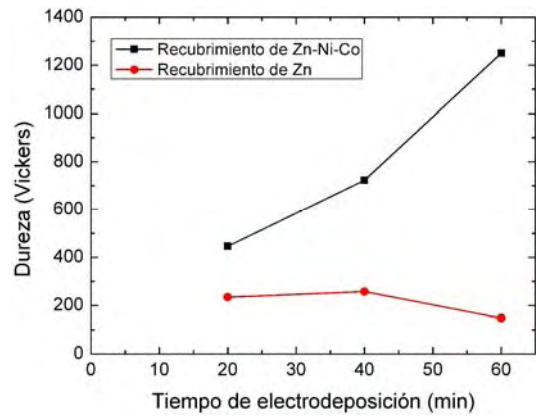


Figura 4. Dureza Vickers de los recubrimientos ternarios de zinc en función del tiempo de depósito: Carga 10gf.

Las curvas potenciodinámicas a 20, 40 y 60 min se muestran en la Figura 5. Las curvas a 20 y 40 min son muy similares, lo que refleja la uniformidad del recubrimiento ternario obtenida experimentalmente, la curva a 60 min presenta cierto desfase debido probablemente a las ligeras acumulaciones en el recubrimiento ternario, lo que podría mejorarse con la incorporación de aditivos.

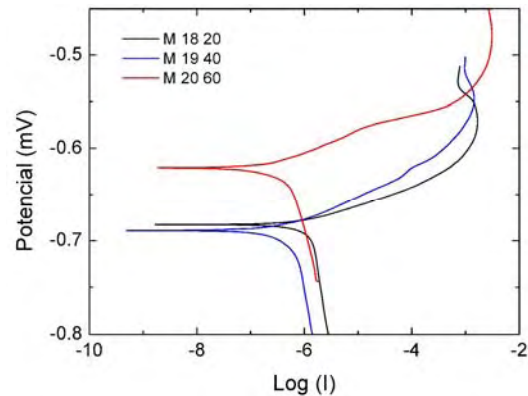


Figura 5. Curvas potenciodinámicas de los recubrimientos ternarios Zn-Ni-Co obtenidos a tiempos de 20, 40 y 60 min.

4. Conclusiones

Se logró mejorar la resistencia a la corrosión y dureza del acero de bajo carbono a través de una electrodeposición de una aleación ternaria Zn-Ni-Co obtenida a partir de una solución de sus respectivos cloruros, respecto al cinc.

El proceso propuesto es una alternativa de un proceso que sea más amigable al medio ambiente, respecto al proceso actual que se desarrolla en nuestro país basado en cianuros y cromo (+6).

5. Agradecimientos

Agradecemos a la Facultad de Ingeniería Química y Textil (Laboratorios N° 11, 21 y 23 A) de la Universidad Nacional de Ingeniería por el apoyo brindado a este proyecto. Al Laboratorio de Datación (Facultad de Ciencias de la UNI), de igual modo al Ing. Javier Gago del Instituto Peruano de Energía Nuclear IPEN por las micrografías de fuerza atómica.

6. Bibliografía

[1] Schlötter Max. Analysis Handbook. Analysis of plating solutions. Schlötter-Fabrik für Galvanotechnik, 4th edition; 1985.

[2] American Water Works Association. Water quality and treatment. A handbook of community water supplies. 5th Edition. New York: McGraw-Hill Inc.; 1999.

[3] Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). Toxicological Profile for Chromium (Draft for Public Comment). Atlanta, U.S. Department of Public Health and Human Services. 2008.

[4] Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). Toxicological Profile for Cyanide. Atlanta, U.S. Department of Public Health and Human Services. 2006.

[5] Rai D, Eary LE, Zachara JM. Sci. Total Environ. 1989; 86(1-2):15-23.

[6] Amaro R, Murillo M, Escalona A, Lucena R, Verdú R. Ciencia. 2005; 13(1): 78-84.

[7] Zayed AM, Terry N. Plant and Soil. 2003; 249(1):139-156.

[8] Vinogradov OS, Perelygin Yu. Russian Journal of Applied Chemistry. 2001; 74(3): 421-423.

[9] De Lima-Nieto P, Correia AN, Colares RP, Araujo WS. J. Braz. Chem. Soc. 2007; 18(6):1164-1175.

[10] Abou-Krishna MM, Ragh HM, Matter EA. Surface and Coatings Technology. 2008; 202(15):3739-3746.

[11] Albalat R, Gómez E, Müller C, Sarret M, Vallés E, Pregonas J. Journal of Applied Electrochemistry. 1990; 20(4):635-639.

[12] Short NR, Zhou S, Dennis JK. Surface and Coatings Technology. 1996; 79(1-3): 218-224.

[13] García E, Sarret M, Müller C, Ortega JA. Journal of the Electrochemical Society. 2002; 149(5):C284-C288.

[14] Mahieu J, De Wit K, De Cooman BC, De Boeck A. Journal of Materials Engineering and Performance. 1999; 8(5): 561-570.

Efecto de la temperatura y homogenización del Bromuro de Cetiltrimetilamonio en el proceso de síntesis de Nanoesferas de Au

David Asmat^{1,*}, Luis Angelats¹, Juan Estrada², Rusber Minaya¹, Alcides López^{3,4}

¹ Universidad Nacional de Trujillo, Av. Juan Pablo II S/N, Trujillo, Perú

² Institut Nationale de Sciences Appliquées de Lyon, École Centrale Lyon, France

³ Instituto Peruano de Energía Nuclear-IPEN, Lima 41, Perú

⁴ Universidad Nacional de Ingeniería, Av. Tupac Amaru 210 Lima, Perú

Resumen

En este trabajo se ha evaluado el efecto de la temperatura (65, 75, 85 y 95 °C) y el tipo de homogenización (agitación ultrasónica y agitación magnética) en la disolución del bromuro de cetiltrimetilamonio (CTAB), empleado como estabilizante en el proceso de síntesis de nanoesferas de Au por el método de química húmeda. Como agente reductor se ha utilizado borohidruro de sodio (NaBH₄). El entendimiento y el control de los diferentes parámetros experimentales durante la síntesis, son la clave para una exitosa fabricación de nanoesferas de Au. Los patrones de difracción por rayos X (DRX) mostraron los picos (111) y (200) característicos del oro a las temperaturas de 75, 85 y 95 °C. Los espectros de absorbancia óptica muestran picos en 528, 527 y 537 nm a las temperaturas de 75, 85 y 95 °C respectivamente, típicos de las nanoesferas de oro, cuyas intensidades se incrementan con mayores temperaturas de disolución del CTAB. No fue observado el pico plasmónico del CTAB a 65 °C. Los análisis por dispersión de luz dinámica (*Dynamic Light Scattering*) en soluciones coloidales mostraron baja dispersidad y tamaño nanométrico cuando se estabilizó con CTAB, disuelto a la temperatura de 95 °C, resultados que fueron contrastados con imágenes de Microscopia Electrónica de Transmisión.

Abstract

In this work we have evaluated the temperature effect (65, 75, 85 and 95 °C) and type of homogenization (ultrasonic and magnetic agitation) in the solution of cetyltrimethylammonium bromide (CTAB), used as a stabilizer in the synthesis process of Au nanospheres by the wet chemistry method. Sodium borohydride (NaBH₄) was used as reducing agent. The understanding and control of experimental parameters during synthesis are the key for a successful production of Au nanospheres. The x-ray diffraction patterns (XRD) showed peaks (111) and (200) characteristic of the gold structure at temperatures of 75, 85 and 95 °C. Absorbance spectra show optical peaks at 528, 527 and 537 nm at temperatures of 75, 85 and 95 °C respectively, typical of the nanospheres of gold, whose intensities were increased with higher temperature of dissolution of CTAB. The plasmonic peak of CTAB at 65 °C was not observed. Analysis by Dynamic Light Scattering in colloidal solutions, shown low dispersity and nanometer size when stabilized with CTAB dissolved at a temperature of 95 °C, results that were compared with Transmission Electron Microcopy images.

1. Introducción

Las nanoestructuras (NE) de oro han atraído, en la última década, una masiva atención de la comunidad científica por sus potenciales aplicaciones en el campo de la medicina y el medioambiente debido a sus nuevas propiedades ópticas, electrónicas y catalíticas, alta estabilidad, compatibilidad biológica y fácil funcionalización superficial [1-5]. Las NE de oro se pueden sintetizar de diversas formas: (a) esferas[6], (b) cilindros, llamados también nanobarras o *nanorods*(c) estructuras esféricas de núcleo-cáscara, también llamadas *core-shell*, (d) estrellas, etc.

Todas estas formas son altamente reproducibles y pueden ser bien controladas. Las interesantes propiedades ópticas de las NE de Au, son atribuidas a su interacción única con la luz incidente. En presencia del campo electromagnético oscilante de la luz, los electrones de la banda de conducción se someten a oscilaciones colectivas coherentes en resonancia con la frecuencia de la luz, denominada resonancia de plasmón superficial (RPS) [7]. La oscilación de RPS induce una fuerte absorción de la luz,

* Correspondencia autor: davidasm88@gmail.com

observado en el espectro ultravioleta-visible (UV-vis), que es el origen del color de la solución coloidal como lo explica la teoría de Mie [8]. La condición de RPS es dependiente del tamaño, forma, estructura de la NE. El ancho, la posición, la intensidad y el número de los picos de absorbancia dependen de la morfología [9], la permitividad eléctrica del solvente en que está embebida, del proceso de síntesis y del tamaño de la NE. Las nanopartículas esféricas de Au muestran una fuerte banda RPS en la región visible.

Las nanoesferas de Au presentan un extraordinario potencial de aplicación como agentes fototerapéuticos en el tratamiento del cáncer, así como para la elaboración de nanoestructuras útiles para el transporte y la vectorización selectiva de fármacos y macromoléculas terapéuticas y en terapia génica (vehiculización de plásmidos, ADN, ARN) [10].

Existen diversos métodos de síntesis de nanoesferas de Au por procesos de química húmeda. Todos ellos con el objetivo de lograr una mayor producción de nanoesferas de menor tamaño, alta estabilidad y baja dispersidad.

El proceso de síntesis de nanoesferas de Au empleado en el presente trabajo está basado en el método de Brust [11], en el cual, para realizar el proceso de reducción del Au^{III} a Au⁰ se añade una solución de borohidruro de sodio (NaBH₄), antecedido por una solución precursora de ácido cloroáurico (HAuCl₄) estabilizado con bromuro de cetiltrimetilamonio (CTAB). En este caso, se ha evaluado el efecto de la temperatura y el tipo de homogenización de la disolución del CTAB, usado en el proceso de síntesis de nanoesferas de Au.

2. Desarrollo Experimental

2.1 Preparación de soluciones

Como solución precursora se utilizó ácido cloroáurico (HAuCl₄) a 0,025 M, el cual fue preparado disolviendo 1 gramo de oro de 24 kilates en agua regia. Todo este proceso se realizó en el Laboratorio de Física de Materiales (Sección Nanociencia y Nanotecnología) de la UNT [12]. Como agente estabilizante se usó CTAB disuelto en 20 mL de agua ultrapura contenido en una matraz Erlenmeyer, lo que equivale a una

concentración de 0,1 M. La disolución se realizó con agitación magnética a las temperaturas de 65, 75, 85 y 95 °C durante 1 hora. La homogenización ultrasónica se realizó a temperatura ambiente (~20 °C) por 25 minutos. El CTAB se consideró disuelto cuando la solución se volvió completamente transparente, mostrando algunas burbujas en la superficie cuando solo fue agitada magnéticamente. Por otro lado, en un tubo de ensayo de vidrio, se preparó una solución acuosa de NaBH₄ a 1 °C (0,01 M) con la ayuda de agitación ultrasónica por 25 min.

2.2 Síntesis de nanoesferas de Au

A la solución de CTAB (Bromuro de Cetiltrimetilamonio) se le añadió 197 µL de solución madre HAuCl₄(0,025M), resultando una solución de color amarillo intenso, la que se homogenizó mediante agitación magnética a temperatura ambiente. Luego, se le agregó 1,2 mL de NaBH₄ bajo rápida agitación magnética. También se experimentó lo mismo bajo agitación ultrasónica a temperatura ambiente. En ambos casos, las soluciones mostraron un color marrón característico. Las concentraciones finales resultaron ser: 9,4x10⁻² M CTAB, 2,4x10⁻⁴ M HAuCl₄ y 5,7x10⁻⁴ M NaBH₄.

2.3 Caracterización

Las nanopartículas fueron caracterizadas utilizando un difractor de rayos X (DRX) RigakuMiniFlex II, en configuración Bragg-Brentano 2 Theta con fuente de CuKα (1,5405Å) y por microscopía electrónica de transmisión (MET), mediante un TEM Philips 300. Las soluciones coloidales de nanopartículas de Au fueron analizadas mediante dispersión de luz dinámica (*Dynamic Light Scattering, DLS*) con un equipo 90 Plus-Brookhaven Instrument.

3. Resultados y discusión

3.1 Efecto de la temperatura del CTAB

En la Figura 1 se presentan los espectros de absorbancia de las nanopartículas de Au estabilizadas con CTAB (0,1M) disueltas con agitación magnética a las temperaturas de 65, 75, 85 y 95 °C durante 1 hora. Se observan picos de absorbancia en 528, 527 y 537 nm a las temperaturas de 75, 85 y 95 °C respectivamente, los cuales corresponden a la resonancia de plasmón superficial (RPS)

típicos de las nanoesferas de oro. La no presencia de un pico plasmónico, a la temperatura del CTAB a 65 °C nm, se debería posiblemente a la incompleta disolución del CTAB a dicha temperatura.

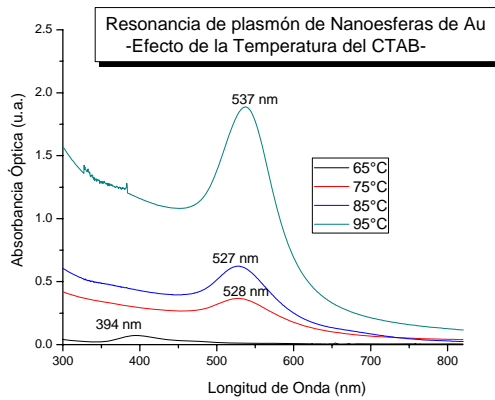


Figura 1. Espectros de absorción óptica de nanopartículas de Au en función de la temperatura de disolución del CTAB.

En la Figura 2 se muestra un gráfico representando la intensidad del pico plasmónico en función de la temperatura de disolución del CTAB. El aumento de la intensidad de resonancia de plasmón, conforme se incrementa la temperatura se debería posiblemente a una mayor población de nanoesferas de Au coloidales favorecido por la temperatura.

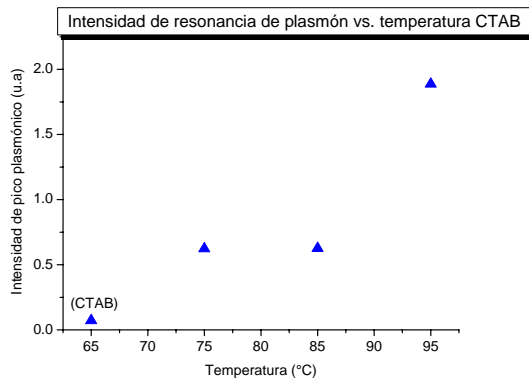


Figura 2. Intensidad de absorción de plasmón por nanopartículas de Au en función de la temperatura del CTAB.

Los patrones de difracción de rayos X mostrados en la Figura 3 presentan 2 picos característicos del oro: (111) y (200), indicando la presencia de nanopartículas de Au en las soluciones coloidales preparadas con CTAB disuelto a las temperaturas de 75, 85 y 95 °C. Los otros picos no identificados

pueden corresponder a cristales formados por el CTAB no disuelto completamente.

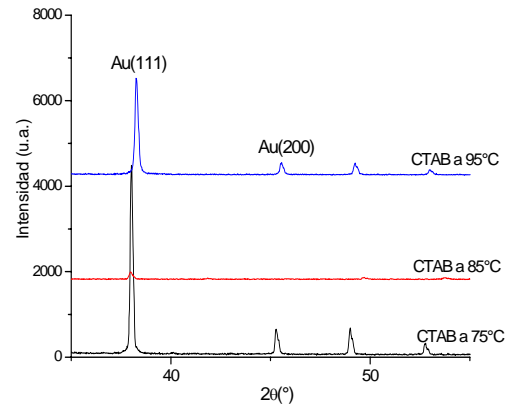


Figura 3. Difractogramas de rayos X de nanoesferas de Au estabilizadas con CTAB a 75, 85 y 95 °C.

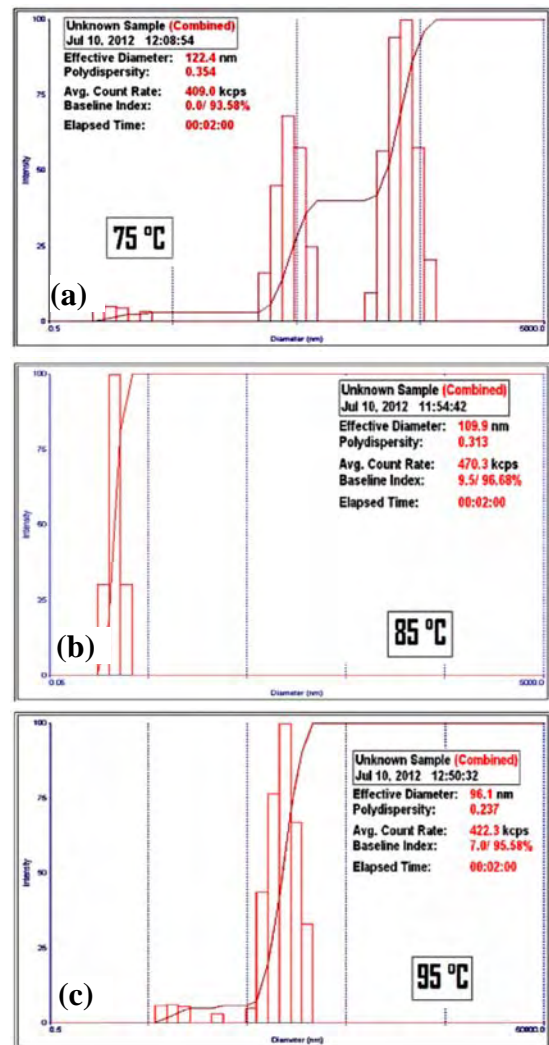


Figura 4. Dispersión de Luz Dinámica (DLS) en soluciones coloidales de nanoesferas de Au estabilizadas con CTAB disuelto a temperaturas de (a) 75 °C, (b) 85 °C y (c) 95 °C.

Tabla 1. Grado de dispersión y diámetro efectivo de las nanoesferas de Au por efecto de la temperatura de CTAB.

Temperatura del CTAB (°C)	Diámetro efectivo (nm)	Dispersión de partículas	Diámetro Mínimo (nm)
75 °C	122,4	0,354	1,25
85 °C	109,9	0,313	0,17
95 °C	96,1	0,237	6,62

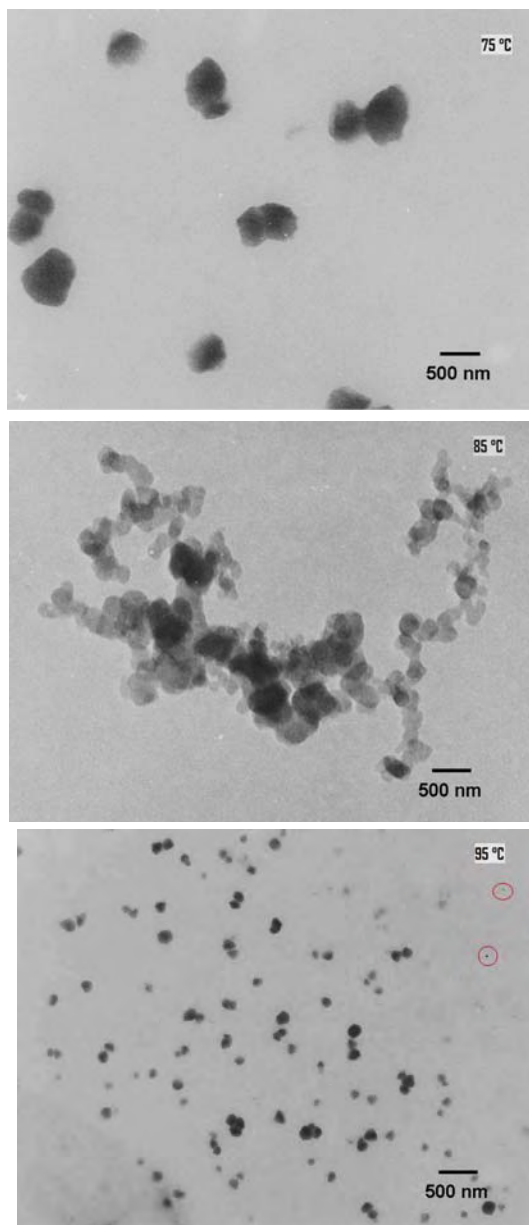


Figura 5. Imágenes MET de nanopartículas de Au estabilizadas con CTAB a 75, 85 y 95 °C.

En los resultados de Dispersión de Luz Dinámica (DLS) mostrados en las Figuras 4a, 4b y 4c, puede observarse el efecto que tiene la temperatura de disolución del CTAB sobre el grado de dispersión en el tamaño y diámetro efectivo de las nanoesferas de Au.

La Tabla 1 resume estos resultados. Se nota claramente que el grado de dispersión y el diámetro efectivo de las nanoesferas de Au, disminuyen de 0,354 a 0,237 nm y de 122,4 a 96,1 nm respectivamente, de acuerdo con el incremento de la temperatura de disolución del CTAB en el rango de 75 °C a 95 °C.

Las imágenes MET de la Figura 5 corroboran estos resultados, donde se observa que las nanoesferas estabilizadas con CTAB disueltas a 95 °C tienen una distribución más homogénea y de menor tamaño que a las temperaturas de 75 °C y 85 °C.

3.2 Efecto del tipo de homogenización del CTAB

Los dos espectros de absorbancia mostrados en la Figura 6 corresponden a nanoesferas de Au estabilizadas con CTAB homogenizado, mediante agitación magnética (*stirring*) (línea de color negro) y por agitación ultrasónica (línea roja).

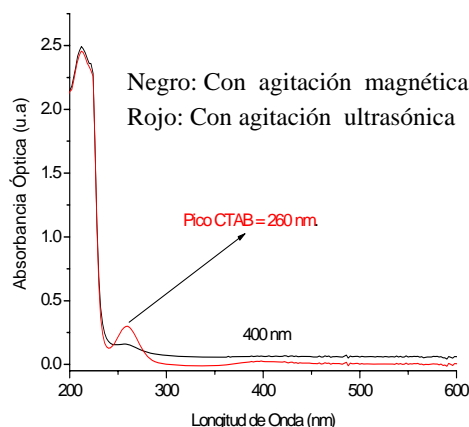


Figura 6. Efecto en la absorbancia óptica debido al tipo de homogenización del estabilizante CTAB en el proceso de síntesis de nanoesferas de Au.

El espectro de absorbancia cuando el CTAB es homogenizado con agitación ultrasónica, muestra un pico plasmónico en 400 nm ligeramente intenso, lo que indicaría nanoesferas del orden nanométrico (de 3 a 7 nm)[13]. Sin embargo, este espectro también presenta un pico de absorbancia en 260 nm, el cual se debería a la presencia de cristales de CTAB no disueltos completamente por este modo de agitación. En cambio, una disolución completa del CTAB se presenta cuando es homogenizado por agitación magnética al no observarse picos de

absorbancia menores a 400 nm. Es muy posible que para este modo de agitación, se generen nanoesferas de diámetros muy pequeños y que el pico de plasmón se haga más intenso con mayor tiempo de reposo de la solución coloidal [12].

4. Conclusiones

Se ha evaluado el efecto de la temperatura de disolución del CTAB de 65 a 95 °C y del tipo de homogenización por agitación magnética y ultrasónica en el proceso de síntesis de nanopartículas de Au con geometría esférica basado en el método de Brust.

Los espectros de absorbancia óptica muestran picos en 528, 527 y 537 nm a las temperaturas de 75, 85 y 95 °C respectivamente, los cuales corresponden a la resonancia de plasmón superficial (RPS) típicos de las nanoesferas de oro. La intensidad de estos picos plasmónicos se incrementa con mayores temperaturas de disolución del CTAB, lo que indicaría una mayor población de nanoesferas de Au coloidales. No fue observado un pico plasmónico a 65 °C del CTAB debido a la posible disolución incompleta del CTAB.

La caracterización por Dispersión de Luz Dinámica y las imágenes por MET a partir de soluciones coloidales de nanoesferas de Au, mostraron baja dispersidad y de tamaño nanométrico cuando se estabilizó con CTAB a 95 °C.

Se ha observado que para lograr una mejor disolución del CTAB y obtener nanoesferas de Au de tamaño nanométrico es recomendable homogenizarlo mediante agitación magnética.

5. Agradecimientos

Al Instituto Peruano de Energía Nuclear por su apoyo en la caracterización de las muestras por DRX.

Al Ing. Dr. Noé Costilla de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de Trujillo, por facilitarnos el Espectrofotómetro UV-Vis.

Al Lic. Hugo Alarcón, del Laboratorio de Físico-Química de la Universidad Nacional de Ingeniería, por facilitarnos los equipos Dynamic Light Scattering y Espectrofotometría UV-vis.

6. Referencias

- [1] Chandra P, Das D, Abdelwahab A. Gold nanoparticles in molecular diagnostics and therapeutics. *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures*. 2010 April; 5(2):363-367.
- [2] Liang Z, Zhang J, Wang L, Song S, Fan C, Li G. A Centrifugation-based method for preparation of gold nanoparticles and its application in biodetection. *Int. J. Mol. Sci*. 2007; 8:526-532.
- [3] Patra HK, Banerjee S, Chaudhuri U, Lahiri P, Dasgupta A. Cell selective response to gold nanoparticles. *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology, and Medicine*. 2007; 3:111-119.
- [4] Warren CW Chan, Editor. *Bio-Applications of nanoparticles*. New York: Springer Verlag Inc.; 2007.
- [5] Kan C, *et al.* Formation of gold and silver nanostructures within polyvinylpyrrolidone (PVP) gel. *Journal of Solid State Chemistry*. 2010; 183:858-865.
- [6] Nguyen Ngoc Long, *et al.* Synthesis and optical properties of colloidal gold nanoparticles. *Journal of Physics: Conference Series*. 2009; 187(1). doi:10.1088/1742-6596/187/1/012026.
- [7] Huang X, Neretina S, El-Sayed M. Gold nanorods: From synthesis and properties to biological and biomedical applications. *Advanced Materials*. 2009 Dic; 21:4880-4910.
- [8] Mie G. Beiträge zur optik trüber medien, speziell kolloidaler metallösungen. *Annalen der Physik*. 1908; 330(3):377-445.
- [9] Tréguer-Delapierre M, *et al.* Synthesis of non-spherical gold nanoparticles. *Gold Bulletin*. 2008; 41:195-207.
- [10] Bhattacharya R, *et al.* Biological properties of "naked" metal nanoparticles. *Advanced Drug Delivery Reviews*. 2008; 60:1289-1306.
- [11] Brust M, *et al.* Synthesis of thiol-derivatised gold nanoparticles in a two-phase liquid-liquid system. *J. Chem. Soc. Chem. Commun*. 1994; 801-802.
- [12] Estrada J. Influencia del proceso de síntesis sobre la razón de aspecto de *nanorods* de oro preparados por el método de química húmeda mediado por semilla. [Tesis para optar el Grado de Licenciado en Física].

Trujillo, Perú: Universidad Nacional de Trujillo; 2011.

[13] Sharma V, Park K, Srinivasarao M. Colloidal dispersion of gold nanorods:

Historical background, optical properties, seed-mediated synthesis, shape separation and self-assembly. *Materials Science and Engineering*. 2009; R65:1-38.

Degradación fotocatalítica de anaranjado de metilo con dióxido de titanio obtenido por ultrasonido

Vanessa Martínez¹, José Solís^{1,2,*}, Alcides López^{1,2}

¹ Universidad Nacional de Ingeniería Av. Tupac Amaru 210 Rimac, Lima, Perú

² Instituto Peruano de Energía Nuclear Av. Canadá 1470 San Borja, Lima, Perú

Resumen

Se sintetizó TiO₂ a partir de una solución alcohólica de isopropóxido de titanio sometida a la radiación ultrasónica entre 1 y 3 h. El material obtenido resultó ser amorfo y de tamaño de cristal muy pequeño. Luego de un tratamiento térmico en atmósfera de aire a 300 °C por 1 h se obtuvo la fase anatasa del TiO₂ con un tamaño de grano entre 10 y 37 nm. Se estudió sus propiedades fotocatalíticas usando radiación ultravioleta UV-A para la remoción y degradación del anaranjado de metilo acuoso con un importante rendimiento. Se tomaron muestras de cuatro grupos para hallar una relación entre la actividad fotocatalítica de las muestras con el tiempo de sonicación.

Palabras claves: Anaranjado de metilo, Fotocatálisis, Dióxido de titanio, Sonoquímica

Abstract

TiO₂ was synthesized from a titanium isopropoxide alcoholic solution subjected to ultrasonic radiation between 1 and 3 hours. The material obtained was found to be amorphous and of very small crystalline size. After a heat treatment in air at 300 °C for 1 h TiO₂ anatase phase with a grain size between 10 and 37 nm, was obtained. Photocatalytic properties were studied using UV-A ultraviolet radiation for removing degradation of aqueous methyl orange with an important performance. Samples of four groups were taken, to find a relationship between the photocatalytic activities of samples with sonication time.

1. Introducción

En la actualidad, el dióxido de titanio es uno de los materiales más estudiados e investigados por sus múltiples aplicaciones en diversos campos, tales como componentes ópticos, sensores de gas, catalizadores, fotocatálisis, celdas solares, etc. Siendo un factor esencial su estructura a nanoescala. Las propiedades importantes del TiO₂ son su fotoestabilidad, su bajo costo, baja toxicidad. El TiO₂ más popular (por su eficiencia) usado por los investigadores es el P25 producido por la compañía Degussa en forma de polvo nanoestructurado [1].

La degradación de sustancias contaminantes diluidas en el agua por medio de la fotocatálisis (FC), usando semiconductores con una banda óptica E_g ancha ha sido objeto de múltiples estudios durante los últimos años [2]. Los llamados procesos de oxidación avanzada están basados en la acción de un agente redox reactivo que eventualmente lleva a una completa mineralización del contaminante orgánico. Estos procesos comprenden métodos como la ozonación

fotocatalítica y la fotocatálisis; en este último, el agente redox (catalizador) es un material semiconductor que al interactuar con un fotón de mayor energía o igual a la que separa las bandas de conducción y de valencia, se activa generando un par electrón hueco e⁻ / h⁺ de este par generado, el electrón presenta alta energía actuando como reductor y el hueco tiene un alto potencial de oxidación. En general, para una degradación eficiente en medio acuoso, los compuestos orgánicos deben ser adsorbidos sobre la superficie del catalizador, donde su oxidación puede ocurrir directamente por la transferencia de electrones o indirectamente por la formación de radicales OH• resultantes de la disociación del agua. Los detalles del mecanismo dependerán de la fuerza de adsorción de los compuestos orgánicos, así como de los potenciales de oxidación del adsorbato y del agua. El oxígeno debe estar también presente para actuar como aceptor de e⁻ y así completar eficientemente el consumo del par e⁻/h⁺. En general, puede llevar al

* Correspondencia autor: jsolis@uni.edu.pe

contaminante hasta su completa mineralización, sin generar intermediarios contaminantes como sucede con la cloración, la cual lo convierte en una tecnología limpia para la naturaleza.

Las principales causas del bajo rendimiento del efecto fotocatalítico del TiO_2 se deben a la corta permanencia en el estado excitado del par electrón hueco creado (10^{-9} s) que no da tiempo suficiente a los procesos de oxidación y reducción de las sustancias adsorbidas en su superficie [2]; de aquí que la prolongación del estado excitado se ha convertido en una búsqueda permanente. La disminución de la recombinación se viene desarrollando mediante procesos superficiales, tales como la implantación de iones metálicos, la creación de vacancias de O, aumentando la población de iones Ti^{3+} , soportados sobre semiconductores de ancho de banda prohibida diferentes en magnitud y en los bordes energéticos de las bandas de valencia y de conducción, soportados sobre electrodos conductores transparentes o sobre sustratos metálicos, etc.

En el presente trabajo se sintetizó la fase anatasa del TiO_2 mediante el uso de la sonoquímica y se estudió sus propiedades fotocatalíticas mediante la degradación de soluciones acuosas de anaranjado de metilo y diferentes grupos de micropartículas de TiO_2 .

2. Experimental

Para la síntesis del TiO_2 por la técnica sonoquímica se preparó una solución precursora que consiste de una mezcla de 10 ml de isopropóxido de titanio IV con 40 ml de etanol a temperatura ambiente, esta mezcla tiene un color blanquecino (pH entre 6 y 7). La solución precursora contenida en un vaso precipitado se coloca en el sonicador (Branson 2210, frecuencia: 47 kHz), se desgasifica durante 5 min y se irradia en un baño ultrasónico a una temperatura de 60 °C.

Las muestras fueron separadas en cuatro grupos con diferentes tiempos de sonicación:

- Grupo 1: 1 h
- Grupo 2: 1.5 h
- Grupo 3: 2 h
- Grupo 4: 3 h

Las muestras después de ser irradiadas fueron centrifugadas y el líquido sobrenadante fue descartado. Luego del correspondiente lavado el material se secó a 70 °C durante 12 h. Posteriormente, las muestras fueron sometidas a un tratamiento térmico a 300 °C durante 1 h.

La estructura cristalina del material obtenido fue caracterizada por difracción de rayos-X, utilizando un difractómetro Rigaku Miniflex II Desktop operado con una fuente de radiación de $\text{CuK}\alpha 1$ ($\lambda=0.15045$ nm) a 30 kV, 20 mA. El tamaño medio de los nanocristales se calculó empleando el método Scherrer. La morfología de las partículas de TiO_2 obtenidos se analizaron con un Microscopio Electrónico de Barrido (MEB) Philips 505.

La actividad fotocatalítica de los materiales obtenidos fue evaluada midiendo la degradación del colorante anaranjado de metilo en una solución acuosa. Los experimentos se llevaron a cabo en un sistema como el mostrado en la Figura 1, compuesto por una lámpara Osram Ultra Vitalux de 300 W, la cual se ubica ~25 cm sobre un recipiente de vidrio boro silicatado donde se encuentra 100 ml de una solución acuosa con una concentración de 20 ppm bajo agitación magnética, en esta solución se diluye 0.1 g de TiO_2 en 100 ml del anaranjado de metilo. La absorbancia de la solución fue monitoreada cada media hora de tiempo de iluminación. Las medidas espectrofotométricas se realizaron en un espectrómetro UV-Vis Shidmazu 2001.

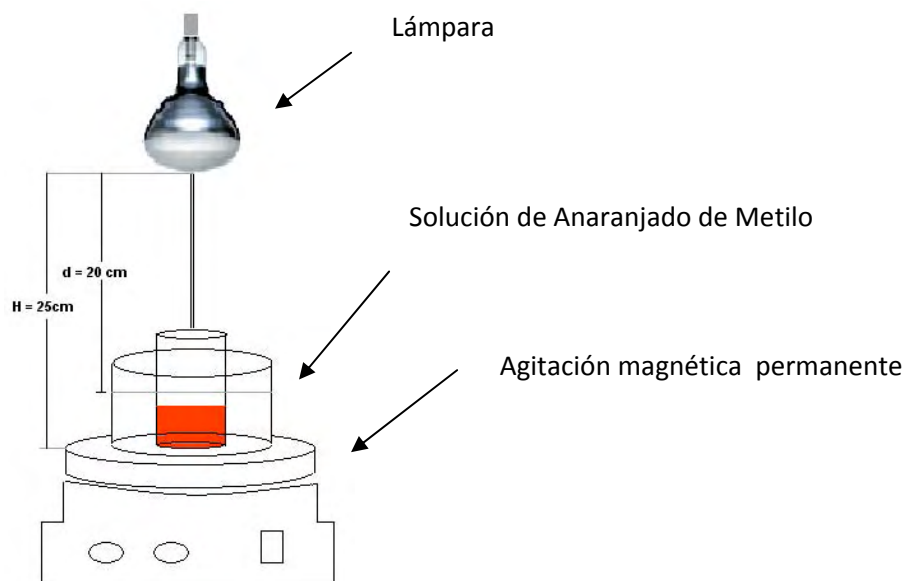


Figura 1. Esquema del fotoreactor en funcionamiento.

3. Resultados

Las muestras obtenidas luego de la sonicación tienen un difractograma de rayos X correspondiente a un material amorfo y con el tamaño de los cristalitas muy pequeño.

Luego las muestras fueron tratadas térmicamente a 300 °C por 1 h. La Figura 2 muestra los difractogramas de las

nanopartículas de TiO₂ obtenidas luego del tratamiento térmico. El tamaño de grano medio calculado empleando la fórmula de D. Scherrer fue:

Grupo 1: 37 nm

Grupo 2: 17 nm

Grupo 3: 22 nm

Grupo 4: 10 nm

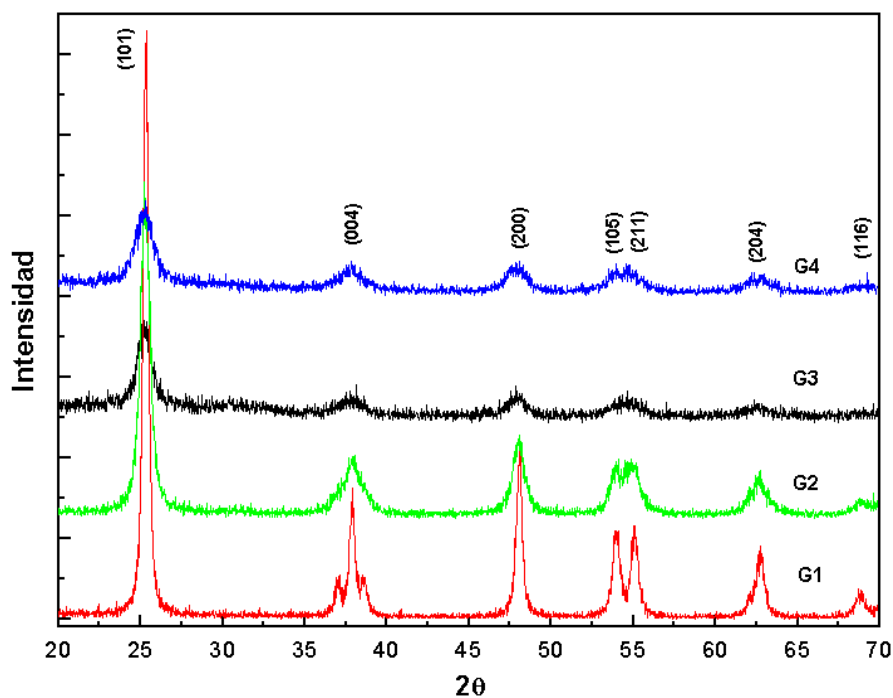
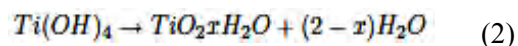
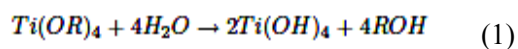


Figura 2. Difractogramas de las muestras de TiO₂ obtenidas con diferentes tiempos de sonicación (1, 1.5, 2 y 3 h), luego del tratamiento térmico a 300 °C por 1 h.

El dióxido de titanio se puede obtener al hacer reaccionar el isopropóxido de titanio con el etanol, cumpliéndose las siguientes relaciones:



donde R es el grupo ethyl [2].

Las Figura 3 muestra las micrografías hechas en microscopio electrónico de barrido de las partículas de TiO_2 obtenidas luego de un tratamiento térmico de 300 °C. La morfología de las partículas son esféricas, aparentemente huecos cuyos diámetros promedio de los Grupos 1, 2, 3 y 4 son 3,6; 0,55; 1,00 y 0,40 μm respectivamente.

En la Figura 4 se observa la actividad fotocatalítica de las muestras obtenidas y para comparación se tiene la que corresponde al P25.

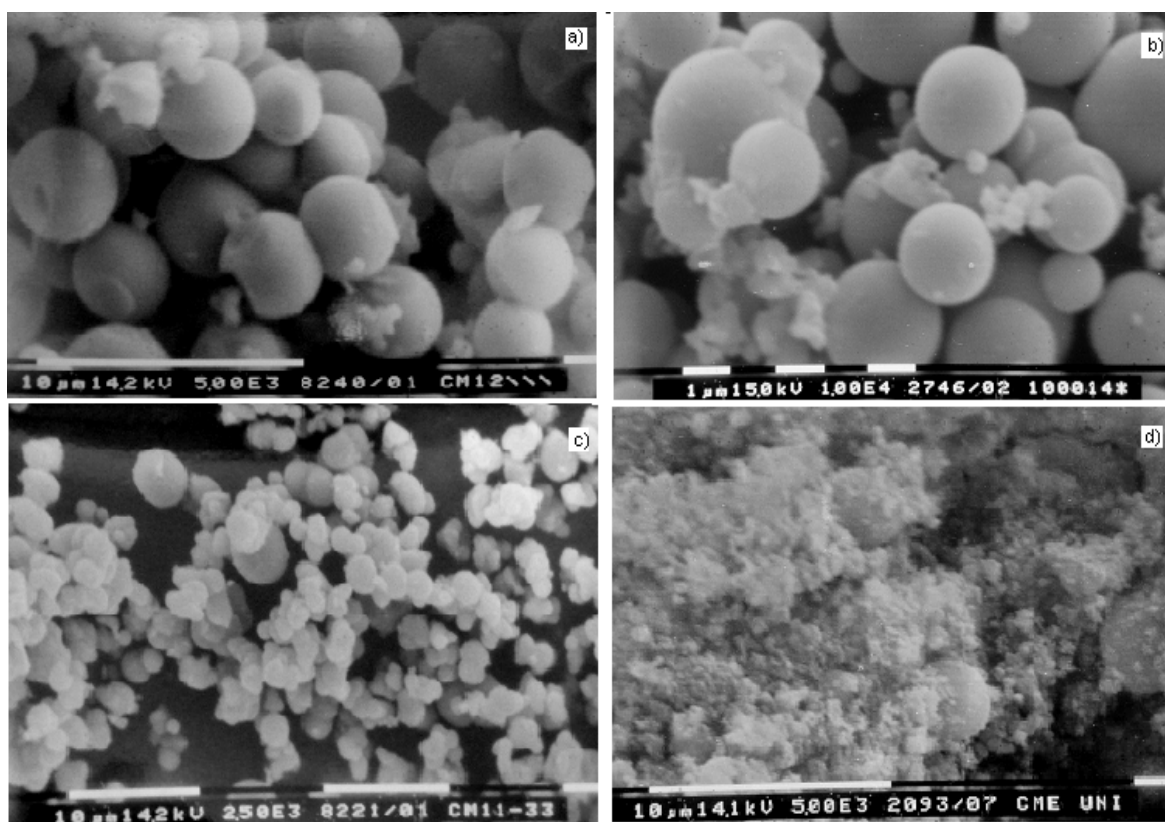


Figura 3. Micrografía SEM de las partículas de TiO_2 obtenidas con un tiempo de sonicación de a) 1 h, b) 1,5 h, c) 2 h y d) 3 h.

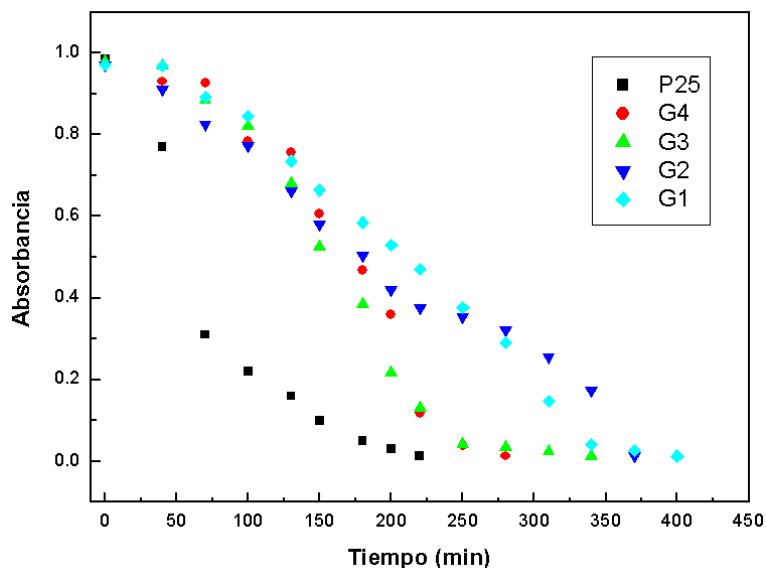


Figura 4. Curva de absorbancia en función del tiempo de iluminación para las muestras obtenidas con tiempos de sonicación entre 1 y 3 h comparadas con el dióxido de titanio comercial (P25).

4. Conclusiones

Se obtuvo partículas de dióxido de titanio mediante el método ultrasónico en la escala nanoestructurada, aunque aglomeradas en forma de esferas de tamaño micrométrico.

Los resultados de difracción de rayos X mostraron que cuando el tiempo de sonicación es de una hora, las partículas obtenidas se componen principalmente de la fase anatasa y broquita y que al incrementarse este tiempo, la fase predominante cambia a anatasa; por otro lado, se observa que el tamaño de grano disminuye hasta una escala nanoestructurada a medida que se incrementa el tiempo de sonicación.

De los grupos estudiados, los mejores resultados para la fotodegradación del anaranjado de metilo corresponden a los grupos 3 y 4, que son las muestras con tiempo de sonicación de 2 y 3 horas respectivamente, lo que indica que hay una relación directa entre la degradación fotocatalítica y el tiempo de sonicación de la

muestra, de acuerdo a cómo se incrementa la superficie reactiva con la disminución del tamaño de grano.

Se hizo la misma prueba de fotodegradación usando el TiO_2 P25 para tener una referencia del rendimiento alcanzado con las muestras de la presente investigación, obteniéndose resultados algo más lentos en los primeros 150 minutos pero pasando los 200 minutos los rendimientos se hacen muy similares, lo cual nos indica una buena performance de las muestras.

5. Referencias

- [1]. Fujishima A, Hashimoto K, Watanabe T. TiO_2 Photocatalysis: Fundamentals and applications. BKC, Tokio, Japan; 1999.
- [2]. López A., Producción de películas delgadas de dióxido de titanio y su evaluación en la fotodegradación de materiales orgánicos. [Tesis doctoral]. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería; 2008.

III. Ingeniería Nuclear

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.

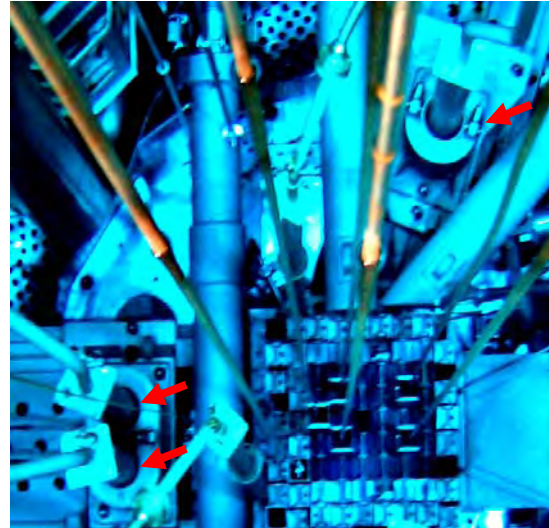


Figura 1. Vista superior del tanque del RP-10 en plena operación, al centro se encuentra el núcleo y se muestran tres de las cuatro cámaras de ionización, ver flechas rojas.

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.

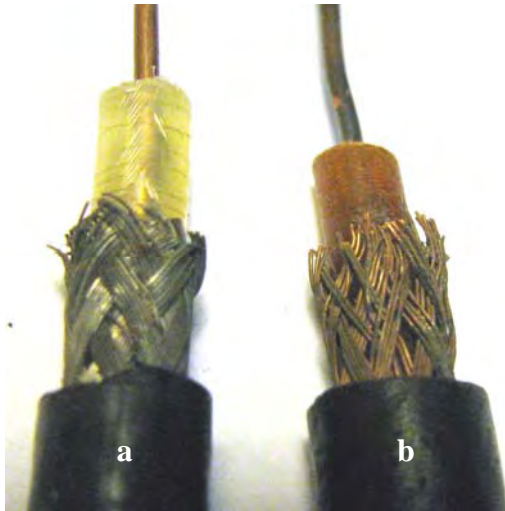


Figura 2. Aspecto de las diferentes partes de los cables coaxiales: a) sin irradiar y b) usado en el RP-10 (irradiado).

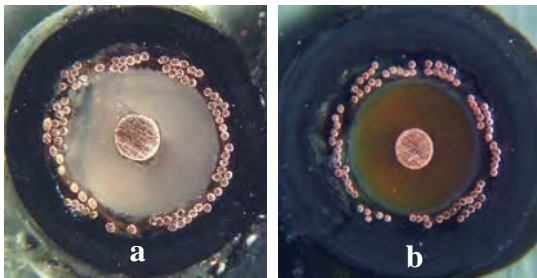


Figura 3. Aspecto de la sección transversal de cables coaxiales vista al microscopio: a) cable sin irradiar y b) cable irradiado.

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.

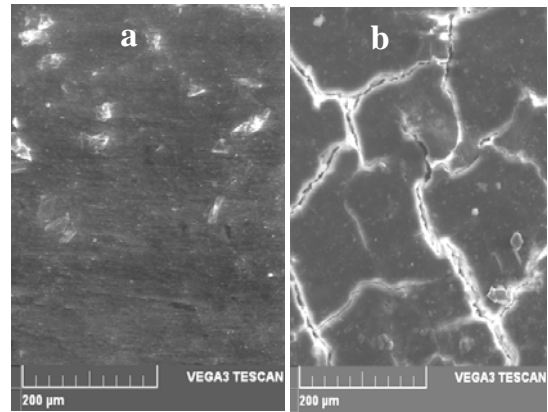


Figura 4. Aspecto de la superficie exterior de los cables coaxiales vista al microscopio electrónico de barrido, a) cable nuevo y b) cable irradiado en el RP-10.

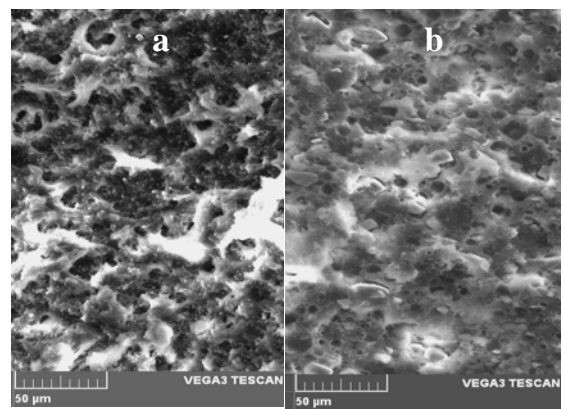


Figura 5. Micrografías MEB de fracturas de aislante a) nuevo y b) luego de un año de irradiación.

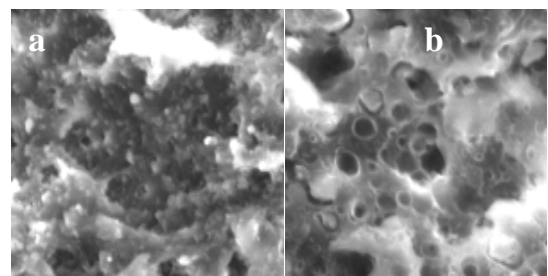


Figura 6. Ampliaciones de la Figura 5 fracturas producidas en el aislamiento exterior de cables coaxiales a) cable nuevo y b) cable irradiado en el RP-10.

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.

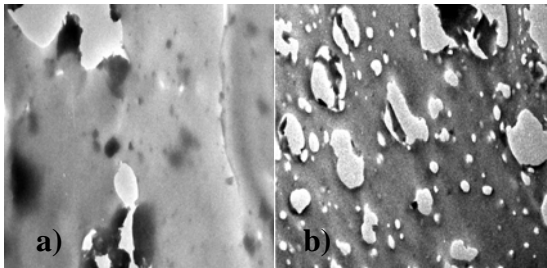


Figura 7. Micrografías electrónicas a ampliaciones idénticas de secciones del aislamiento exterior de cable coaxial, a) cable sin irradiar, b) cable irradiado.

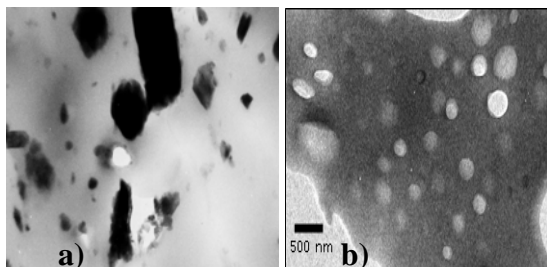


Figura 8. Micrografías electrónicas a ampliaciones idénticas de secciones del aislamiento exterior de cable coaxial, a) cable sin irradiar, b) cable irradiado.

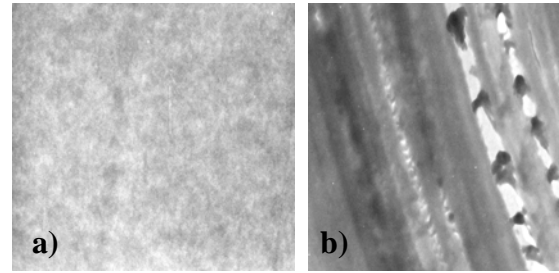


Figura 9. Micrografía TEM, de plásticos aislantes interior de cable coaxial, a) nuevo y b) plástico irradiado.

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.

Alineamiento óptico y caracterización del haz neutrónico radial No. 4 del reactor nuclear RP-10

Alcides López^{1,2,*}, Javier Gago¹

¹ Dirección de Investigación y Desarrollo, Instituto Peruano de Energía Nuclear, Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

² Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Ingeniería. Av. Tupac Amaru No. 210, Lima 25, Perú

Resumen

Se muestra el proceso de alineamiento del eje óptico del dispositivo neutrográfico y el eje óptico del haz de neutrones provenientes del ducto radial número 4 del Reactor Nuclear RP-10 aplicando métodos ópticos, asistidos por la técnica radiográfica que facilita la ubicación del eje óptico del haz de neutrones en el espacio mediante registro fotográfico permitiendo posteriormente el alineamiento del neutrógrafo. En el proceso, la ubicación y orientación de la fuente depende de la colocación de los elementos combustible y del ducto inmerso entre el núcleo y el colimador en la pared del Reactor Nuclear, esta parte del proceso depende del personal de operación del reactor quienes calculan de manera óptima el quemado del combustible y hacen el análisis de la distribución espacial de la radiación. La medición de la potencia y finalmente el ajuste del eje óptico del haz de neutrones con el eje óptico del instrumento son mostrados en este trabajo que permitirá hacer experimentos de neutrografía, difracción de neutrones, espectroscopia de neutrones, óptica de neutrones entre otros.

Optical alignment and characterization of the radial neutron beam duct number 4 of de Nuclear Reactor RP-10

Abstract

We show the process of optical axis alignment of the neutrography device and the optical axis of the neutron beam from the radial duct number 4 of the RP-10 Nuclear Reactor, using optical methods, assisted by radiography, which facilitates the location of the optical axis of the neutron beam by the photographic recording of the space, allowing the alignment of the neutrography plate later. In the process, the location and orientation of the source depends on the placement of the fuel elements immersed inside the duct and between the core and the collimator in the Nuclear Reactor wall. This part of the process depends on the reactor operating personnel who calculate optimally the fuel burn and perform the analysis of the spatial distribution of radiation. The power measurement and the final adjustment of the optical axis of the neutron beam with the optical axis of the instrument are shown in this paper, which will make possible neutrography experiments, as well as neutron diffraction, neutron spectroscopy and neutron optics among others.

1. Introducción

Existen sistemas ópticos que funcionan con radiación de neutrones, como son los difractómetros de ángulo doble (configuración Bragg Brentano) o de tiempo de vuelo (TOF), espectrómetros, neutrógrafos, etc. que como cualquier sistema óptico, requieren de una instalación apropiada para que tenga un funcionamiento eficiente, dicha instalación consiste básicamente en el alineamiento óptico, cuyo procedimiento consta de: 1) ubicación de la fuente, 2) orientación de la fuente, 3) análisis de la distribución espacial de la radiación, 4) medición de la potencia y 5) coincidencia del eje óptico del haz de radiación con el eje

óptico del instrumento [1]. Dado las características de la radiación neutrónica producida por el reactor nuclear RP-10 del Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN), la caracterización óptica del haz de neutrones del ducto No. 4 ha requerido de técnicas radiográficas para la localización espacial del eje del haz neutrónico, seguido de la medición del flujo neutrónico con la debida aplicación de los sistemas de protección y seguridad radiológica. En la parte de las aplicaciones, los difractómetros de neutrones dan información de la estructura cristalina que a diferencia de la difracción de

* Correspondencia autor: alopez@ipen.gob.pe

rayos X, dan información adicional de sus propiedades magnéticas, las espectroscopías dan información principalmente de la composición elemental, de otro lado la neutrografía o radiografía neutrónica es una técnica de ensayo no destructivo que permite ver o fotografiar el interior de estructuras sólidas por medio de un haz de neutrones, juega un importante rol en la medicina, biología y ciencia de los materiales aportando importantes aplicaciones en forma de imágenes [1-3]. Los materiales orgánicos o el agua atenúan fuertemente a los neutrones debido a su alto contenido de hidrógeno, mientras que muchas estructuras hechas con aluminio o acero resultan casi transparentes, muestra además una alta contrastación de materiales con similares densidades [1-5].

2. Experimental

El reactor nuclear RP-10 del IPEN consta, en su primera parte, de un núcleo **N** sumergido en una piscina conteniendo agua como moderador. El conducto de irradiación número 4 consta de un colimador cónico de bajo ángulo con sus paredes recubiertas de cadmio (Figura 1), una vista en perspectiva del neutrógrafo puede ser apreciada en la Figura 2 donde se muestra en primer plano los muros de protección. El colimador va dentro de la piscina y puede ser desplazado en forma vertical desde su posición normal de descanso, que está a 50 cm a arriba de la posición de irradiación, movimiento que se hace por medios electro-mecánicos (Figura 3). La segunda parte del colimador consta de dos cilindros recubiertos de cadmio cuyo objetivo es absorber los neutrones térmicos no colimados que salen de la base del colimador, al final de dichos cilindros se encuentra un grueso obturador de plomo y cadmio (**C** en la figura 3), que cubre la apertura del conducto y es controlado por un sistema neumático, inmediatamente después de la compuerta se ubica el sistema neutrográfico, tal como lo apreciamos en la figura 4. El blindaje con el exterior del conducto está conformado por paredes de hormigón, formando un recinto cerrado sin techo en cuyo interior se encuentra un atenuador de neutrones **A**, entre este atenuador y el núcleo **N** se encuentran la placa fotográfica y su respectiva placa scintiladora **P**, el objeto a ser neutrografiado **M** y la compuerta **C**.

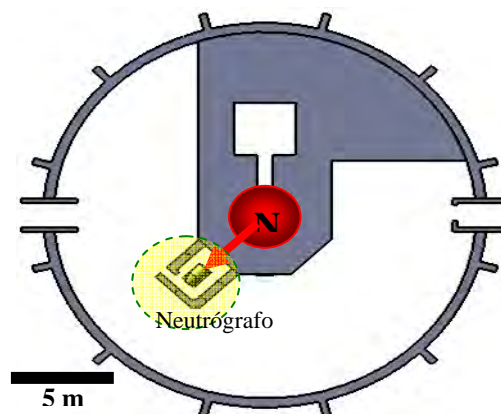


Figura 1. Vista superior en corte del reactor nuclear RP-10 e instalaciones de neutrografía, **N** es el Núcleo.

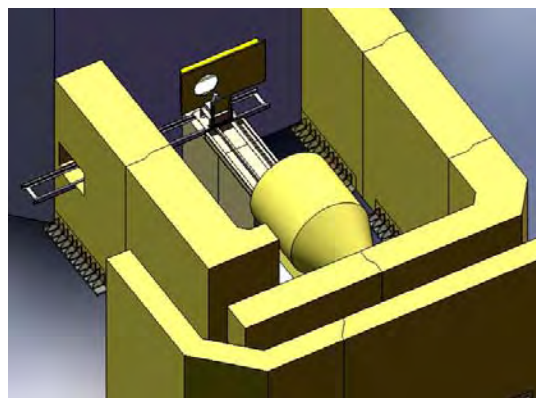


Figura 2. Vista panorámica del neutrógrafo asociado al reactor nuclear RP-10, rodeado de sus paredes de protección radiológica.

3. Resultados y Discusión

Para el alineamiento óptico del haz de neutrones se ha hecho uso de una guía de alineamiento tubular, tal como se aprecia en la Figura 5, colocada cerca del eje óptico y se han registrado una neutrografía al inicio y otra al final, (Figura 6) con la finalidad de conseguir el paralelismo del rayo neutrónico con el eje del dispositivo neutrográfico.

La guía de alineamiento consiste de un tubo de aluminio de 44 cm de longitud, 21 y 16 mm de diámetro externo e interno respectivamente, en la entrada del haz de neutrones tiene adosado un cilindro de plomo de 50 mm de diámetro exterior, en la salida tiene incrustado un cilindro de plomo de 20 mm de longitud y con un orificio en el eje de 3.5 mm, tal como se puede apreciar en la Figura 5.

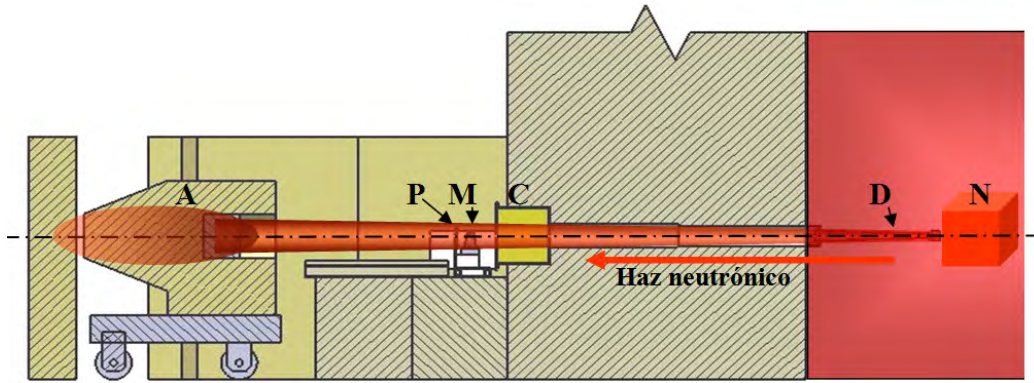


Figura 3. Vista esquemática del sistema óptico del neutrógrafo, mostrando el eje óptico y los componentes ópticos principales, Núcleo N, Ducto D, Compuerta C, Muestra M, Placa fotográfica P y Atenuador de neutrones A.



Figura 4. Instalación de una cámara de ionización en la salida del haz de neutrones del RP-10 para la correspondiente prueba neutrográfica, delante se aprecia parte del atenuador de neutrones A.

La neutrografía de la proyección de la guía de alineamiento muestra que la salida se encuentra desviada 6 mm hacia abajo y 5 mm hacia la izquierda con respecto al orificio de entrada (Figura 6a), en la segunda neutrografía se ha corregido el desalineamiento notándose que la salida ahora tiene un corrimiento de 1 mm hacia arriba, con lo cual nos encontramos muy próximos del alineamiento aceptable para distintos ensayos, especialmente de óptica de neutrones.

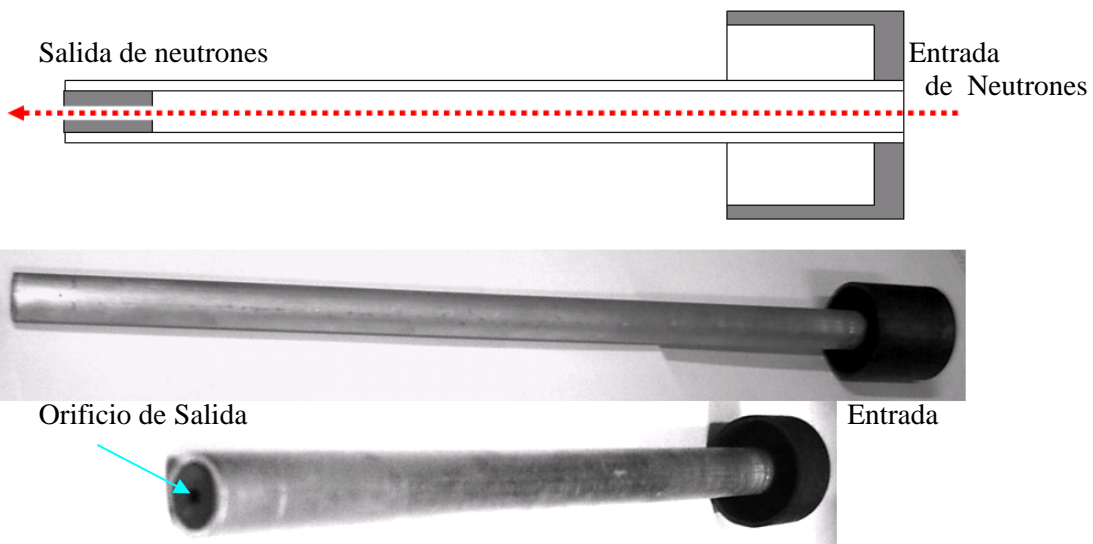


Figura 5. Guía de alineamiento tubular del haz neutrónico, el haz va de derecha a izquierda. a) Corte esquemático, b) Vista lateral y c) Vista mostrando la salida del extremo izquierdo.

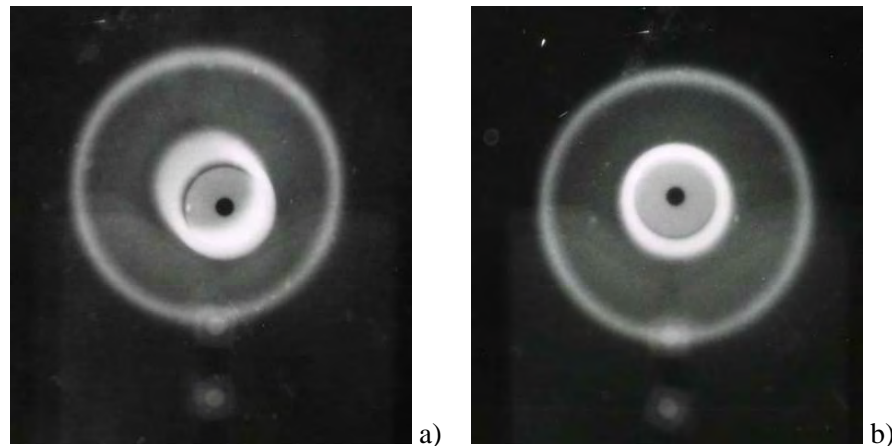


Figura 6. Neutrografías de la proyección de la guía de alineamiento, a) Sin alineamiento y b) Con alineamiento.

La caracterización del haz de neutrones de la salida número 4 del reactor RP 10, Figura 4, en donde se puede observar la compuerta de salida de los neutrones (flecha azul), en esta disposición se obtuvieron dos neutrografías en las que se tuvo por conveniente hacerlas fuera del centro, con el fin de estimar la distribución radial del flujo de neutrones a una distancia de 40 cm de la salida del ducto, de manera que también estuviera incluida la zona de penumbra o dispersión, para dicha caracterización se hizo el centrado de los arcos de circunferencia usando la opción de centrado del software “Diffraction”, la Figura 7a corresponde al registro neutrográfico de un sector del haz de neutrones con un flujo aproximado de $6 \times 10^6 \text{ n/cm}^2\text{s}$, se aprecia el centro del haz C y flechas radiales, la Figura 7b muestra la distribución del flujo neutrónico de un sector del haz y la Figura 7c presenta el perfil 3D de la distribución del flujo neutrónico del borde del mismo sector del haz, los colores rojo y marrón representan el flujo más elevado mientras que en el borde y hacia fuera encontramos ubicados a los colores verde azul y violeta como los flujos más bajos correspondiente a la zona de penumbra, disminuyendo hasta extinguirse suavemente con una tendencia lineal hasta un 70 % y alcanzando un radio de 14,5 cm, la tercera Zona III corresponde a la penumbra o dispersión alta, abarca desde un radio de 14,5 cm hasta decaer casi completamente con una tendencia lineal hasta un radio de 17 cm, la Tabla 1 resume las características del haz neutrónico.

Para la medición del perfil de intensidad radial promedio se aplicó el software ImageJ

cuyo resultado de promediar 5 perfiles radiales obtenidos en la neutrografía se muestra en la Figura 7a, dicho perfil se muestra en la Figura 8, donde se aprecian tres zonas, la Zona I que corresponde a un haz de 7.5 cm de radio de flujo neutrónico muy regular, la Zona II es la zona de dispersión y envuelve a la Zona I decayendo el flujo neutrónico.

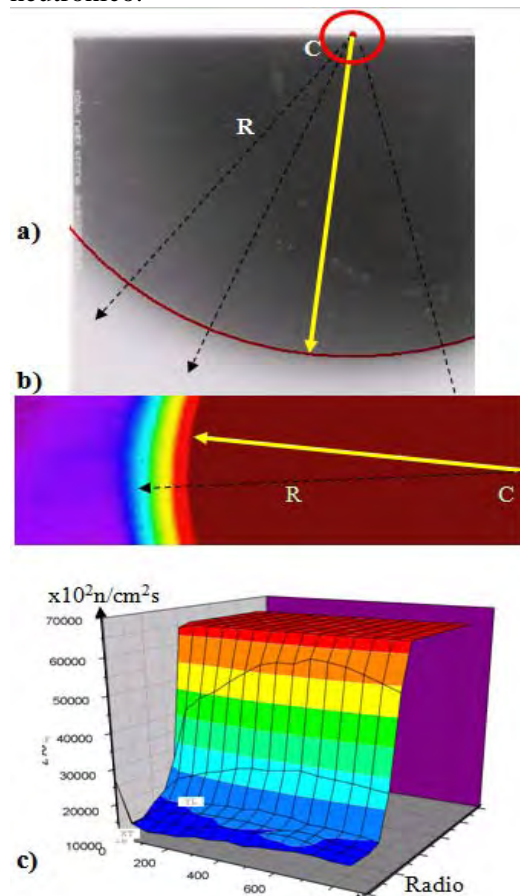


Figura 7. a) Neutrografía del haz, b) mapeo del flujo neutrónico de un sector del haz y c) perfil 3D de flujo neutrónico de un sector del haz.

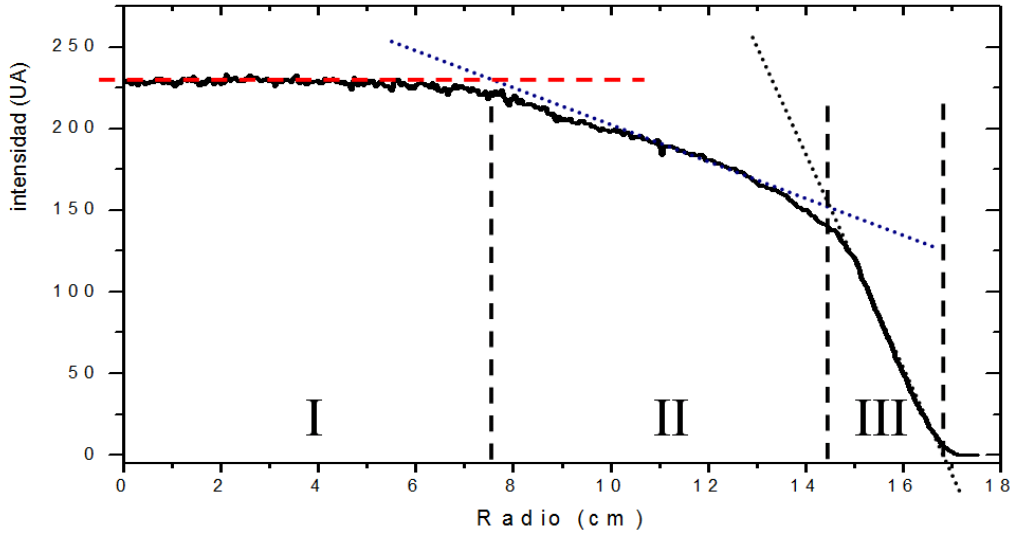


Figura 8. Perfil radial promedio de intensidades del haz de neutrones a una distancia de 40 cm de la salida del ducto No. 4 del reactor RP-10 operando a 10 MW.

A fin de evitar efectos de la radiación gamma que frecuentemente acompaña a la radiación neutrónica interfiriendo con las neutrografías, debido a que tienen efectos diferentes con los neutrones se ha procedido a evaluar el grado de adición de señal sobre la de los neutrones. En la Figura 9 se aprecia dos zonas de una neutrografía, la más oscura corresponde a la zona sin filtro de radiación gamma, la más clara ha sido filtrada mediante una plancha de plomo de 12 mm de espesor y la razón de absorción de estos rayos ha resultado ser del 22 %, debiendo considerarse que el restante 78 % corresponde a la radiación neutrónica principalmente.

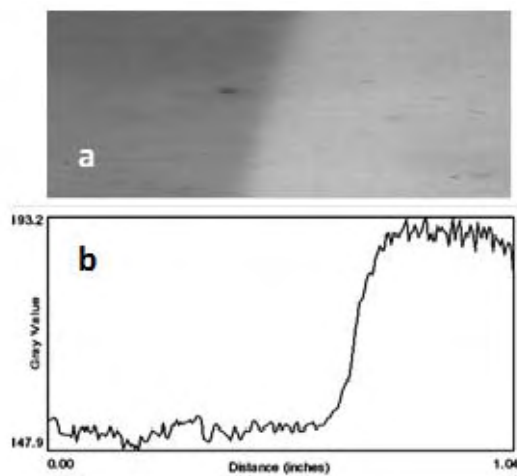


Figura 9. a) Registro fotográfico del haz de neutrones sin y con filtro de rayos gamma y b) Espectro de absorbancia de neutrones y rayos gamma.

Tabla 1. Distribución del flujo neutrónico en el haz No. 4 del reactor RP-10 operando a 10 MW.

Zona	Radio de zona (cm)	Flujo neutrónico $10^6 \text{ n/cm}^2\text{s}$	Tendencia
I	0 a 7.5	6	Constante
II	7.5 a 14.5	6 a 4.2	Lineal
III	14.5 a 17	4.2 a 0	Lineal

4. Conclusiones

El registro neutrográfico del haz de neutrones ha mostrado ser una gran herramienta para poder alinear un haz de neutrones con el eje de algún dispositivo óptico, que trabaje con neutrones, tales como un neutrógrafo, un difractómetro, un espectrómetro o simplemente un banco óptico. La caracterización del haz de neutrones nos muestra la distribución radial de la intensidad del mismo, en el caso del haz radial No. 4 del reactor RP-10 se observa gran homogeneidad hasta un diámetro de 15 cm, atenuándose ligeramente hasta un diámetro de 29 cm y extinguiéndose completamente a diámetros mayores a 32 cm. La presencia de la radiación gamma que acompaña al haz de neutrones también puede ser filtrado usando una placa de plomo de 12 mm de espesor.

5. Agradecimiento

Al Físico Ivan Lovato por la preparación del software Diffraction usado en el centrado del haz neutrografiado.

6. Referencias

[1] International Atomic Energy Agency. Neutron Imaging: A Non-destructive tool for materials testing. IAEA-TECDOC-1604. Vienna: IAEA; 2004.

[2] Shaikh AM. Development of neutron and x-ray detectors and neutron radiography at Barc. BARC Newslwttter. 2006 Oct; 273:8-23.

[3] Richards Wade J, Tuttle Michael J, Ulowetz, Kirsten, Mcgee Robert. Real-Time Neutron Radiography - Applications For The Automotive Industry. UC Davis: UCD

McClellan Nuclear Radiation Center. Retrieved from:

<http://www.escholarship.org/uc/item/35t9b89n>. 2003.

[4] Ravello Yuri. Caracterización y puesta a punto de la facilidad de neutrografía del reactor Nuclear RP-10. [Tesis Licenciado en Ciencias, mención Física]. Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería; 2001.

[5] Munive Marco. Caracterización en energía de un haz de neutrones térmicos. [Tesis Licenciado en Ciencias, mención Física]. Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería; 2000.

Evaluación de la disponibilidad del reactor RP-10 frente al cambio de las condiciones de suministro eléctrico del Centro Nuclear “RACSO”

Rodion Santivañez*, Rolando Arrieta

División de Reactores, Instituto Peruano de Energía Nuclear, Lima, Perú

Resumen

En este estudio se evalúa el impacto en la disponibilidad del reactor nuclear RP-10, frente al cambio en el nivel de tensión (a 10 kV) y nueva localización del punto de medición y suministro (PMI) propuesto por la empresa suministradora en el sistema de alimentación eléctrica al Centro Nuclear RACSO. Esta evaluación se sustenta en una memoria de cálculo que determina los nuevos niveles de falla del sistema eléctrico del reactor, incluyendo el cálculo de las corrientes de cortocircuito en las principales subestaciones de media tensión y tableros de baja tensión para compararlos con los de diseño, así como la evaluación del nuevo alimentador del suministro. La modificación propuesta no introduce nuevos riesgos y nos permite ahorros significativos en cuanto al mantenimiento y soporte de la línea de transmisión que existe actualmente.

Abstract

In this paper we evaluate the impact on the availability of RP-10 nuclear reactor compared to the change in the voltage level (10 kV) and new location of the measurement point and supply (PMI) proposed by the supplier company, in the power system of the RACSO Nuclear Center. This assessment is based on a calculation that determines the new levels of the Electric System failure of the reactor, including the calculation of short circuit currents in the main medium voltage substations and low voltage panels, for comparison with the design and as evaluation of new supply feeder. The proposed amendment does not introduce new risks and allows significant savings in terms of maintenance and support of the transmission line that currently exists.

1. Introducción

La capacidad de producción del reactor nuclear RP-10 está en función directa del número de fisiones que se generan en su núcleo, proceso que además de generar un flujo de neutrones, produce calor [1]. Si bien las condiciones de una parada segura (iluminación, instrumentación, ventilación, confinamiento, control de accesos, entre otros) y su mantenimiento en tal estado está garantizada por sistemas eléctricos de emergencia internos y redundantes [2], la disponibilidad de la instalación para procesos productivos en cualquier modo de operación [3], requiere necesariamente el suministro de energía eléctrica externa para mantener en funcionamiento el sistema de refrigeración [4] y poder evacuar el calor generado en el núcleo del reactor.

La alimentación eléctrica externa al Centro Nuclear RACSO está asegurada mediante un contrato de suministro [5], que actualmente se tiene previsto modificar [6,7], variando el nivel de tensión (10 kV) y el punto de suministro y medición (PMI).

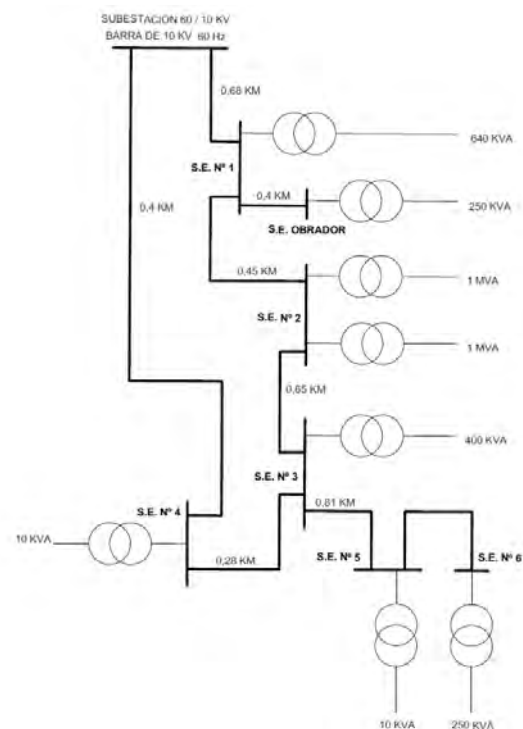


Figura 1. Diagrama Unifilar: sistema eléctrico.

* Correspondencia autor: rsantivanetz@ipen.gob.pe

Este artículo presenta la evaluación del impacto en la disponibilidad del reactor RP-10 considerando las nuevas condiciones propuestas y que han motivado el desarrollo de la memoria de cálculo [8,9]. En la Figura 1 se muestra el diagrama unifilar del sistema en estudio.

2. Materiales y Método

2.1 Análisis de intensidad de cortocircuito

En un estudio previo [8] se considera que si la magnitud de la corriente de cortocircuito trifásico simétrico (I_{cc3F}) es suficiente para comprobar la actuación correcta de los elementos de protección, entonces se aplican las hipótesis usuales incluyendo la impedancia sub-transitoria del orden del 20 % -por el comportamiento en los primeros ciclos durante un corto circuito- de los motores asíncronos de jaula simple.

2.2 Cálculo de Corrientes de Cortocircuito Trifásico Simétrico (I_{cc3F}) [10,11]

Del análisis de cargas representada en la Figura 1, se considera que la única carga representativa involucrada en el tema, equivale a 100 kW alimentado a partir de la Sub Estación N° 1 (SE 1). Otras cargas, cables de conexionado y componentes de la red no son tomadas en cuenta en el cálculo para simplificar el circuito.

2.2.1 Circuito Simplificado (CS) de la red eléctrica del reactor RP-10

En la Figura 2 se ilustran los puntos de falla, señalizados del 1 al 6; de los cuales, los puntos del 1 al 3 corresponden a los tableros de distribución en Baja Tensión (BT) y los puntos del 4 al 6 a las barras principales de las Sub estaciones (SE) en media tensión.

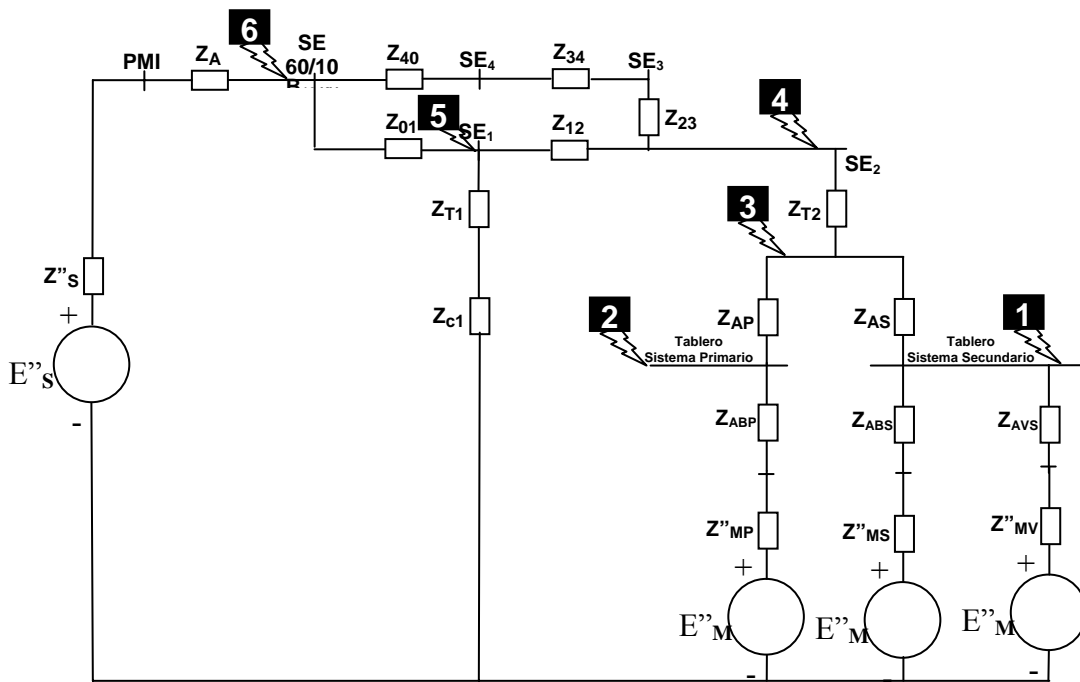


Figura 2. Circuito Simplificado de la red eléctrica del reactor RP-10.

2.2.2 Selección: Valores por unidad (p.u.)

De acuerdo con [12], se selecciona:

- Potencia Aparente Base = $S_B = 1 \text{ MVA}$
- Tensión Base MT = $V_{BMT} = 10 \text{ kV}$
- Tensión Base BT = $V_{BBT} = 0,23 \text{ kV}$

Y se determina:

La Intensidad base MT:

$$I_{BMT} = \frac{S_B}{(\sqrt{3})V_{BMT}} = \frac{1000}{(\sqrt{3})10} = 57,735 \text{ A}$$

MT:

La Impedancia base MT:

$$Z_{BMT} = \frac{V_{BMT}^2}{S_B} = \frac{10^4}{1} = 100 \text{ Ohm}$$

Y para baja tensión:

La Intensidad de corriente base:

$$I_{BBT} = \frac{S_B}{(\sqrt{3})V_{BBT}} = \frac{1000}{(\sqrt{3})0,23} = 2510,218 \text{ A}$$

La Impedancia Base BT:

$$Z_{BBT} = \frac{V_{BBT}^2}{S_R} = \frac{0,23^2}{1} = 0,0529 \text{ Ohm}$$

2.2.3 Cálculo de Impedancias del CS (p.u):

Según lo señalado en la norma[13], considerando la potencia de cortocircuito, tensión de suministro, máxima demanda inicial, factor de potencia, características y longitudes de los cables [14], además de los ensayos realizados [15, 16, 17] se encontraron los valores que se muestran en la Tabla 1. Complementariamente se tiene:

- Sub transitoria: $Z''_s = 0 + j 0,011 \text{ p.u.}$
 - Trafo de SE1: $Z_{T1} = 0 + j 0,0921875 \text{ p.u.}$
- Equivalentes (p.u.):

Tabla 1. Resistencia y reactancia de alimentadores.

Simbolo	Longitud (km)	Especificación de cable	Resistencia (p.u.)	Reactancia (p.u.)
ZA	0.1	N2XSY	0.000342	0.0001426
Z01	0.68	NKY	0.00125324	0.0007242
Z12	0.45	NKY	0.00082935	0.00047925
Z23	0.65	NKY	0.00119795	0.00069225
Z34	0.28	NKY	0.00051604	0.0002982
Z40	0.4	NKY	0.0007372	0.000426
ZAP	0.08	NYN	0.05897921	0.0526276
ZAS	0.05	NYN	0.02095938	0.02484556
ZABP	0.01	NYN	0.02873346	0.00833648
ZABS	0.02	NYN	0.03024575	0.01964083
ZAVS	0.07	NYN	0.52930057	0.11909263

- Carga (BT)- SE1: $Z_{c1} = 7,41096 + j 3,58929$
- Banco trafos - SE2: $Z_{T2} = 0 + j 0,032$
- Primario: $Z''_{BP} = 0.249321 + j 0.47194862$
- Secundario: $Z''_{BS} = 0,18008 + j 0.381$
- Ventiladores: $Z''_{VS} = 1,274354 + j 2,218529$

2.2.4 Circuito reducido

Considerando las impedancias equivalentes a las tres (3) unidades de bombeo/ventilación funcionando en paralelo, se debe sumar las impedancias en serie y reducir el circuito a partir de la transformación Δ en Y.

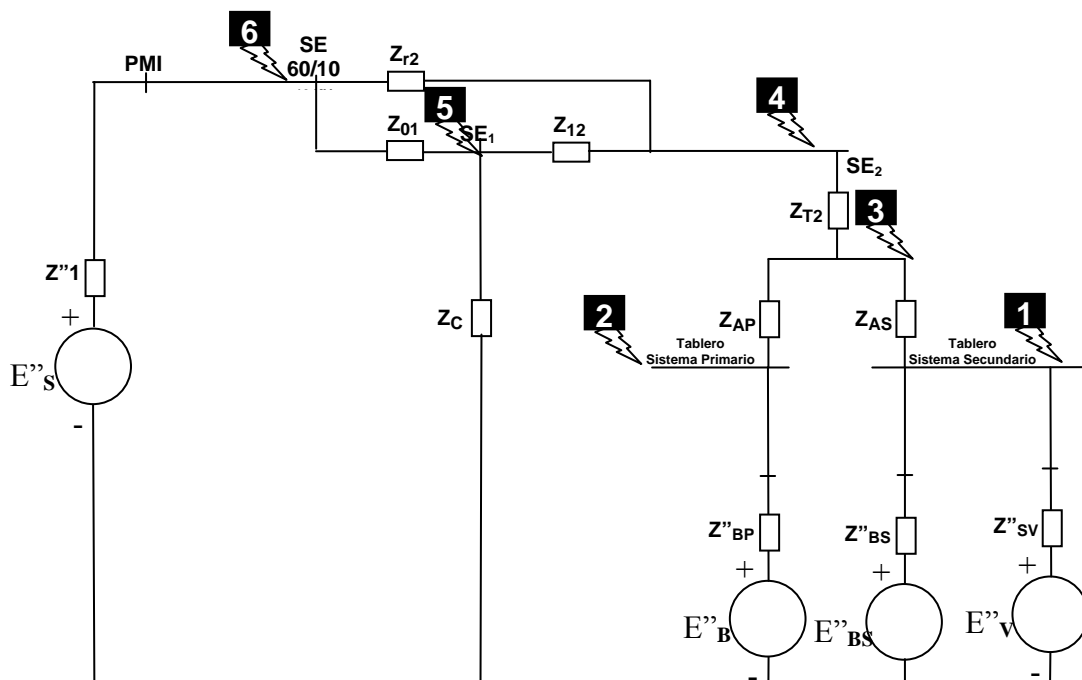


Figura 3. Circuito reducido de la red eléctrica del reactor RP-10.

2.2.5 Cálculo: Corriente de cortocircuito

Según lo establecido en [8], la corriente de cortocircuito trifásico simétrico inicial en (A) es obtenida a partir del circuito de Thevenin equivalente y la relación:

$$I_{CC3F} = \frac{c \cdot E_{TH}}{\sqrt{3} |Z_{TH}|} \dots\dots (\alpha)$$

Donde:

- c = Factor de tensión; por norma:
- c = 1,1, si tensiones AT es de 1 a 230 kV
- c = 1,0, si tensiones BT es de 220 a 440 V
- E_{TH} = Tensión de línea a línea del sistema en el punto de falla
- Z_{TH} = Modulo de impedancia equivalente de Thevenin en Ohm

2.2.6 Cálculo: Corriente pico

El valor máximo de intensidad de corriente I_p se establece afectando a la intensidad de corto circuito por un factor “K”, según [10] que:

$$I_p = K \cdot \sqrt{2} \cdot I_{CC3F} \dots\dots (\beta)$$

Donde: K = Factor que disminuye con el aumento de la relación (R/X) [10]: (Figura 4)

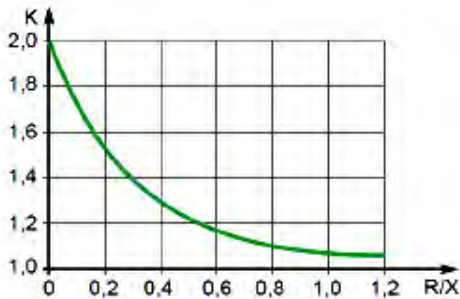


Figura 4. Factor “K” en función de R/X del Z_{TH}.

2.2.7 I_{cc3F} e I_p para cada punto

En cada punto se calcula la impedancia equivalente de Thevenin, en barras del sistema desde el punto de falla considerado hacia el interior de la red, cortocircuitando las fuentes de tensión, como esta mostrado en la Figura 5, para luego aplicar la relaciones (α) y (β) y hallar la corriente de cortocircuito y el valor de cresta, sucesivamente.

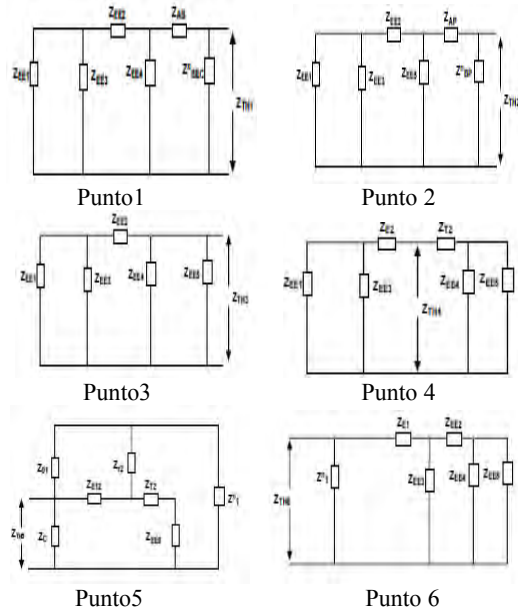


Figura 5. Circuitos considerados para cada punto.

* En el punto 1: I_{cc13F}.

$$Z_{TH1} = 0,0208127582 + j 0,0548058093 \text{ p.u.}$$

Considerando el valor base (0.0529 Ω):

$$Z_{TH1} \text{ (p.u.)} \cdot Z_{BBT} \text{ (}\Omega\text{)} = Z_{TH1} \text{ (}\Omega\text{)} \text{ en su expresión fasorial:}$$

$$Z_{TH1} = 0,003101243 \angle 69,20549619^\circ \Omega$$

De la relación R/X = 0,379; entonces K=1,32

Y luego de aplicar (α) y (β) tendremos:

$$I_{cc13F} = 40,956 \text{ kA, y } I_{p1} = 76,44 \text{ kA}$$

De modo similar se aplica para los otros cinco puntos y los resultados son mostrados en la Tabla 5 (comparativo de resultados: I_{cc3F}).

Tabla 2. Intensidades máximas admisibles (A) - Servicio permanente y con AC - Cables unipolares aislados de hasta 18/30 kV enterrados.

Sección (mm ²)	EPR		XLPE
	Cu	Al	Cu
25	125	96	130
35	145	115	155
50	175	135	180
70	215	165	225
95	255	200	265
120	290	225	300
150	325	255	340
185	370	285	380

2.3 Evaluación de la capacidad del cable de acometida en 10 kV

2.3.1 Intensidad máxima en el conductor

La intensidad máxima admisible está en función de la sección del conductor y del tipo de aislamiento que usa de acuerdo con [18] y que está basado en la Norma UNE 21144. En la Tabla 2 mostramos la intensidad buscada en función de su sección y del tipo de aislamiento, y en la Tabla 3 las temperaturas máximas en servicio permanente y en cortocircuito en función del aislamiento y régimen de carga.

Tabla 3. Cables aislados con aislamiento seco Temperaturas máximas asignadas (°C).

Tipo de aislamiento seco	Condiciones	
	Servicio permanente (θs)	Corto circuito(θcc) (t≤ 5s)
Poli cloruro de vinilo (PVC)* S ≤ 300 mm ² S > 300 mm ²	70 70	160 140
Polietileno reticulado (XLPE)	90	250
Etileno – propileno (EPR)	90	250
Etileno – propileno de alto modulo (HEPR)	105 ** 90***	250 250

*Solo para instalaciones de tensión hasta 6 kV

** Si $U_0 / U \leq 18 / 30$ kV

*** Si $U_0 / U > 18 / 30$ kV

El alimentador está proyectado con una corriente admisible de 225 A y temperaturas entre 90 y 250 °C, como máximo.

2.3.2 Duración admisible de cortocircuito

Considerando un proceso cuasi adiabático de la Norma UNE 21192, reproducimos la Tabla 4 que nos representa la densidad admisible de corriente de cortocircuito en función del tipo de aislamiento en el punto 6 es:

$$D_{cc} = I_{cc} / S = 5910/70 = 84,42 \text{ A/mm}^2$$

Interpolando valores obtenemos un tiempo de duración de:

$$t_{cc} = 2,85 \text{ s.}$$

En la tabla 5 se muestran los valores de las corrientes de cortocircuito (I_{cc3F}).

Tabla 4. Densidad máxima admisible: corriente - corto circuito (A/mm²) para conductores de cobre.

Tipo de aislamiento	Duración del corto circuito, t_{cc} (s)							
	0.3	0.5	0.6	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
PVC S ≤ 300 mm ² S > 300 mm ²	210 187	162 145	148 132	115 102	93 83	81 72	72 65	66 59
XLPE,EPR y HEPR a > 18/30 kV	261	202	184	143	116	101	90	82
HEPR a ≤ 18/30 kV	246	190	174	135	110	95	85	78

a = U_0 / U

Tabla 5. Valores Comparativos de resultados.

PUNTO	I _{cc 3F}		I'cc 3F		Δ -Variación (%)	
	Inicial	Pico	Inicial	PICO	Inicial	Pico
1	40,96	76,44	32	81,5	27,98	-6.2
2	26,07	42,39	18,16	46,23	43,56	-8.3
3	63,95	156,7	52	132,4	22,98	18.35
4	5,57	12,61	4,3	-	29,62	-
5	5,63	13,69	4,07	-	38,32	-
6	5,91	15,46	4,56	-	29,60	-

3. Resultados y discusión

Se puede apreciar que el nuevo PMI, propuesto en este estudio, introducirá una mayor exigencia en los niveles de falla del sistema con respecto a los niveles utilizados para el diseño. Sin embargo, las variaciones porcentuales (Tabla 5) son aceptables, en la medida que el diseño ha tomado en cuenta esa eventualidad al adoptar factores de seguridad conservativos para el cálculo de los esfuerzos mecánicos que soportan los conductores y porta barras, así como en los cálculos térmicos asociados con tiempos de cortocircuitos de 1 segundo de duración [19, 20, 21].

Se han identificado las siguientes causas de las variaciones reportadas:

- El diseño de la red interna ha tomado como dato de partida una potencia de cortocircuito de 60 MVA, menor a la propuesta por la empresa Edelnor S.A.A. que es de 100 MVA.
- El diseño implementado no ha tomado en consideración el procedimiento establecido por la Norma IEC 60909-0, en lo que se refiere al aporte de los motores asíncronos a las corrientes de cortocircuito. En el cálculo desarrollado se ha tomado en consideración, las reactancias subtransitorias de los motores

acoplados a las bombas y ventiladores que constituyen las cargas críticas para la seguridad de la operación del reactor nuclear.

El alimentador del tipo N2SXY 3-1 x 70 mm² proyectado para conectar el suministro a partir del nuevo punto de medición (PMI) a la celda de llegada en 10 kV de la SE Principal, tiene la capacidad de corriente nominal para condiciones normales de funcionamiento, habiéndose verificado por cálculo que soportaría un cortocircuito de hasta 2,85 segundos de duración en la red MT.

Considerando ampliaciones futuras de la máxima demanda de la instalación y del necesario margen de seguridad correspondiente, se ha estimado que dicho alimentador es suficiente para todos los efectos prácticos.

En lo que respecta a los cables alimentadores de la red interna, actualmente en uso, tanto en media como en baja tensión (MT, BT), se ha verificado que dicha infraestructura tiene la capacidad para absorber los niveles de falla previstos por el nuevo PMI y además que son suficientes para las demás condiciones de operación bajo régimen normal y/o sobrecarga, como es el caso de las posibles caídas de tensión en los principales alimentadores.

Este estudio deberá ser complementado con una comprobación de la selectividad (coordinación de los dispositivos de corte automático) de las protecciones, para que un defecto ocurrido en cualquier punto de la red, sea eliminado por el dispositivo colocado inmediatamente aguas arriba del defecto, y solo por él, sin afectar la disponibilidad del sistema.

4. Conclusiones

De los resultados obtenidos podemos concluir:

- Los cambios en el sistema no afectará adversamente a las características de seguridad de otros componentes importantes para la seguridad bajo ninguna condición de operación.
- El sistema eléctrico modificado contribuirá a mejorar las funciones de seguridad para todas las condiciones de operación comparadas con su diseño original.

- La modificación propuesta en el presente estudio no introduce nuevos riesgos como consecuencia de su implementación ya que los límites de indisponibilidad impuestos para el sistema eléctrico permitirán mantener la fiabilidad requerida.

- El nuevo PMI permitirá un ahorro significativo en el costo que significa el mantenimiento del sistema de transmisión eléctrica desde el actual punto de entrega: El Zapallal hasta el Centro Nuclear "RACSO", así como el costo del plan de contingencia operativo de dicho sistema.

5. Referencias

- [1] Glasstone S, Sensonske A. Ingeniería de reactores nucleares. Barcelona: Ed. Reverte; 1975.
- [2] Instituto Peruano de Energía Nuclear. Informe de seguridad del RP-10. Capítulo VI Sistema de refrigeración y conexos. Dirección de Producción. Lima: IPEN; Agosto 1992. [Informe interno].
- [3] Instituto Peruano de Energía Nuclear. Informe de seguridad del RP-10. Capítulo VII Características de seguridad e ingeniería de refrigeración y conexos. Dirección de Producción. Lima: IPEN; Agosto 1992. [Informe interno].
- [4] Instituto Peruano de Energía Nuclear. Informe de seguridad del RP-10. Capítulo IX El sistema eléctrico. Dirección de Producción. Lima: IPEN; Agosto 1992. [Informe interno].
- [5] Empresa de Distribución Eléctrica de Lima Norte, Instituto Peruano de Energía Nuclear. Contrato de suministro eléctrico N° 0712703 Lima, 2007. [Informe interno].
- [6] Empresa de Distribución Eléctrica de Lima Norte. Carta GC-SMNR-3731-2011. Cambio de nivel de tensión Suministro N° 0712703. 2001. [Informe interno].
- [7] Empresa de Distribución Eléctrica de Lima Norte. Carta GC-SMNR-949170-2011. Cambio de nivel de tensión Suministro N° 0712703. Adjunto: Presupuesto GOPI-105-2011. 2001. [Informe interno].
- [8] Santivañez R. Niveles de cortocircuito y verificación de la selectividad a partir del nuevo PMI en 10 kV del sistema eléctrico del reactor RP-10. Código Documento DRN-DGC-MC-001-2. [Informe interno].

- [9] Comelsa Superconcreto Asociados. Sistema de Transmisión 60 kV Zapallal-Huarangal. Tomo III: Cálculos Justificativos, Parte 2: Niveles de Falla del Sistema. Marzo 1980. [Informe interno].
- [10] De Metz-Noblat, Dumas F, Thomasset G. Cálculo de corrientes de cortocircuito. Cuaderno Técnico 158. Schneider Electric. Barcelona, setiembre 2000.
- [11] Márquez Gelabert, Ignlberg Massi, Pereyra Maccarone. Cálculo de cortocircuito para diseño de tableros. Código Doc: 382-220-AK200-001 Rev.1. INVAP S.E. Investigación Aplicada Sociedad del Estado. Diciembre 1983.
- [12] Duarte O. Apuntes de Cátedra. Máquinas e instalaciones eléctricas. Método por unidad, teoría y práctica [monografía en Internet]. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Rio Grande, Departamento de Electrónica. Disponible en URL: <http://www.frg.utn.edu.ar/Apuntes/maquinas/Metodo%20por%20unidad.pdf>. Consultado
- [13] International Standard Organization (ISO). IEC 60909-0. Short-circuit currents in three-phase a.c. systems. Part 0: Calculation of currents. 1st edition. Génève, Suiza: ISO; 2001.
- [14] INDECO Empresa Nexans. Tabla de datos técnicos (parámetros eléctricos) para cables N2XSy. Disponible en: URL: <http://www.indeco.com.pe>.
- [15] PIRELLI S.A. Ensayo de cables Sintemax s/Normas IRAM 2200, DIN 40.500 OC 01/086. Código Doc.: PE01 56 99 7033 0003 A0 B0 Rev1, Abril 1986.
- [16] Electromac S.A. Planillas de Ensayo Motor 125 CV/220/60HZ. Abril 1983.
- [17] Electromac S.A. Planillas de Ensayo Motor 150 CV/220/60HZ. Abril 1983.
- [18] Márquez Gelabert, Ignlberg Massi, Pereyra Maccarone. Verificación de cables alimentadores. Código Doc. 382-220-AK201-001 Rev.1. INVAP S.E. Investigación Aplicada Sociedad del Estado. Diciembre 1983.
- [19] Márquez Gelabert, Ignlberg Massi, Fusetti Fuentes. Tablero del sistema primario-Gráfico de selectividad. Código Doc. 382-120-AK105-002 Rev. 1. INVAP S.E. Investigación Aplicada Sociedad del Estado. Junio 1982. [Informe interno].
- [20] Márquez Gelabert, Ignlberg Massi, Fusetti Fuentes. Tablero del sistema secundario- Gráfico de selectividad. Código Doc. 382-120-AK105-003 Rev.1. INVAP S.E. Investigación Aplicada Sociedad del Estado. Junio 1982. [Informe interno].
- [21] Schneider Electric. Protección de la red eléctrica en media tensión. Guía 09/10. [monografía en Internet]. España. Disponible en: <http://www.schneiderelectric.es>
- [22] Jorge Angulo Polich. Red de distribución primaria en 10 kV y sub estación de transformación. Código Doc. PE01 23 99 6133 0001 E3 C3 Rev.3. Mayo 1980. [Informe interno].
- [23] EMA Electromecánica Argentina. Cálculo de barras del tablero general. Código Doc. PE01 57 99 140 0152 A3 C0 Rev. 0. Enero 1984. [Informe interno].
- [24] EMA Electromecánica Argentina. Cálculo de barras del tablero primario. Código Doc. PE01 57 99 140 0154 A3 C0 Rev. 0. Enero 1984. [Informe interno].
- [25] EMA Electromecánica Argentina. Cálculo de barras del tablero secundario. Código Doc. PE01 57 99 140 0155 A3 C0 Rev.0. Enero 1984. [Informe interno].

Sistema de escaneado de alambres de cobre irradiados en el reactor RP-10 usando WSCAN

Pablo Arias^{1,*}, José Paez², Mariano Vela³

¹ Dirección de Transferencia Tecnológica, Instituto Peruano de Energía Nuclear, Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

² Dirección de Servicios, Instituto Peruano de Energía Nuclear, Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

³ Dirección de Producción, Instituto Peruano de Energía Nuclear, Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

Resumen

Presentamos el diseño de un sistema para el escaneado de alambres de cobre irradiados en el núcleo del reactor RP-10, mediante una cadena de instrumentación nuclear se mide la tasa de irradiación en varios puntos del alambre, permitiendo obtener el perfil de dicho parámetro. El sistema es controlado por un programa elaborado en LabVIEW que permite establecer las condiciones de escaneo, almacenar las mediciones de tasas de irradiación en cada punto del alambre así como graficar el perfil medido. Este sistema permite la interacción con alambres de cobre de alta tasa de irradiación al minimizar el tiempo de exposición del investigador, muy buena precisión a mediciones igualmente espaciadas con un error menor a 0.01 mm y el almacenamiento de los datos para posterior análisis.

Scanning system copper wire irradiated in RP-10 reactor using WSCAN

Abstract

We introduce the design of a system for scanning copper wires irradiated in the RP-10 reactor, which allows to measure the rate of radiation at several points of the wire, through a suitable nuclear instrumentation chain, allowing to obtain the profile of the mentioned parameter. The system is controlled by a program developed in LabVIEW that allows the setting of scanning conditions, store irradiation rate measurements at each point of the wire and plots the measured profile. This system is able to work with copper wires of high irradiation rate minimizing the exposure time of the investigator, with very good accuracy at equally spaced measurements, with an error less than 0.01 mm and storing data for later analysis.

1. Introducción

Para las actividades de irradiación de muestras en el núcleo del reactor RP-10 es importante conocer cómo varía la distribución de flujo neutrónico térmico y epitérmico; por esta razón, se diseñó un sistema de escaneado de alambres de cobre irradiados en el núcleo del reactor como una herramienta de soporte que permita el cálculo de la distribución midiendo la tasa de irradiación en diferentes puntos del alambre, obteniendo así un perfil de su nivel de irradiación, datos importantes que posteriormente serán utilizados para el cálculo.

Existen trabajos previos denominados Sistema Automático de Medición de Alambres (SAMA) versiones 1 y 2, que son controlados por un programa en LabVIEW para Sistema Operativo MS Windows 95 en una PC 486DX2, los cuales fueron

presentando fallas de funcionamiento y por su obsolescencia tecnológica no podían ser reparados.

El actual sistema que proponemos solo utiliza la estructura mecánica para el movimiento del alambre, cuya estabilidad mecánica ha sido mejorada y es controlado por un programa en LabVIEW para sistema operativo MS Windows XP SP3 en una PC Pentium IV (Con capacidad de actualización a MS Windows 7 y PCs Core i3).

En la Figura 1 se muestra el esquema general del sistema, compuesto por: Una PC, 01 tarjeta IAEA DAQ-52, una cadena NIM (con los módulos de alto voltaje y amplificador), un detector de NaI, blindajes y colimador, un sistema mecánico de movimiento del alambre de cobre con un motor a pasos, sistema de poleas para movimiento del porta alambre, y sensores de posición en ambos extremos.

* Correspondencia autor: parias@ipen.gob.pe

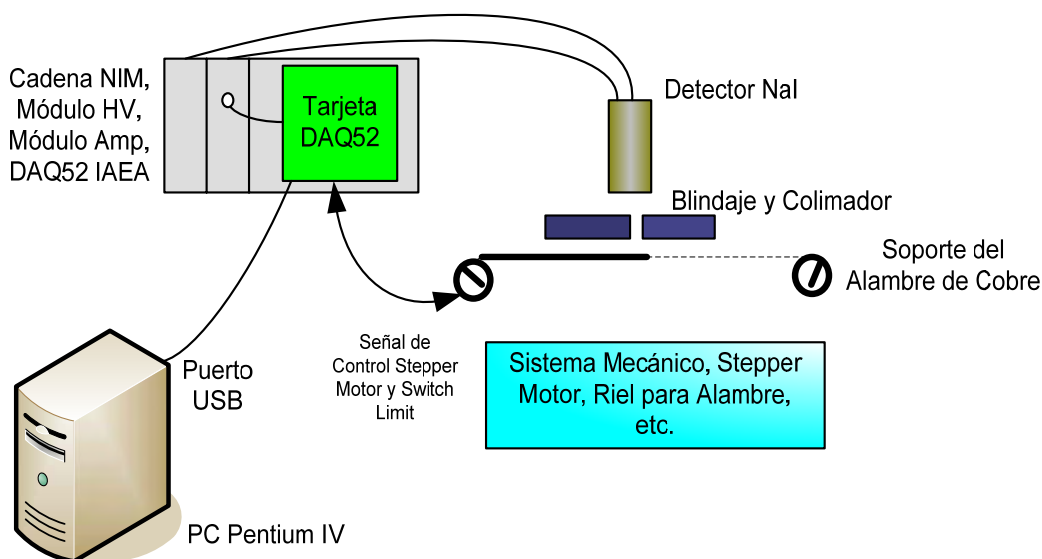


Figura 1. Esquema del sistema completo WSCAN.

2. Materiales

2.1 Tarjeta IAEA DAQ-52

Es el componente principal del sistema y consta de una tarjeta de adquisición de señales analógicas y digitales, control para un motor a pasos y está basado en una FPGA Spartan II, el cual le da flexibilidad para implementar diferentes lógicas de circuito con solo modificar el programa firmware contenido en él, además de alta velocidad de proceso. Dentro del sistema se ha implementado un SCA, que le permite realizar mediciones de conteo de pulsos, incorpora una salida para controlar un motor a pasos, pudiendo operar en modo stand-alone una vez que ha sido programado. Dispone de un puerto USB para conectarse a una PC, así como de librerías de software para LabVIEW, lo que facilita su programación.

2.2 Programa operativo del sistema

El programa del sistema está compuesto de dos partes:

a. El programa operativo en firmware contenido en la Tarjeta IAEA DAQ-52, que ha sido elaborado utilizando el Reasonance Kit 6.1, que es un lenguaje de programación similar al "C", mediante el cual se definen los

parámetros de configuración del hardware como son: timer, niveles de ventana de entrada para el canal SCA, lecturas/escrituras sobre los puertos digitales para detectar los límites de movimiento izquierdo y derecho del motor a pasos, así como la señal de control de la dirección de movimiento del mismo; también, se definen las direcciones de memoria donde se almacenarán los datos de conteo de los pulsos adquiridos y que permitirán al programa en LABVIEW leerlos y transferirlos a la PC para su análisis.

b. El programa WSCAN hecho en LabVIEW, define la interface gráfica visual para el usuario a través del cual se controlará y obtendrá información del proceso de medición de tasa de irradiación.



Figura 2. Tarjeta IAEA DAQ-52.

En la Figura 3 se muestra un diagrama de flujo de las actividades necesarias para medir un alambre de cobre irradiado.

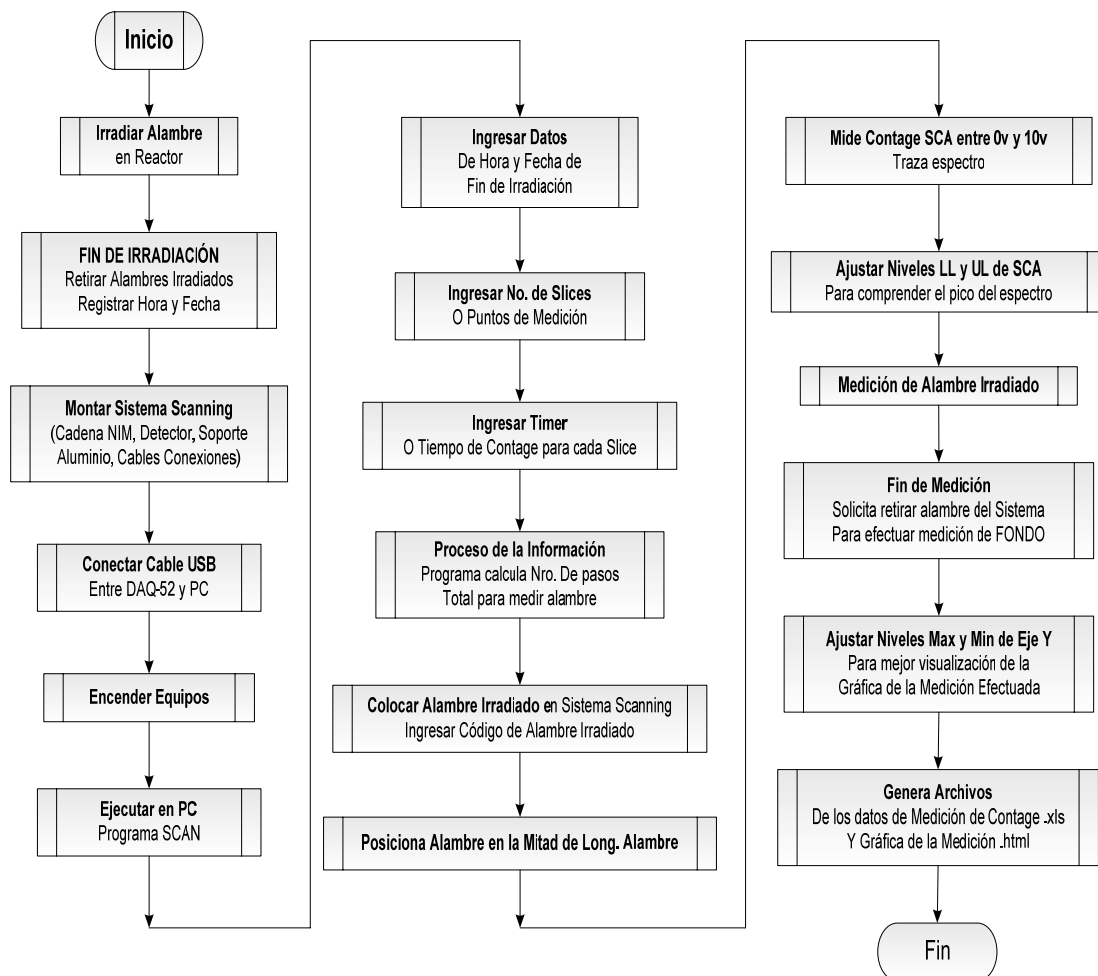


Figura 3. Diagrama de flujo de actividades para medir un alambre irradiado.

En la Figura 4 se muestra una vista completa del sistema, en donde se identifica el soporte mecánico de aluminio conteniendo el motor a pasos, el porta alambre, las poleas para movimiento, el blindaje y detector de NaI.

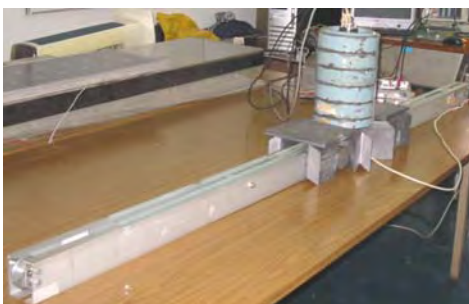


Figura 4. Vista panorámica del sistema implementado.

En la Figura 5 se muestra el soporte sobre el cual se ha acondicionado la tarjeta DAQ-52 para el estándar de módulos NIM, también

los conectores coaxiales para aplicar los pulsos detectados.



Figura 5. Acondicionamiento de la Tarjeta IAEA DAQ-52 en un módulo NIM.

3. Experimental

Para las pruebas iniciales se utilizó una fuente puntual de cesio que permitió efectuar las pruebas de funcionamiento del sistema

completo y ajustar la configuración de hardware para resultados óptimos.

En la Figura 6 se muestra el primer paso antes de iniciar la medición de todo el alambre, que consiste en calibrar la ventana del SCA del sistema que garantice una medición de los pulsos de interés y minimice el ruido de fondo. En este caso, se ha considerado un tiempo de contaje de 2 segundos y 100 puntos de medición del alambre, aquí se ajusta y configura la ventana SCA de medición de los pulsos a contar.

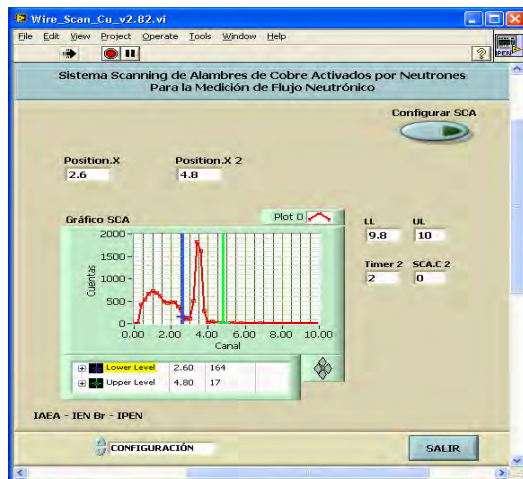


Figura 6. Ajuste de ventana de medición SCA para el contaje de pulsos.

La ganancia del amplificador es tal que permite que la ventana de medición de interés se posicione aproximadamente en el centro del eje X, dado que solo se medirá la tasa de irradiación proveniente del alambre de cobre irradiado.

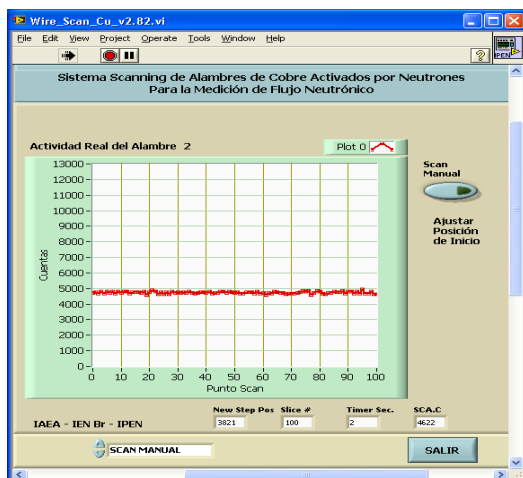


Figura 7. Perfil de distribución del flujo neutrónico a través del alambre de cobre irradiado.

El paso siguiente es iniciar un escaneo del alambre completo para hallar el perfil. La forma del perfil obtenido nos ayudará a calcular la distribución de flujo neutrónico en el núcleo del reactor.

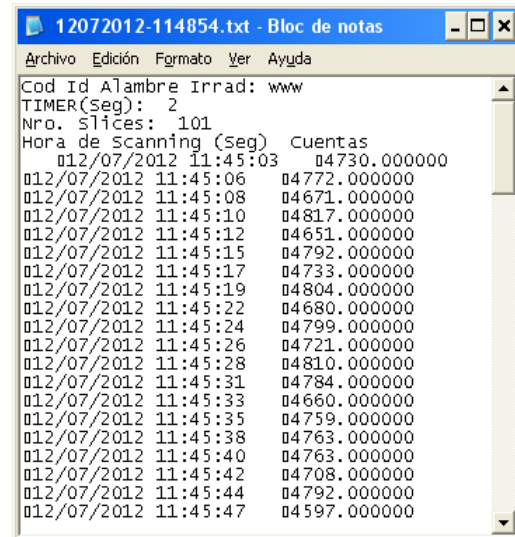


Figura 8. Reporte de los datos en formato .txt.

4. Resultados

El reporte de los datos obtenidos del perfil del alambre de cobre se entregan en dos formatos de archivo: tipo texto (.txt) y en MS Excel (.xls).

En la Figura 8 se aprecia el reporte obtenido con datos sobre: el código asignado al alambre de cobre irradiado, la hora de irradiación en el núcleo del reactor, tiempo de medición en cada punto escaneado, número de puntos a medir, número de cuentas en cada uno de los puntos del alambre.

Datos que corresponden a tasas de irradiación medidas, que se entregan en los formatos indicados para comodidad del investigador.

5. Conclusiones

a. Para configurar la lógica que debía cumplir la tarjeta IAEA DAQ-52, se revisó minuciosamente el manual de programación, así como el hardware de control del motor a pasos para suministrar la carga necesaria para el movimiento del motor. Se definieron los flags dentro del programa firmware que nos permitió sincronizar el momento de término de movimiento e inicio de lectura de contaje, así como una orden de movimiento del motor y la espera hasta que este alcance la posición

ordenada. También se debe tener muy en cuenta los retardos que significa la ejecución de una función en Labview, una en Raisonance Kit y el propio retardo de motor para moverse un paso. Para dicho efecto se tuvo que desarrollar un protocolo mediante flags que permitan sincronizar las lecturas/escrituras de datos entre ellos.

b. Se debe tomar en cuenta que la tarjeta DAQ-52 dispone de un IC FPGA Spartan II que le da versatilidad y velocidad para efectuar mediciones.

c. Se observó que la tarjeta DAQ-52 requiere al menos 1 amperio de fuente de corriente para funcionar, lo cual fue una limitante al acondicionarlo en una Rack Porta NIM, cuya fuente de voltaje de 12VDC no disponía de suficiente carga de corriente, por lo cual se tuvo que acondicionar una fuente externa especial que alimente la tarjeta DAQ-52 y el motor a pasos.

d. El sistema mecánico que contiene el soporte de los motores, engranajes y regla porta-alambre tuvo que ser reforzado por ser muy sensible al movimiento, por lo cual se le estabilizaron con pernos.

e. El movimiento de la regla porta alambre es accionado mediante un cable delgado ajustado al motor a pasos y ruedas en los extremos tal como funciona una polea y permite deslizarse de su lugar original un

promedio de 2 cm. Para corregir este error cada vez que se inicia un escaneo se reinicia la posición de la regla al extremo izquierdo. Una mejora sería utilizar una faja dentada que se acondicione al motor a pasos.

6. Agradecimientos

Al M.Sc. Milton Soares del IEN de Brasil por su valioso apoyo y experiencia para el diseño del programa inicial. A los Ing. José Castro y Rubén Bruna del RP-10 por su apoyo al éxito de este trabajo.

7. Bibliografía

- [1] Heinz Rongen. Manual de DAQ52 Universal Analog/Digital Input/Output board with 8052 USB Microcontroller. 2004
- [2] Heinz Rongen, Milton Soares. Manual de DAQ_52- Peru, Universal Analog/Digital Input/Output board with 8052 USB Microcontroller. Julich Institute, Germany, IEN, Brasil. 2009.
- [3] Heinz Rongen. LCD Displays. Julich Institute, Germany. 2003.
- [4] Microcontroller Raisonance. RC-51, ANSI-C Compiler for the 8051 family. 2003. Disponible en: <http://www.raisonance.com/>
- [5] Heinz Rongen, CD driver and tools of DAQ-52 card. Julich Institute, Germany. 2003.
- [6] National Instruments. Manual de programación de LabVIEW. 2008.

Monitoreo de potencia del reactor RP-10 mediante la medición de la actividad del ^{16}N . Avances de proyecto

José Félix*, Mariano Vela, Rolando Arrieta

Instituto Peruano de Energía Nuclear, Departamento de Operación de Reactores,
Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

Resumen

En una instalación nuclear es necesario tener sistemas redundantes y diversos de medición, presentamos un sistema adicional para monitorear la potencia del reactor nuclear RP-10, mediante la medición de la actividad radiactiva gamma del ^{16}N contenido en el refrigerante. Se describe la instalación de un prototipo, después de elegir y optimizar la ubicación de un detector de radiación (cámara de ionización) que fue sometido a diversas pruebas a fin de recolectar, acondicionar y transmitir una corriente proporcional a la potencia hasta el punto de medición; luego, los valores leídos fueron contrastados con los reportados por el sistema que mide la potencia térmica teniendo como referencia las corrientes que nos proporciona las cadenas de marcha. Finalmente se instaló en la consola de comando de sala de control a la espera de su instalación definitiva con equipos adquiridos para este propósito. Se ha logrado la operatividad del RP-10 con un sistema adicional usando distinto principio físico que la hace más confiable.

Abstract

In a nuclear plant must have redundant and diverse systems of measurement, we introduce an additional one, for monitoring the power of the RP-10 nuclear reactor, by measuring the gamma radiation activity of ^{16}N content in the coolant. We describe an installation of a prototype after choosing and optimizing the location of a radiation detector (ionization chamber) that was subjected to various tests to collect, adjust and pass a current proportional to the power to the measurement point, then the read values were compared with those reported by the system that measures the thermal power, using as a reference the currents provided by the working instrumentation chains. Finally, the proposed system was installed into the command console control room, waiting for final installation with equipment purchased for this purpose. It has managed the operation of the RP-10 reactor with an additional system using different physical principle that makes more reliable.

1. Introducción

Los reactores nucleares se caracterizan por no tener un límite superior de producción de potencia que resulta del proceso de fisión [1], esto hace que el nivel de potencia de operación este fijado por la velocidad con la que puede extraerse la energía producida en su núcleo. Para garantizar su seguridad térmica [2] se debe tener sistemas adecuados para medir esta potencia extraída y en lo posible ser diversos y redundantes.

El RP-10 es un reactor de uso multipropósito [3] con un amplio rango de potencia [4], actualmente una manera de monitorear la potencia generada se hace midiendo el flujo neutrónico a través de cámaras de ionización compensadas, colocados cerca del núcleo. La información que nos proporciona dichos dispositivos presenta variaciones debido a fluctuaciones locales del flujo de neutrones térmicos, el cual a la vez es debido a

desplazamientos de las barras de control por condiciones operativas [5]. Otro método de monitoreo es mediante las leyes de la termodinámica aplicadas al núcleo relacionando el caudal del refrigerante con el incremento de temperatura [6] usado para controlar las potencias altas (cercas a 2 MW) debido a la sensibilidad de los medidores del ΔT .

Para evitar los inconvenientes descritos se ha venido trabajando [7,8] en un sistema alternativo basado en que el oxígeno, componente del refrigerante (H_2O) del reactor, al pasar por el núcleo sufre la reacción $\text{O}^{16}(\text{n},\gamma)\text{N}^{16}$. El N^{16} es un emisor γ con período de decaimiento de 7,14 segundos. Se ha realizado una serie de experiencias que dieron pie a la instalación de

* Correspondencia autor: jfelix@ipen.gob.pe

un prototipo para poder diagnosticar la evolución de la potencia (evaluar su funcionamiento) respecto a los sistemas conocidos.

El principio empleado por Spracklen Howard [9] sirve para medir la radiación γ que emite el N^{16} en su proceso de decaimiento, lo cual permite ser usado para monitorear la potencia ya que su actividad es casi nula cuando el agua retorna al núcleo.

2. Metodología

El procedimiento experimental es una culminación de otras pruebas realizadas [10, 11,12], cuyo origen principal está en la ubicación e instalación de un detector de radiación gamma en un lugar adecuado del circuito primario de refrigeración para medir la actividad del N^{16} en función de la potencia de reactor. Esta ubicación quedó definida en un lugar cercano al núcleo, antes de su ingreso a uno de los tanques de decaimiento.

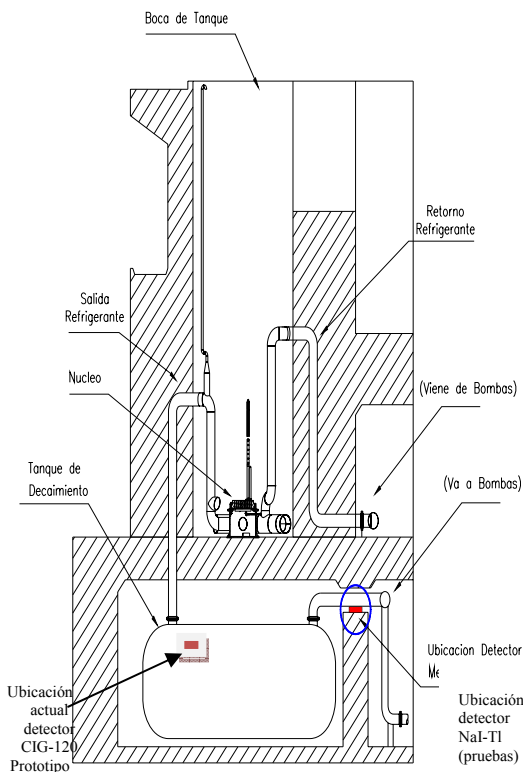


Figura 1. Ubicación del detector CIG-120 para medir radiación γ provenientes del N^{16} .

Parte de este trabajo fue hallar la posición óptima y la forma más recomendable de detección. Las dificultades que se encontraron con el manejo de las radiaciones γ fueron superadas usando nuevos detectores

hasta llegar al detector CIG 120, fabricado en acero inoxidable, de amplio rango de operación, con capacidad para trabajar en condiciones ambientales severas como las que se tienen en los recintos de los tanques de decaimiento.

La Figura 1 muestra las posiciones del detector durante la realización de las pruebas (NaI(Tl)) y la actual posición para las lecturas con CIG 120, en la Figura 2 se aprecian los detalles al ingreso de los tanques de decaimiento.

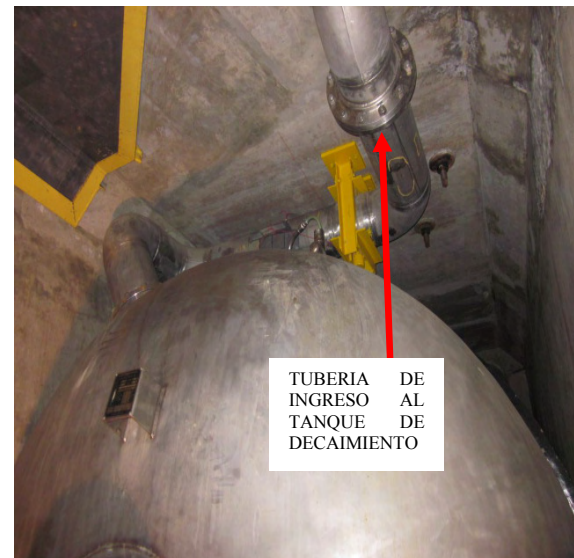


Figura 2. Detalle de la tubería de ingreso al tanque de decaimiento.

2.1 Equipamiento

Para las pruebas preliminares se utilizaron:

- Detector de NaI(Tl) de 2" x 2" con pre-amplificador.
- Tarjeta de adquisición de datos ACSUSPEC, ADC y fuente de alto voltaje.
- Computadora personal con software de procesamiento de datos GENIE 2000.
- Fuentes de calibración de ^{152}Eu y ^{137}Cs de 360,3 y 350 kBq, respectivamente.
- Blindaje colimador de plomo.
- Veinte ladrillos de plomo.

Equipamiento para el prototipo de N^{16}

- Detector CIG 120: \varnothing 120 mm, L= 126 mm. Sensibilidad: 10^{-9} amp R-1 H.
- Fuente de AT. ORTEC 456: 0-10 mA, 0-3000 VDC.
- Amplificador de corriente CNEA K-330.
- Amplificador de cuatro canales CNEA K-340.

- Filtro pasa bajo.
- Multímetro Digital TRIO DL-706.

Instrumentos auxiliares:

- Osciloscopio Tektronix TDS 3032.
- Electrómetro KEITHLEY 614.
- Pico amperímetro KEITHLEY 6485.

2.2 Mediciones

La primera etapa de este sistema de monitoreo consistió en la evaluación del blindaje del detector y el estudio del comportamiento del N^{16} respecto a la potencia del reactor [10, 11,12].

Para las pruebas se ubicó el detector CIG 120 debajo del núcleo del reactor como se muestra en la Figura 3, cubierto con blindajes de plomo a fin de evitar el rebote de radiaciones y ruidos así como bajar en lo posible el ruido y variaciones de corriente, obteniéndose valores manejables para su colección, transmisión y tratamiento.

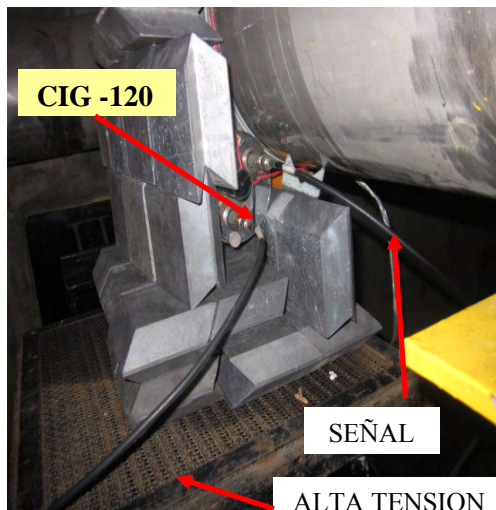


Figura 3. Disposición del detector: CIG-120 respecto a la tubería de ingreso al tanque de decaimiento (antes de su aislamiento).

Para llevar la información a la Sala de Control se hizo el tendido de cables coaxiales continuos para señal y voltaje de polarización (HV) (Figura 3). Se midieron valores de corriente generadas por el detector CIG-120 respecto a la variación de la potencia del reactor RP-10 repitiendo la linealidad de experiencias anteriores como se muestra en el gráfico de la Figura 4.

Posteriormente, se implementó una cadena para medir la actividad del N^{16} y poder establecer equivalencias con una de las cadenas calibradas [4] y poder establecer una

equivalencia entre las lecturas de corriente proporcionadas por una cámara de ionización compensada y la potencia térmica generada; en ambos casos, se tomaron simultáneamente quince valores en micro amperios como se muestra en las Figuras 5 y 6, respectivamente.

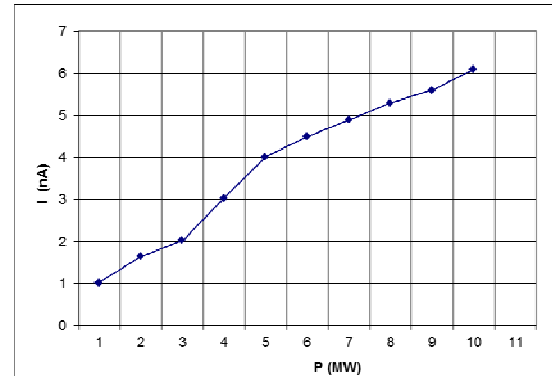


Figura 4. Corriente (nA) proveniente del detector CIG-120 medida con el electrómetro Keithley 614 variando la potencia del RP-10.

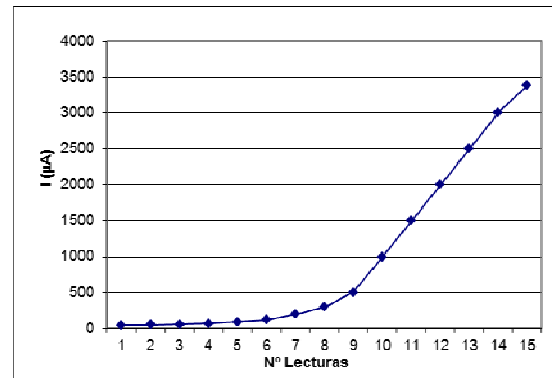


Figura 5. Corriente (µA) proveniente del detector CIG-120 medida con el electrómetro Keithley 6485 variando la potencia del RP-10.

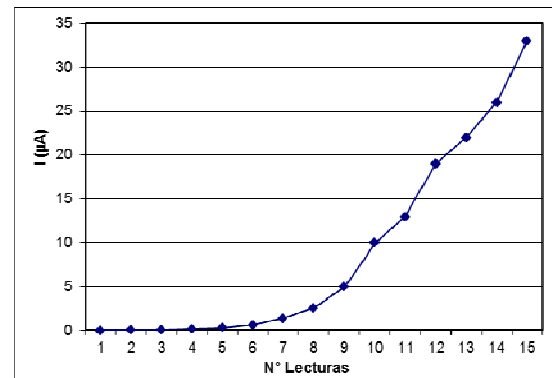


Figura 6. Corriente (µA) proveniente del detector CIG-M4 variando la potencia del RP-10.

Con el resultado anterior se buscó amplificar la corriente proveniente del detector para poder correlacionarla con la corriente de marcha 4 que se tiene en consola, esto se

logra utilizando los amplificadores CNEA K-330 y CNEA K-340, la información obtenida es muy ruidosa a medida que se aumenta la potencia del reactor, llegando a una variación de hasta 2,8 MW para 10 MW. Esta fluctuación disminuye a 0,8 MW implementando un filtro que pasa bajo, tal como se muestra en la Figura 7.

En la señal que se obtiene a la salida del amplificador de cuatro canales (CNEA K-340) es una tensión equivalente a la potencia del reactor que es leído en el Multímetro digital TRIO DL-706.



Figura 7. Muestra del filtraje de 2.8 a 0.8 MW. en el osciloscopio y lectura de potencia del RP-10 en el multímetro digital TRIO.

3. Resultados y Discusión

Con todos los antecedentes mostrados y los resultados hallados se procedió a contrastar las lecturas de potencia por actividad del N¹⁶ respecto de la potencia térmica medida en el tablero de control. En la Tabla 1, para potencias menores a 2MW no se tiene lectura en la potencia térmica, pero a partir de 2 MW se logra cierto acercamiento mejorando a potencias mayores. En cambio con el ¹⁶N se tiene lecturas desde potencias más bajas que mejoran el control para esta zona de trabajo.

Tabla 1. Lecturas comparativas para distintos valores de potencia térmica (MW).

Lecturas	Pot. N ¹⁶	Pot. Térmica
1	0.064	-
2	0.0122	-
3	0.257	-
4	0.499	-
5	1.076	-
6	2.392	1.8
7	4.975	4.58
8	7.214	7.23
9	9.999	10.05

Luego de la experiencia anterior se trabajó en función de la cadena de marcha N° 4 y se tomó valores simultáneamente como se muestran en las Figuras 8 y 9, para luego tabularlas (Tabla 2).

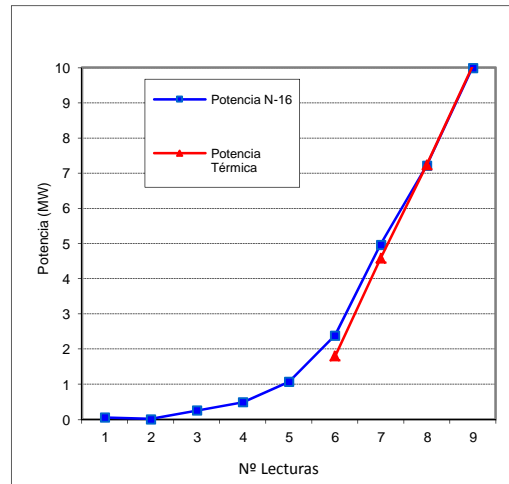


Figura 8. Gráfico comparativo de medición de potencia térmica y por activación del N¹⁶.

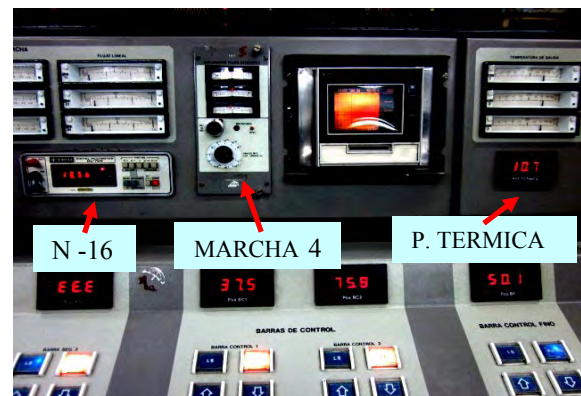


Figura 9. Tablero de control mostrando los dispositivos de medición.

Tabla 2. Lecturas comparativas para distintos valores de corriente de cámara de marcha N° 4 y potencia térmica.

ICM4: (A)	Pot. N-16 (MW)	Pot. Term. (MW)
1.5E-07	0.059	-
3.0E-07	0.106	-
6.0E-07	0.201	-
1.5E-06	0.473	-
2.3E-06	0.623	0.28
3.0E-06	0.853	0.52
4.5E-06	1.355	0.94
6.0E-06	1.786	1.46
9.0E-06	2.525	2.42
1.5E-05	4.388	4.38
2.1E-05	5.733	5.58
3.0E-05	8.254	8.30
3.6E-05	9.609	9.94

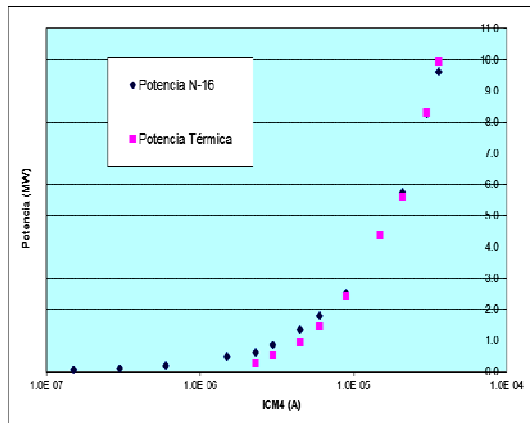


Figura 10. Gráfico comparativo de medición de potencia térmica y por activación de N^{16} en relación a la cámara de marcha N° 4.

4. Conclusiones

Podemos concluir que la instalación y puesta a prueba del nuevo sistema de medición de la potencia térmica del reactor RP-10 basado en la medición de la actividad de N^{16} es la culminación de diversos cálculos, ensayos y pruebas que nos ha permitido contar con un sistema adicional confiable para medir dicha potencia. Después de una calibración del sistema y pruebas de rendimiento, contrastación de datos, optimización y diagnóstico se ha logrado instalar y probar un sistema eficiente que permitirá un mejor monitoreo y control de la potencia extraída que podría ser instalado en un reactor nuclear de investigación.

5. Agradecimientos

A todo el personal del Departamento de Operación de Reactores del IPEN, por su apoyo en la realización de las pruebas experimentales.

6. Bibliografía

[1] Glastone S, Sensonske A. Ingeniería de Reactores Nucleares. Barcelona: Editorial Reverte; 1975.
 [2] Organismo Internacional de Energía Atómica. Seguridad de los reactores de investigación. Proyecto de requisitos de seguridad. Colección de Normas de Seguridad DS272. Viena: OIEA; 2004.

[3] Instituto Peruano de Energía Nuclear. Informe de Seguridad del RP-10. Capítulo I: Introducción y descripción general de la instalación. [Informe interno]. Lima, junio 2011.

[4] Instituto Peruano de Energía Nuclear. Informe de Seguridad del RP-10. Capítulo XVII: Límites y condiciones operacionales. [Informe interno]. Lima, junio 2011.

[5] Zúñiga A, Lamas J, *et al.* Medición del factor pico y la potencia neutrónica de un reactor nuclear de Investigación. En: Instituto Peruano de Energía Nuclear. Informe Científico Tecnológico 2008. Lima: IPEN; 2009. p. 111-118.

[6] Gallardo A. Determinación de la potencia máxima para el Núcleo 30 del reactor RP-10 en el Modo I de Operación. [Reporte Interno]. Lima, mayo 2008.

[7] Lázaro G, Bruna R, Vela M, Parreño F. Implementación de monitorización de la potencia del RP-10 por N^{16} utilizando un detector de NaI(Tl). En: Instituto Peruano de Energía Nuclear. Informe Científico Tecnológico 1998 – 2001. Lima: IPEN; 2002.

[8] Vela M, Castro J, Arrieta R, *et al.* Seguimiento de la potencia del reactor RP-10 por activación del agua refrigerante. En: Instituto Peruano de Energía Nuclear. Informe Científico Tecnológico 2008. Lima: IPEN; 2009. p. 131-133.

[9] Spracklen Howard P. N-16 Power Control System of the Livermore Pool-Type Reactor. IEEE Transactions on Nuclear Science. 1967; 14(1):271-274.

[10] Vela M, Castro J, Arrieta R, Urcia A. Monitoreo de potencia del RP-10 mediante medición de la actividad del N^{16} . [Reporte Interno]. Lima, agosto 2009.

[11] Vela M, Castro J, Arrieta R, Urcia A. Monitoreo de potencia del RP-10 mediante medición de la actividad del N^{16} . [Reporte Interno]. Lima, septiembre 2009.

[12] Vela M, Castro J, Arrieta R, Urcia A. Monitoreo de potencia del RP-10 mediante medición de la actividad del N^{16} . [Reporte Interno]. Lima, diciembre 2009.

IV. Aplicaciones en Minería, Industria y Medioambiente

Estudio de la interconexión de filtraciones y surgencias de bocaminas aguas abajo de una mina en Huancavelica

Jacinto Valencia*, Enoc Mamani, José Maguiña, Jorge Condori

Dirección de Servicios, Instituto Peruano de Energía Nuclear, Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

Resumen

En el presente trabajo se muestran los resultados del análisis isotópico de O-18 y H-2 en muestras de agua de probable interconexión de filtraciones y surgencias de bocaminas aguas abajo de una mina en Huancavelica. Los resultados hallados nos indican que las aguas de las filtraciones están mezcladas con aguas termales de origen profundo que incrementan los valores isotópicos y adoptan en el diagrama O-18/H-2, la tendencia hacia el campo de las aguas magmáticas, propias de los sistemas geotérmicos; a diferencia de las aguas de surgencias de bocaminas que muestran empobrecimiento isotópico de O-18 y H-2. En el contexto general del área bajo estudio de la mina tiene en consideración los resultados de los análisis isotópicos se concluye que las aguas de filtraciones de mina no tienen relación con las surgencias de las bocaminas, distantes a 8 km aguas abajo.

Abstract

The present work shows the results of isotopic analysis of O-18 and H-2 of water samples with probable interconnection of pithead of leaks and seeps downstream from a mine in Huancavelica. The results found indicate us, that the waters of the leaks are mixed with thermal water of deep origin which increase the isotopic values and adopted in the diagram O-18/H-2, the tendency towards the field of magmatic waters, typical of geothermal systems, unlike upwelling waters pithead showing impoverishment in isotopic O-18 and H-2. In the general context of the study area of the mine relate to expenses incurred in consideration the results of isotopic analyzes concluded that the mine water leaks are unrelated to upwelling of pitheads, distant 8 km downstream.

1. Introducción

Una de las principales actividades que las empresas mineras ejecutan, como parte de su plan de cierre, es la clausura de sus diferentes bocaminas que son construidas con la finalidad de desaguar el interior de la mina y así realizar la explotación de minerales sin generar ningún peligro evitando las inundaciones dentro del interior de la mina[1].

Las técnicas isotópicas absuelven dudas con respecto a la interconexión entre aguas del interior de una mina con las aguas que salen de las bocaminas, en este estudio, se analizan aguas ubicadas a 8 km aguas abajo, con la finalidad de determinar si existe o no interconexión entre ambos tipos de aguas. Se empleó la técnica de isótopos estables para diferenciar ambos tipos de agua, la aplicación de las técnicas isotópicas nos llevan a establecer la relación entre las aguas subterráneas a diferentes niveles de la mina y las aguas circundantes a la mina; en este caso particular para cerrar o no las bocaminas aguas abajo, teniendo en consideración que

los análisis isotópicos permiten investigar la hidrodinámica de las filtraciones a nivel de la mina[2,3].

2. Desarrollo experimental

2.1 Materiales y equipos

- Equipo Espectrómetro Laser LGR, modelo 908-008-2001
- pHmetro
- Conductivímetro
- GPS
- Papel filtro
- Mapas cartográficos
- Envases de 50 ml, para análisis de O-18 y H-2

2.2 Metodología

La metodología empleada aborda el estudio de interconexión de aguas de mina y aguas de bocamina ubicadas a unos 8 km aguas abajo. Las fases del estudio consisten en:

- Delimitación del ámbito del estudio y

* Correspondencia autor: jvalencia@ipen.gob.pe

determinación del número de puntos.

- Toma de muestras de aguas superficiales georeferenciadas y registro de parámetros físico-químicos de campo: volumen de 50 ml para análisis de O-18 y H-2. La ubicación de los puntos de muestreo se presentan en la Figura 1.
- Análisis e interpretación de los resultados de análisis de isótopos estables (O-18 versus H-2) mediante diagramas, de acuerdo con el objetivo del estudio.

3. Resultados y discusión

3.1 Análisis fisicoquímicos

Los análisis fisicoquímicos de aguas que fueron tomados in-situ en las inmediaciones de la Relavera se muestran en la Tabla 1.

Tabla1. Mediciones fisicoquímicas.

(*) Muestras de agua del interior de la mina.

Nº Mtra	Ubicación	Cond. mS/cm	Temp.°C	TDS gr/l	pH
1	Mina1 (*)	7.77	39.8	3.7	8.0
2	Mina2 (*)	6.9	45.2	3.4	8.2
3	Mina3 (*)	7.0	45.5	3.5	8.0
4	Mina4 (*)	6.9	52.0	3.4	8.7
5	Río	1.7	8.9	0.35	7.3
6	Bocamina1 (**)	5.2	27.5	2.6	8.0
7	Bocamina2 (**)	6.4	28.0	3.2	7.5
8	Bocamina3 (**)	6.7	36.2	3.3	6.9

(**) Muestras de agua en las bocaminas aguas abajo (7 km)

El agua de la zona tiene un pH de 7.5 (río aledaño), la temperatura del agua al interior de la mina es superior a 39 °C y las temperaturas de las aguas de las bocaminas son superiores a 28 °C, pudiendo asumir que pudiera existir una interconexión entre ambas.

3.2 Análisis de isótopos estables

La técnica de aplicación de isótopos estables del (O-18 y H-2) es una práctica importante en los estudios de interconexión de masas de aguas, que nos permite caracterizar si el agua es de río, lago (evaporada), lluvia, geotermal (sobrecalentada) debido al fraccionamiento isotópico que ocurre en el agua y ésta depende de la temperatura y presión atmosférica del ambiente donde se encuentra el agua bajo estudio [3], así como de los cambios de fase a que está sometida.

Los análisis isotópicos por Oxígeno-18 y Deuterio de 8 muestras de agua, han sido

efectuados por la técnica de Espectrometría Laser, en los Laboratorios de Hidrología Isotópica del Centro Nuclear de Huarangal, en Lima.



Figura 1. Ubicación de puntos de muestreo.

Los resultados de análisis isotópicos se presentan en la Tabla 2 y corresponden a los análisis isótopos ambientales del Oxígeno-18 (O-18) y Deuterio (H-2).

Tabla 2. Isótopos estables.

Nº Mtra	Ubicación	O-18 ‰	H-2 ‰
1	Mina1	-14.12	-111.10
2	Mina 2	-14.42	-112.39
3	Mina 3	-14.40	-112.37
4	Mina 4	-14.41	-112.57
5	Río	-14.52	-107.76
6	Bocamina1	-15.16	-116.79
7	Bocamina 2	-15.43	-115.60
8	Bocamina 3	-15.31	-114.84

Los valores obtenidos de O-18 y H-2 muestran que las aguas del interior mina (MINA1, MINA2, MINA3 y MINA4) son aguas que han sufrido evaporación, son aguas termales y por ende sufren evaporaciones enriqueciéndose más en los isótopos pesados del Agua (O-18 y H-2); se observa que las aguas de las bocaminas 1, 2 y 3 no han sufrido tanta evaporación como las aguas de las bocaminas 1, 2, 3 y 4, y se muestran alejadas (Figura 2) entre ambos tipos de aguas.

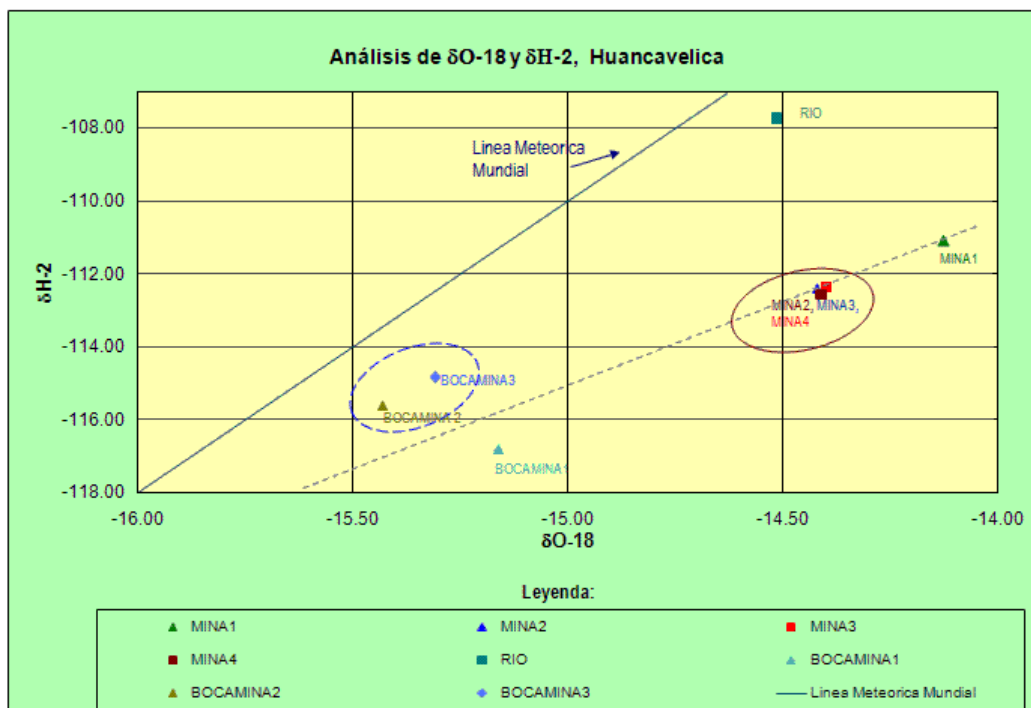


Figura 2. Resultados de análisis de O-18 y H-2.

Si hubiese signos de interconexión, los valores hallados ($O-18$ y $H-2$) en las aguas de la MINA1, MINA2, MINA3 y MINA4 hubieran sido más positivas que los resultados encontrados en las muestras de BOCAMINA1, BOCAMINA2 y BOCAMINA3, tal como se muestra en la Figura 2; las muestras de agua de mina y bocamina son completamente distintas (aguas mostradas en elipses en la Figura 2).

4. Conclusiones

De acuerdo con los análisis isotópicos realizados en el presente estudio, las aguas de mina y bocamina son aguas distintas por lo que concluimos que no existe interconexión entre ellas por lo que se recomienda la conveniencia del cierre o clausura de la

bocamina, resultados que confirman la gran ayuda que da realizar estudios previos con radiotrazadores para establecer si existe o no interconexiones de aguas de mina y aguas de bocamina.

5. Referencias

- [1] Ministerio de Energía y Minas. Guía para Elaboración y Revisión de Planes de Cierre de Minas. Lima; 2002.
- [2] Valencia J, Mamani E, Maguiña J. Informe de Servicio Tecnológico N° 001-06-APLI/HIIS, IPEN.
- [3] Mook WG. Programa hidrológico Internacional. Isotopos ambientales en el ciclo hidrológico. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, 2002.

Determinación de tiempos de residencia en las unidades de procesamiento de una planta de tratamiento de agua potable

Gerardo Maghella*, Enoc Mamani, José Maguiña, Jorge Condori

Dirección de Servicios, Instituto Peruano de Energía Nuclear, Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

Resumen

El presente informe muestra los tiempos de residencia obtenidos en diversas unidades de procesamiento (desarenadores, estanque de regulación, floculadores, sedimentadores, decantadores y filtros) de una planta de tratamiento de agua potable, mediante la técnica de radiotrazadores, utilizando I-131 (emisor gamma) como radiotrazador, el cual fue inyectado a la entrada de cada una de las unidades y cuyo paso a la salida de éstas fue detectado mediante el empleo de detectores de radiación gamma de NaI. Entre los principales resultados obtenidos figuran los siguientes tiempos de residencia promedio: desarenadores: 24,3 min; sedimentadores: 484,8 min; floculadores: 36,5 min; decantadores: 72,8 min; estanque de regulación: 462,1 min y filtros: 12,52 min, con un tiempo de residencia total promedio de la Planta de 618,4 min.

Abstract

This report shows residence times obtained in several processing units (desanders, regulation pond, flocculators, settlers, decanters, and filters) of a drinkable water treatment plant, by using radiotracers technique. For this purpose, I-131 (gamma emitter) was employed as radiotracer, being injected in the inlet of every unit of the Plant to be evaluated and after mixing with the fluid, it was detected at the outlet of these units by using NaI gamma radiation detectors. Among the results obtained, mean residence times are showed as follows: desanders: 24,3 min; settlers: 484,8 min; flocculators; 36,5 min; decanters: 72,8 min; regulation pond: 462,1 min; filters: 12,52 min, with a Plant's total mean residence time of 618,4 min.

1. Introducción

Los trazadores radiactivos constituyen una herramienta de gran efectividad para determinar funciones de distribución de tiempos de residencia en procesos industriales. En efecto, la inyección instantánea de un trazador a la entrada de un sistema generará una curva de respuesta de concentración en función del tiempo a la salida que es precisamente, la función de transferencia buscada [1].

En los casos más sencillos, solo se requiere conocer el tiempo medio de residencia y su varianza para su comparación con los valores de diseño. En cambio, en sistemas complejos es necesario analizar la función de transferencia mediante el estudio de todos sus parámetros estadísticos y la aplicación de modelos matemáticos de simulación. Esto permite lograr una representación del proceso por medio de un conjunto de bloques conectados en serie o paralelo con la eventual inclusión de realimentaciones. El ajuste del modelo obtenido conduce a la optimización

del proceso lográndose así un mejor rendimiento en la producción [2].

El presente estudio tiene como finalidad determinar los tiempos de residencia en las unidades de procesamiento de una Planta de Tratamiento de agua potable emplazada en una ciudad de la costa peruana, presentándose los resultados promedio obtenidos en cada una de las unidades.

2. Desarrollo experimental

2.1 Materiales y equipos

- Sistema de adquisición de datos, DAMRI.
- Detectores de NaI, marca DAMRI, de 1.5" de diámetro.
- Radiotrazador (I-131)
- Actividad total de I - 131: 500 mCi,
- Baldes.
- Alambres y soguillas.

* Correspondencia autor: gmaghella@ipen.gob.pe

2.2 Metodología

La metodología empleada aborda el estudio de la distribución del tiempo de residencia de un fluido en las unidades de procesamiento de una planta de tratamiento de agua potable, la cual se determina mediante la inyección de un radiotrazador (I-131) en el flujo de entrada a la unidad, el cual luego de haberse mezclado con el fluido es detectado a la salida a través de un detector de radiación gamma, obteniéndose así una curva de respuesta que caracteriza el comportamiento dinámico del fluido dentro de la unidad. Para ello, se empleó en todos los casos de las unidades evaluadas, el método de estímulo-respuesta (inyección o pulso Dirac).

Las fases del estudio fueron:

- Cálculo de la actividad requerida del radiotrazador.
- Delimitación del área de trabajo de cada unidad, donde se inyectará el radiotrazador.
- Recopilación de información de planta: volumen, caudal, etc.
- Inyección de trazador al ingreso de cada unidad a ser evaluada.
- Registro de datos a la salida de cada unidad.
- Análisis e interpretación de los resultados obtenidos.

2.3 Cálculos

El tiempo de residencia teórico es calculado mediante la fórmula:

$$\tau = \frac{V}{Q}$$

Donde:

V = Volumen del recipiente

Q = Caudal de ingreso a la unidad

τ = Tiempo medio de residencia

El tiempo de residencia experimental se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$T = \frac{\int_0^{\infty} t \cdot c(t) dt}{\int_0^{\infty} c(t) dt}$$

Donde:

T = Tiempo de residencia

t = tiempo

c (t) = actividad del radiotrazador

3. Resultados y Discusión

3.1 Tablas de datos y resultados

El resumen de los resultados se muestra en la Tabla 1, en ella se aprecia que se obtienen tiempos de residencia promedio de 24,3 min para el desarenador; en los sedimentadores: 484,8 min, en los floculadores: 36,5 min, en los decantadores: 72,8 min, estanque de regulación: 462,1 min y en los filtros: 12,52 min, con un tiempo de residencia total promedio desde el ingreso al proceso en la planta (desarenador) hasta la salida del proceso (filtros) de 618,4 min (10.3 horas).

Estos valores se obtienen a partir del análisis de las curvas de respuesta de las concentraciones del radiotrazador, medidas en cuentas por segundo (cps), a su paso por el detector a la salida de las diferentes unidades de la Planta.

Tabla 1. Tiempos de residencia promedio.

Unidad	Trazador	Volumen (m³)	Actividad (mCi)	t (min)
Desarenadores	I-131	1600	5	24.3
Sedimentadores	I-131	7800	30	484.8
Floculadores	I-131	1650	5	36.5
Decantadores	I-131	6280	30	72.8
Estanque de Regulación	I-131	500000	300	462.0
Filtros	I-131	144	0.5	12.52

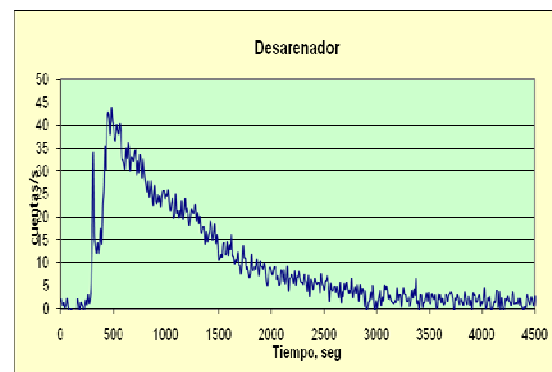


Figura 1. Variación de la concentración del radiotrazador en el Desarenador.

En la Figura 1 se observa que en el desarenador hay un cortocircuito o canalización al ingreso del radiotrazador, debido probablemente a las condiciones hidráulicas existentes en la unidad que facilitan el transporte sin mezcla del radiotrazador y que representa un tiempo de tránsito de 22,2 minutos. Estas canalizaciones

o flujos preferenciales se observan en la mayoría de los desarenadores.

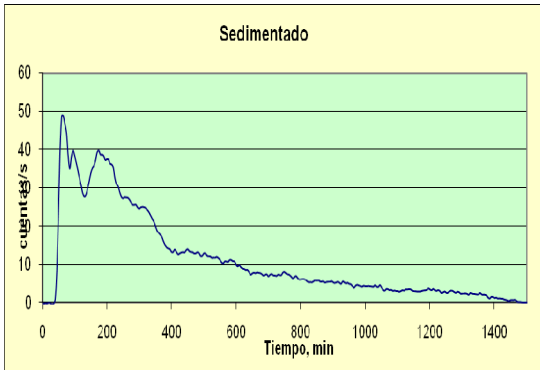


Figura 2. Variación de la concentración del radiotrazador en el Sedimentador.

En los sedimentadores evaluados se observa que los tiempos de residencia varían en un rango alto, con tiempos mayores del orden de 11,0 a 11,4 horas, hasta aquellos con tiempos de residencia menores en los sedimentadores del orden de 6,4 horas (Figura 2).

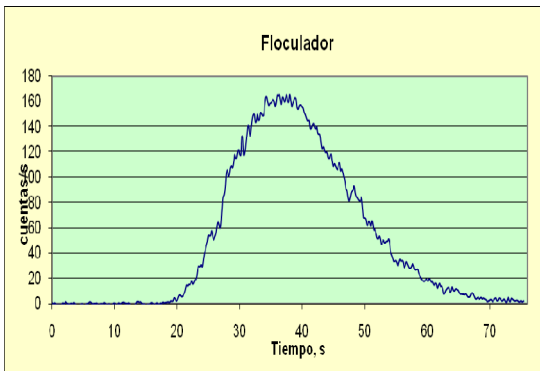


Figura 3. Variación de la concentración del radiotrazador en el Floculador.

En los floculadores hidráulicos evaluados se observa que los tiempos de residencia varían en un rango pequeño, siendo el menor de 31,2 minutos y el mayor de 39,7 minutos, presentándose porcentajes de mezcla perfecta del orden de 55,03 % y 70,02 %, respectivamente. No se observan canalizaciones en estas unidades (Figura 3).

En los decantadores evaluados se observa que los tiempos de residencia, también varían en un rango pequeño, siendo el menor de 67,7 minutos (Figura 4) y el mayor de 80,5 minutos, presentándose también porcentajes de mezcla perfecta altos del orden de 73,44 % y 88,40% respectivamente, sin presentar canalizaciones.

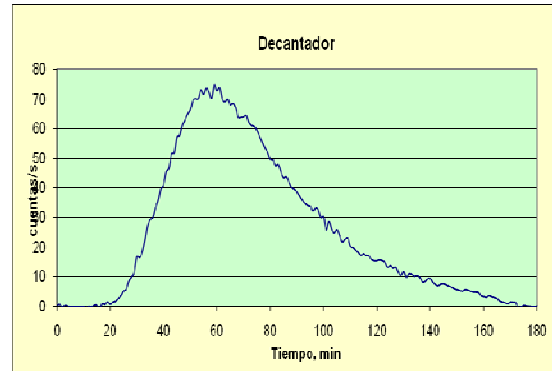


Figura 4. Variación de la concentración del radiotrazador en el Decantador.

En los filtros evaluados se observan tiempos de residencia cortos y próximos entre sí, que van desde 5,9 minutos hasta 16,1 minutos; encontrándose que los de mayor tiempo de residencia son 46,5 minutos y 24,8 minutos, respectivamente, lo cual origina valores de volúmenes muertos altos (Figura 5). En los demás filtros, los tiempos de residencia experimentales obtenidos están muy próximos a los teóricos en las condiciones de operación dadas.

El tiempo de residencia del estanque de regulación de la Planta es de 462 min (7,7 horas), con un volumen muerto de 31,86 %.

Las mediciones se realizaron en estado estacionario, con un caudal de ingreso de 7,2 m³/s, en condiciones normales de suministro, i. e. sin unidades colmatadas por efectos de desprendimientos de roca en el curso del río que abastece a la Planta.

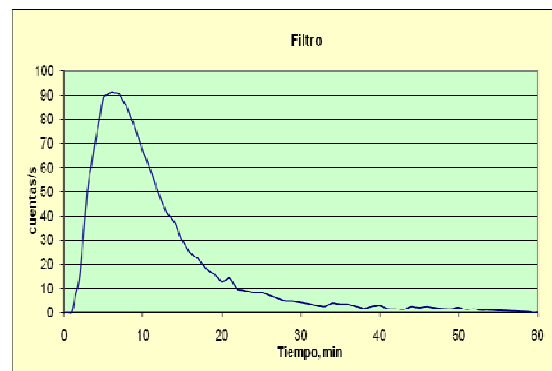


Figura 5. Variación de la concentración del radiotrazador en el Filtro.

4. Conclusiones

- Para obtener la máxima eficiencia en una instalación es necesario realizar, entre otros aspectos, un mantenimiento que permita facilitar la dinámica del fluido a fin de que éste permanezca en la unidad de acuerdo al tiempo teórico de residencia que se prevé por diseño, minimizando la posibilidad de que se produzcan canalizaciones y/o volúmenes muertos.
- No se presentan canalizaciones en los floculadores, decantadores y filtros.
- El tiempo de residencia promedio obtenido en los desarenadores fue de 24,3 min.
- El tiempo de residencia promedio obtenido en los sedimentadores fue de 484,8 min.
- El tiempo de residencia promedio obtenido en los floculadores fue de 36,5 min.
- El tiempo de residencia promedio obtenido en los decantadores fue de 72,8 min.
- El tiempo de residencia promedio obtenido en el Estanque de Regulación fue de 462 min.
- El tiempo de residencia promedio obtenido en los filtros fue de 24,3 min.

- El tiempo de residencia total de la Planta, para un caudal de ingreso de $7,2 \text{ m}^3/\text{s}$, fue de 10,3 h.
- El tiempo de residencia teórico de la Planta para un caudal de ingreso de $7.2 \text{ m}^3/\text{s}$, es aprox. de 26,4 h.

5. Referencias

- [1] Sebastián C, Rojas R, Mamani E, Maguiña J. Evaluación de unidades de tratamiento de agua mediante estudios de tiempos de residencia, utilizando técnicas de radiotrazadores. En: Instituto Peruano de Energía Nuclear. Informe Científico Tecnológico 2006. Lima: IPEN. 2007. p. 174-176.
- [2] Institute of Nuclear Chemistry and Technology, Radiotracer technology as applied to industry, IAEA-TECDOC-1262.

Determinación de filtraciones de una relavera utilizando técnicas isotópicas, La Libertad

Jacinto Valencia*, Enoc Mamani, Gerardo Maghella, Jorge Condori

Dirección de Servicios, Instituto Peruano de Energía Nuclear, Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

Resumen

La presencia de elementos no deseados en el subdrenaje aguas abajo de una relavera hizo sospechar que la contaminación de dichas aguas podría provenir de la minería informal, ubicada aguas arriba. El presente estudio tiene como objetivo investigar mediante la inyección de un trazador (tritio), la interconexión entre el agua de relaves y el agua del subdrenaje de la relavera utilizando tritio como radiotrazador, el cual se pudo determinar que el aporte principal de la contaminación aguas abajo en el subdrenaje de la quebrada proviene de la relavera, indicando que existe interconexión entre las aguas de relave y el agua del subdrenaje, por la presencia del trazador en el subdrenaje ubicada en la quebrada aguas abajo.

Abstract

The presence of unwanted elements in the sub-drainage downstream of the sludge did suspect that the presence of ground water contamination could come from in formal mining located upstream of the mine. The present study aims to investigate by isotope techniques, interconnection between water tailings and sub-drainage water from the sludge using tritium as a radiotracer. It was determined that the main contribution of pollution downstream of the sub-drainage to the stream comes from the sludge, indicating that there is interconnection between tailings waters and sub-drain age water located in the creek downstream.

1. Introducción

Las empresas mineras como parte de la explotación de minerales generan residuos tóxicos no aprovechables llamados relaves, que tienen altas concentraciones de sustancias químicas y elementos nocivos que alteran el medioambiente, los cuales son almacenados en tanques o pozas de relaves. El manejo y control de estos desechos constituyen operaciones importantes porque permiten recuperar el agua y evitar la filtración hacia el suelo y contaminación de las napas freáticas; para las relaveras el almacenamiento es la única opción ya que en promedio les permite obtener una tonelada de concentrado generando para ello casi 30 toneladas de relaves [1].

La relavera en estudio tiene como dimensiones 200 m de largo por 75 m de ancho y 5 metros de profundidad y está emplazada en la ladera de un valle, se encuentra permeabilizada con una geomembrana y ha sido diseñada para almacenar relaves de la Planta Concentradora. Los relaves son depositados hidráulicamente, por el método perimetral (rotación del punto de descarga).

2. Desarrollo experimental

Para el estudio de las posibles filtraciones se inyectó tritio (bajo la forma de agua tritiada) como radiotrazador en el ingreso de la relavera, con el fin de determinar la interconexión del agua proveniente del subdrenaje y el agua de relave, inyectándolo en la presa de relaves para luego implementar un programa de monitoreo a la salida del subdrenaje, en la quebrada aledaña de aguas del subdrenaje y manantial, lugar donde antes del estudio se detectaron la presencia de elementos no deseables. Los análisis de las muestras han sido efectuados en los laboratorios del IPEN en Lima, con un equipo analizador de centelleo líquido Marca Packard, TRI-CARB, Modelo 1600-A y los resultados reportados han permitido establecer la existencia de conexión hidráulica entre las aguas de la relavera con aguas del subdrenaje.

2.1 Materiales y equipos

- Equipo de Centelleo Líquido, Detector de BGO, Marca Packard, TRI-CARB,

*Correspondencia autor: jvalencia@ipen.gob.pe

modelo 1600-A

- pHmetro
- Conductímetro
- GPS
- Papel filtro
- Filtro
- Mapas cartográficos
- Envases de 50 ml

2.2 Metodología

La metodología empleada aborda el estudio de la interconexión de fuentes de agua mediante el empleo de tritio como radiotrazador. El procedimiento del estudio consiste de las siguientes fases:

- Delimitación del ámbito del estudio y determinación del número de muestras.
- Recopilación de información geológica y medición de parámetros hidrogeológicos de la zona de estudio.
- Inyección de trazador en la parte superior (ingreso a la relavera).
- Toma de muestras de aguas superficiales georeferenciadas y registro de parámetros físico-químicos de campo: volumen de 100 ml para análisis de tritio.
- Análisis e interpretación de los resultados de tritio mediante diagramas de acuerdo con el objetivo del estudio.

3. Resultados y Discusión

3.1 Análisis fisicoquímicos

Para los análisis fisicoquímicos de las aguas, las muestras fueron tomadas *insitu* en las inmediaciones de la relavera e inmediatamente se midieron los parámetros de control, los resultados se pueden apreciar en la Tabla 1.

El agua de la zona tiene un pH aproximado de 7,8 (Manantial aledaño), el agua del subdrenaje se elevó a 8,45 pudiendo asumirse que existe un aporte del agua de la relavera (pH=11.45) al agua del subdrenaje.

Tabla 1. Parámetros fisicoquímicos de aguas.

Nº Mtra	Ubicación	Cond. mS/cm	Temp °C	TDS g/l	pH
1	Ingreso relavera1	6.35	19.9	3.18	11.4
2	Salida del subdrenaje	1.31	22.4	0.66	8.45
3	Manantial aledaño	0.52	28.1	0.26	7.84
4	Manantial aguas abajo	0.21	16.2	0.10	8.66

3.2 Análisis con radiotrazadores

La técnica de aplicación de radiotrazador (tritio) es una práctica importante en los estudios de fugas y filtraciones de presas y embalses. Se basa en la propiedad física que tienen los radiotrazadores de emitir radiaciones, sean éstas del tipo alfa, beta o gamma, para su detección y medida cuando son incorporados a masas de agua que necesitan ser investigadas; para esto es necesario tomar en cuenta parámetros como el tiempo de tránsito (dilución) y el decaimiento radiactivo del trazador después de su inyección en un volumen de agua que se está investigando[2]. En el presente estudio se ha utilizado como trazador el tritio (3H), bajo la forma de agua tritiada (THO), que es un emisor de radiación beta y cuyo isótopo se incorpora a la molécula de agua sin alterar sus propiedades, efectuándose su medida en laboratorio en un equipo de centelleo líquido. La cantidad de trazador fue de 2,0 Ci y la recolección de muestras fue diaria durante 1 mes; posteriormente fueron analizadas en el equipo de centelleo líquido Packard Tricarb, modelo 1600A, marca Perkin Elmer. En la Figura 1 se muestra la ubicación de los puntos en la relavera.

Los valores de tritio obtenidos del análisis de las muestras a la salida del manantial aledaño, evidencian la no presencia del radiotrazador, tal como se muestra en la Figura 2, en la que se deduce que la contaminación no proviene de la minería informal ubicada al costado de la relavera y en la parte superior de la minera (Figura 2).



Figura 1. Corte esquemático de la Relavera.



Figura 2. Resultados de análisis de tritio aledaña a la relavera.

Los valores de tritio obtenidos del análisis de las muestras a la salida del subdrenaje, muestran la presencia del trazador (tritio), como se aprecia en la Figura 3, indicando que la contaminación proviene del agua del subdrenaje, donde existe la presencia de 3 picos, pudiendo ser que existan tres o más aportes importantes de filtración que podrían pasar a través de la membrana donde se depositan los relaves.



Figura 3. Resultados de análisis de tritio en el subdrenaje de la relavera.

4. Conclusiones

- El agua de la zona tiene un pH aproximado de 7,8 (Manantial aledaño), el agua del subdrenaje tiene un pH de 8,45, pudiendo asumirse que existe un aporte del agua de la relavera (pH=11,45) al agua del subdrenaje.
- No hay interconexión del manantial aledaño y el ingreso de la Relavera, tal como se muestra en la Figura 1, donde no existe presencia de radiotrazador (tritio).
- La aparición de tritio en la salida del subdrenaje se ve reflejada con la presencia de picos (Figura 3), indicándonos que existe interconexión entre las aguas del subdrenaje (aguas que se contaminaron) y las aguas de la relavera.
- Existe tres posibles filtraciones (3 picos) en la relavera; identificándose una filtración considerable (Figura 2) como se aprecia en el primer pico de mayor amplitud.

5. Referencias

- [1]. Wikipedia. Relaves. [Serie en internet.] Disponible en: <http://es.wikipedia.org/wiki/Relave>.
- [2]. International Atomic Energy Agency. Radiotracer technology as applied to industry. IAEA-TECDOC-1262. Vienna: IAEA; 2001.

El magmatismo de la cordillera oriental, importante metalotecto para la presencia de uranio

Jacinto Valencia*, Enoc Mamani

Dirección de Servicios, División de Industria e Hidrología, Instituto Peruano de Energía Nuclear
Av. Canadá 1470, San Borja, Lima

Resumen

Un análisis del aspecto estructural del dispositivo geotectónico andino para postular la condición por la cual se constituyen las unidades intrusivas de la Cordillera Oriental del Perú, como favorables para la presencia de uranio, comparadas con unidades intrusivas del Batolito de la Costa. Trabajos de campo iniciados durante la ejecución del Proyecto OIEA PER 02/016, indican que el Batolito de la Costa, de edad del mioceno y formado principalmente por material mantélico, por colisión de placas tectónicas, tiene menor contenido de uranio, en tanto que, rocas intrusivas de edad permo-triásica de la Cordillera Oriental, formadas por distensión, tienen mayor contenido de uranio, por su posición distante de la zona de subducción y origen de material cortical, que al ser removilizado, puede formar depósitos de uranio. Se postula un modelo conceptual el cual es una guía para las futuras exploraciones de uranio y una contribución al mejor conocimiento del potencial uranífero del Perú, donde se explica que en el Batolito de la Costa, predominan rocas intrusivas de composición calco-alkalina, mientras que hacia el Este, en la Cordillera Oriental, predominan rocas intrusivas de dimensiones batolíticas originadas por el magmatismo permo-triásico, integradas por rocas graníticas del tipo alcalino y con mayor contenido de uranio geoquímico, las que a nivel mundial guardan relación con depósitos de uranio.

Abstract

An analysis of the structural aspect of Andean geotectonic device to apply the condition for which are intrusive units of the Eastern Cordillera of Peru as more favorable to the presence of uranium, compared with intrusive units of the Coast Batholith. Field work started in the IAEA Project PER 02/016, indicate that the Coast Batholith of miocene age consists primarily of mantle materials, collision of tectonic plates, has a lower uranium content. While intrusive rocks of permo-triassic age of the Eastern Cordillera, consisting of distention, have a higher content of uranium, by its position far from the subduction zone and origin of crustal material, which to be remobilized, can form uranium deposits. Postulate a conceptual model as a guiding instrument for uranium exploration, explains that in the Coast Batholith, intrusive rocks predominate calcic-alkaline composition, while to the east in the Eastern Cordillera, the intrusive batholithic rocks caused by permo-triassic magmatism consisting of alkaline granitic rocks and higher content of uranium geochemistry, are globally related to uranium deposits.

1. Introducción

El territorio del Perú tiene una superficie de más de 700 000 km² de terrenos favorables para la ocurrencia de depósitos de uranio; sin embargo, en el pasado solo en el sureste del Perú se ha identificado recursos de uranio. En la actualidad y a fin de investigar el potencial uranífero nacional y promover las actividades de minería de uranio en el país, se postula un modelo conceptual de la favorabilidad uranífera.

El Batolito de la Costa es un orógeno que se constituye como un elemento favorable para

la presencia de depósitos hidrotermales de los metales base. Sin embargo, asociado a estos se han identificado numerosas ocurrencias de uranio, donde su contenido o es de baja ley o de pequeño tonelaje. Pero más al Este, al interior del territorio, existe otro cortejo de rocas intrusivas que desde el punto de vista químico y edad, tienen mayor relación con rocas de la corteza y basamento, y con mayor contenido de uranio, haciendo de este contexto intrusivo favorable para la presencia de uranio.

* Correspondencia autor: jvalencia@ipen.gob.pe

A fin de determinar la importancia de este tipo de ambiente, se ha efectuado un reconocimiento de campo y la toma de muestras de rocas de varios intrusivos, los que muestran un enriquecimiento en valores de uranio, de ahí el interés de estudiar estos intrusivos en su extensión e identificar diferentes facies y composición, sobre todo las de carácter alcalino y per-aluminoso.

2. Metodología

La primera consideración es que existen antecedentes de las ocurrencias de uranio en distintos ambientes geológicos del territorio y han servido de sustento para formular el objetivo del Proyecto PER 02/016, que se ejecuta en el marco de la cooperación técnica con el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA); en segundo lugar, las características tectónicas del territorio, que configuran el diseño estructural al que se relaciona la presencia de uranio; en tercer lugar, el levantamiento de una nueva información de campo que ha consistido en la toma de muestras y de parámetros relativos a la geología del uranio, esto como resultado de una reciente visita a las zonas donde se presentan unidades intrusivas con anomalías radiactivas que serán estudiadas en el presente proyecto.

Igualmente, se han considerado trabajos anteriores, que consisten en reconocimiento

de áreas uraníferas del territorio nacional, efectuados tanto por la ex-Junta de Control de Energía Atómica (JCEA) y el Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN) [1].

La investigación se fundamenta en el conocimiento del ciclo geoquímico del uranio en el contexto de la tectónica de placas en el país (Figura 1). La corteza terrestre y en ella, los cratones, son considerados como elementos que más concentran uranio primario y se ubican distantes de la zona de subducción [2]. Mediante la comparación de la composición química del Batolito Andino y de los intrusivos de edad permo-triásica de la Cordillera Oriental, se trata de identificar si se ha producido concentración de uranio en la misma unidad intrusiva (roca fuente) debido a la solubilidad, factores físico-químicos y estructurales para formar en la misma roca fértiles depósitos de uranio o estas soluciones hayan migrado de las partes altas hacia los bajos perimetrales y que el uranio alcance la cuenca y precipite en un medio sedimentario, formando depósitos en areniscas, conglomerados, etc. Tomando en consideración tanto valores anómalos, como los mecanismos y las condiciones geológico-estructurales, nos llevan a postular un modelo conceptual orientativo para la exploración de uranio en esta región (Figura 2).

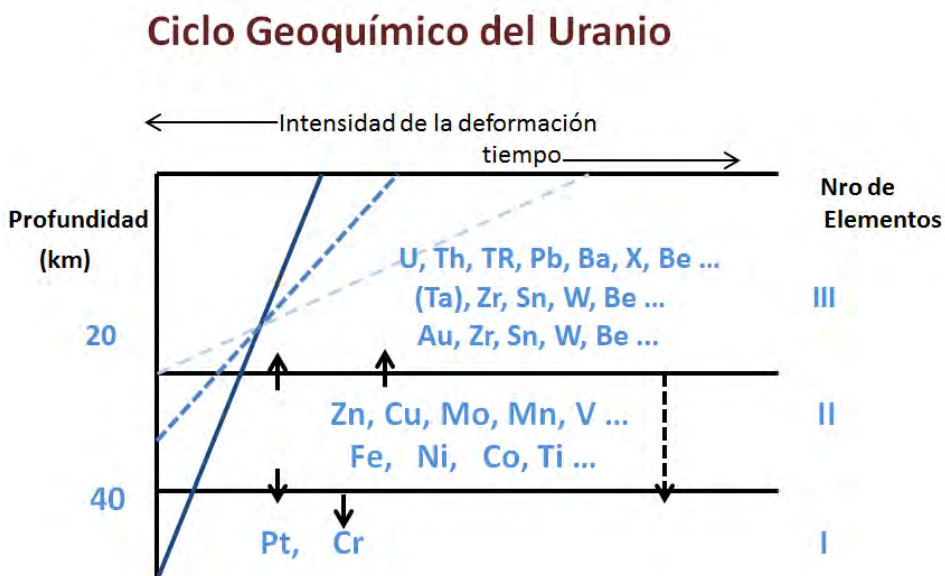


Figura 1. Distribución esquemática de elementos en diferentes niveles de la corteza, las líneas diagonales indican distintos niveles e intensidades de deformación tectónica [3].

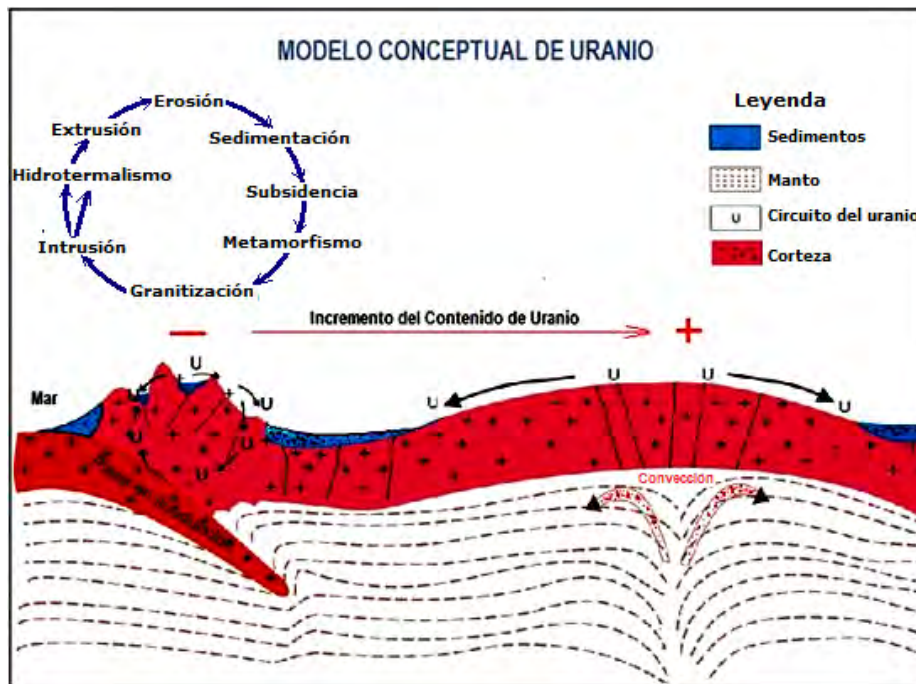


Figura 2. Modelo Conceptual de la concentración natural de uranio.

3. Resultados y Discusión

El magmatismo de la Cordillera Oriental, distante de la zona de subducción se caracteriza por presentar facies en algunos cuerpos intrusivos con una composición de carácter alcalino, los que presentan en unos casos, anomalías radiactivas (identificadas) y en otros, un contenido químico de uranio y radiactividad más elevada que el “back ground” de estas rocas (>4 ppm), aspectos que necesitan ser estudiados.

En general, la mayoría de depósitos de metales base asociados a intrusivos se localizan regionalmente en relación con arcos magmáticos. Pero existe otro tipo de cuerpos intrusivos que tienen más relación con el uranio y se presentan en zonas cratonizadas, relacionadas con períodos tectónicos distensivos dentro del contexto global.

3.1 Características geoquímicas

El territorio peruano en el sentido transversal presenta hacia el Este, un incremento en la edad de intrusivos, coincidente con un aumento tanto del espesor de la corteza continental, como de los elementos K, Rb, Th, Cs y Sr, esto ocurre en granitos intruídos

desde 05 - 286 M.A.

En el Batolito de la Costa, de edad miocena, hay un marcado incremento en elementos Na, Ta, La_n/Yb_n asociados a los altos niveles de deformación a lo largo del borde Oeste, incluido el intrusivo de la Cordillera Blanca de un carácter más superficial. Ambos intrusivos fueron producidos de una nueva corteza basáltica y emplazados a partir de rocas de la cuenca interior (cuenca marginal albiana) cerca de la zona de subducción (Figura 2). Las diferencias en composición entre los dos batolitos reflejan cambios tanto en la composición del substrato continental, la mineralogía residual de la fuente como el emplazamiento tectónico en el lugar de la fusión parcial [3]. El uranio tiene relación con granitoides de composición alcalina, peraluminosa con alto contenido de potasio, formados por fusión parcial de rocas corticales, mineralógicamente identificables por la presencia de biotita-moscovita y minerales accesorios, se les denomina granitos de anatexis, características atribuidas al magmatismo de la Cordillera Oriental.

En cuanto a rocas del tipo granodioritas, dioritas y monzonitas cuarcíferas, así como sus equivalentes alcalinas, pobres en Cu,

están enriquecidas en W, Sn, F y se asocian con pórfidos riolíticos alcalinos con más de 75% de sílice. El fraccionamiento de magmas del tipo I o S y la presencia de un alto

contenido de volátiles (F, B, P) pueden llevar a la formación de granitos y pegmatitas a topacio o a dos micas, con presencia de uranio y tierras raras [4].

Tabla 1. Análisis químicos, rocas intrusivas del magmatismo andino y Cordillera Oriental.

Muestra Ubicación	Elementos Mayores (%) y uranio							
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	U(ppm)
Gr. Pativilca	63.60	16.85	4.58	3.99	1.37	3.77	2.86	2.8
Gr. Corongo	67.56	15.36	0.77	3.43	1.59	3.67	3.36	14.70
Gr. San Ramón	75.2	13.1	1.95	0.20	0.06	3.9	4.22	14.00
Sien. de Ollachea	53.01	21.03	1.50	1.73	0.74	9.73	5.55	7.30
Gr. Coasa	73.98	13.45	1.50	0.94	0.10	3.67	4.64	10.30
Gr. Limbani	69.70	14.80	1.50	1.44	0.73	2.90	5.09	4.80
Gr. Vilcabamba	73.22	7.99	--	0.40	0.31	5.06	5.27	17.16

Tabla 2. Análisis químicos del granito de San Ramón.

No. Mtra	Código	Fecha	Coordenadas UTM	Análisis			Descripción
				Rad	Tenor (ppm)		
				c/s	U	Th	
01	SR-1	12.01.08	N 8775280 E 464537	400	13.8	96.7	Granito de color rojo, grano grueso, textura granular, cavernoso, cuarzo, ortoclasa, presencia de minerales arcillosos, hematita, proceso de alteración, lajamiento.
02	SR-2	12.01.08	N 8775340 E 464663	350	6.90	41.1	Granito de color rojo, grano grueso equigranular, cuarzo, feld. Alterado, terromagn. alt. Presencia de pequeños diques aplíticos melacocráticos.
03	SR-3	12.01.08	N 8775296 E 464931	420	10.66	46.0	Dique aplítico masivo, color rosado textura aféptica, alt de feld. blanco, pocos ferromagnesianos.
04	SR-4	12.01.08	N 8775250 E 465570	400	15.5	58.8	Granito de color rosado, textura granular, feld, caolinizados, cuarzo feld, ferromago en proceso de alteración, los ferromagnesianos subordinados en proceso de alteración, presencia de cavidades.
05	SR-5	12.01.08	N 8775614 E 466409	700	48	98.8	Monzo-granito de color rojo alteración abundante, producción de arcillas rojas, feld, alterados atravesado por aplitas.
06	SR-6	12.01.08	N 8772702 E 463869	320	11.3	37.3	Granito de color rojo deleznable y producción de arcillas de color rojo.
07	SR-7	12.01.08	N 8772872 E 463970	300	7.8	38.5	Monzo-granito de color rojo meteorizado alt. de feldespatos, producción de arcillas a partir de ferromagnesianos. Formación de cavidades de disolución.
08	SR-8	12.01.08	N 8773020 E 464117	1000	152.0	8.8	Dique, roca de color verdoso fracturado, fuerte alteración de ferromagnesianos, posible zona de contacto fallado.
09	SR-9	12.01.08	N 8773080 E 464753	800	3.5	13.6	Granito de color rosado, textura granular gruesa, abundante cuarzo, alteración de feldespatos. Presencia de diques melanocráticos.
10	SR-10	13.01.08	N 8827502 E 4445967	150			Roca alterada, silicificada, color gris verdoso, muy fracturada presenta lajamiento, contacto con intrusivo.

Tabla 3. Análisis químicos Granito de Corongo.

No. Mtra	Código	Fecha	Coordenadas UTM	Análisis			Descripción
				Rad c/s	Tenor (ppm)		
				U	Th		
01	COR-1	16.01.08	N 9040296 E 182496	250	29.0	6.20	Tonalita, color blanco grisáceo, textura granular, cuarzo oligoclasas, moscovita en pequeños cristales intersticiales, ferro-magnesianos, fract. uramiento.
02	COR-2	16.01.08	N 8775340 E 464663	350	6.90	41.1	Tonalita de color blanco, textura equigranular, cuarzo, hornblenda, abundantes ferro magnesianos, alteración con presencia de cavidades.
03	COR-3	12.01.08	N 8775296 E 464931	420	10.66	46.0	Tona-granod color blanco, textura equigranular, minerales ferromagnesianos, biotita alterada.
04	COR-4	12.01.08	N 8775250 E 465570	400	15.5	58.8	Tonalita color blanco, textura equigranular, abundantes ferro magnesianos, cuarzo asociado a biotita. Presencia de diques afaníticos de color blanco.
05	COR-5	12.01.08	N 8775614 E 466409	700	48	98.8	Tonalita color blanco leucocrática, en partes con textura afanítica enclaves de esquistos con alternancias y presencia de cloritas, presencia de lajamiento.
06	COR-6	12.01.08	N 8772702 E 463869	320	11.3	37.3	Tonalita color blanco, textura gnésica pegmatítica, ferromagnesianos en proceso de alteración. Presencia de moscovita en cristales idiomorfos.

3.2 Implicancias metalogenéticas

Los análisis de uranio de muestras del Batolito de San Ramón (Granito de La Merced), de edad permo-triásica en algunas partes, con una radiactividad de hasta 1000 c/s, dan contenidos promedio de uranio de 14 ppm y un valor máximo de 152 ppm, es de esperar que estas condiciones se puedan repetir en otros intrusivos del mismo contexto que afloran en esta región y deben ser revisadas (Tabla 1).

Las muestras del Granito de Corongo, extraídas entre las localidades de La Pampa-Yanac-Tarica, y en puntos destacados, tienen una radiactividad de hasta de 420 c/s, los análisis por uranio indican un promedio de 14.7 ppm de uranio (Tabla 3).

Por el contenido de uranio de estas rocas graníticas se les asigna la condición de roca fértil; con un enriquecimiento geoquímico primario de uranio, hacen necesario en estos intrusivos mayores estudios que incluyan análisis químico total y mineralógico, que nos indicarán la condición de labilidad y el grado de favorabilidad uranífera de una fuente de uranio, solo aleatoriamente contribuirán a ésta los minerales refractarios o estables presentes en Tierras Raras y Torio (Euxenita, Allanita, etc.)

En este análisis se considera importante la presencia de cizallamientos viscosos intramagmáticos que constituyen zonas de enriquecimiento de uranio, luego la movilización y posterior concentración en eventos hidrotermales en rocas huéspedes porosas, resultado de alteraciones intensivas intragraníticas; albitización, rubificación, al estilo de los granitos del Macizo Central Francés y del batolito de Achala en Argentina.

4. Conclusiones

a) Por los resultados geoquímicos preliminares de uranio contenido en rocas intrusivas con tres veces la radiactividad de fondo y consideraciones metalogenéticas, indican que la favorabilidad geológico-uranífera se incrementa hacia el Este del territorio, con relación a rocas alcalinas del magmatismo permo-triásico.

b) El Batolito de la Cordillera Blanca, emplazado en un nivel altitudinal mayor y de composición de leucogranito (monzogranito), con feldespato potásico, biotita-moscovita y contenido de uranio, mayor a su radiactividad de fondo (4 ppm), constituye igualmente, un intrusivo con favorabilidad uranífera.

c) El modelo conceptual de uranio propuesto, es una guía para las futuras exploraciones de uranio y una contribución al mejor

conocimiento del potencial uranífero del Perú.

5. Referencias

- [1]. Gabelman J. Uranio en el Perú. Boletín de la Junta de Control de Energía Atómica. 1966; 11(56).
- [2]. Belluco A. Selección de áreas geológicas favorables y geología del uranio. En: CIEN-CNEA. Curso Latinoamericano de capacitación para la prospección y exploración de yacimientos uraníferos. Argentina, 1978.
- [3]. Kostov I. Crystallochemical differentiation and localization of uranium of deposits in the Earth's crust in IAEA Recognition and evaluation of uraniferous areas. In: International Atomic Energy Agency. Proceedings of a Technical Committee IAEA. Vienna. Meeting, 17-21 November 1975. p. 15-33.
- [4]. Cobbing E J. The Coastal Batholith and other aspects of Andean magmatism in Peru. Geological Society. London, special publications, 1999, v. 168, p. 111-122.

V. Aplicaciones en Medicina y Biología

Impacto de la gammagrafía ósea en decisiones clínicas de manejo de tres neoplasias prevalentes

Rosanna Morales^{1,*}, Roque Cano¹, Raquel Mendoza², Edgar Yana²

¹ Centro de Medicina Nuclear IPEN-INEN, Lima, Perú

² Universidad Peruana Cayetano Heredia, Lima, Perú

Resumen

Se realizó un estudio observacional descriptivo en 250 pacientes, atendidos en el Centro de Medicina Nuclear IPEN-INEN, durante el año 2009, para determinar el impacto de la gammagrafía ósea en el manejo de las neoplasias de mama, pulmón y próstata, siendo estas tres las más prevalentes y que generan con mayor frecuencia metástasis óseas. El impacto fue encontrado en 95% de los casos, consistiendo en iniciar quimioterapia en 34.4 % de pacientes, ingresar a un protocolo de investigación, en el 18.8 %, decidir una cirugía en el 12.8 %, iniciar radioterapia en 7.2%, dar terapia paliativa en 7.6 %, iniciar hormonoterapia en 5.2 %, modificar el estadio en 3.6%, cambiar el tratamiento en 2.8 %, seguir con el mismo régimen de quimioterapia en 0.8% y pasar a una conducta de observación, en 2.4 %. La gammagrafía ósea no tuvo impacto en 11 casos (4.4 %), siendo su indicación errada en 4 de 250 casos (1.6 %).

Bone scintigraphy impact in clinical decisions concerning three prevalent cancers

Abstract

A descriptive observational study was performed in 250 patients, with breast, lung and prostate cancer, in the Center of Nuclear Medicine IPEN-INEN, in 2009, in order to determine impact of bone scan in management of these three prevalent cancers. Impact was found in 95 % of case: chemotherapy was installed in 34.4% of patients, 18.8 % entered a clinical trial, 12.8 % were sent to surgery, 7.2 % began radiotherapy, palliative treatment was given in 7.6%, hormone therapy was the choice for 5.2 %, staging changed in 3.6 %, treatment was modified in 2.8 %, chemotherapy remained the same in 0.8 % and observation was decided in 2.4%. Bone scintigraphy had no impact in management in 11 patients (4.4 %) and the indication for this study was not correct in 4 out of 250 patients (1.6 %).

1. Introducción

La gammagrafía ósea ha proporcionado datos valiosos en la evaluación y gestión de la enfermedad neoplásica desde que fue descrita por primera vez a principios de 1960, siendo los inicios de esta metodología con los radioisótopos indio y estroncio.

La metástasis ósea es uno de los principales problemas clínicos para los médicos especialistas en Oncología. A pesar de las nuevas modalidades de imagen que están disponibles para la detección y el seguimiento de las metástasis óseas en el cáncer de mama y de próstata, la gammagrafía ósea se mantiene como estudio de utilidad.

Como los tratamientos para el cáncer de mama y de próstata evolucionan, y la terapia

dirigida a la enfermedad ósea se vuelve más frecuente, el diagnóstico precoz de la propagación de la enfermedad hacia el esqueleto es cada vez más importante. [1].

La gammagrafía ósea puede proporcionar información sobre la localización de la enfermedad metastásica, la eficacia del tratamiento y establecer un pronóstico. Una ventaja que presenta es que puede explorar todo el esqueleto. Las neoplasias que más comúnmente ocasionan enfermedad metastásica ósea son las de mama, próstata y pulmón [2].

El objetivo del presente trabajo fue determinar el impacto de la gammagrafía ósea en el manejo y decisiones clínicas de los

*Correspondencia autor: rmoralesgb@gmail.com

pacientes con tres neoplasias prevalentes: cáncer de mama, próstata y pulmón.

2. Metodología

Se revisaron las historias clínicas de pacientes a los que se solicitó gammagrafías óseas en el año 2009.

2.1 Los criterios de inclusión fueron los siguientes:

- Neoplasia de mama.
- Cáncer de próstata.
- Cáncer de pulmón.
- Indicación clara del procedimiento de gammagrafía ósea, redactada en la hoja de evolución (“hoja 4”) de la historia clínica.
- Exposición escrita en la historia clínica, del manejo posterior a conocer el resultado de la gammagrafía ósea.

2.2 Los criterios de exclusión fueron:

- Pacientes con otras neoplasias.
- Falta de datos en hoja 4.
- Falta de resultados de la gammagrafía ósea.
- Falta de comentarios escritos de los médicos tratantes, en la hoja 4.

2.3 Diseño del estudio

Se realizaron 2942 gammagrafías óseas en el año 2009, a pacientes con diversas neoplasias. El 80% de estos estudios correspondió a pacientes con neoplasias de mama, próstata y pulmón.

Se realizó un muestreo simple y sistemático, estadísticamente significativo (C.R. <0.05) decidiéndose incluir en el estudio a 250 pacientes atendidos en el año 2009, que cumplieran con los criterios señalados.

3. Resultados y Discusión

Las indicaciones de gammagrafía ósea, realizada a pacientes con cáncer de mama, próstata y pulmón, se presentan en la Tabla 1. La indicación más frecuente (72.4 %) fue para conocer el estadio de la enfermedad. Hubo error en la indicación en 4 casos (1.6%).

Se tuvo impacto en las decisiones clínicas en 239 de 250 pacientes (95,60 %). 160

pacientes estudiados tuvieron cáncer de mama; 58, cáncer de próstata y 32, cáncer de pulmón.

Tabla 1. Indicaciones de gammagrafía ósea en 250 pacientes con neoplasias prevalentes.

Indicación	Número de casos (%)
Estadía	181 (72,4%)
Protocolo de investigación	47 (18,8%)
Dolor óseo	12 (4,8%)
Seguimiento post quimioterapia	6 (2,4%)
Indicación errada	4 (1,6%)
Total de casos	n = 250 (100%)

Los indicadores de impacto de la gammagrafía ósea en 250 pacientes con neoplasias prevalentes se detallan en la Tabla 2, siendo los más frecuentes inicio de quimioterapia (53.2 %) se incluye el ingreso a protocolos de investigación, que involucran quimioterapia y hacen mandatorio tener una gammagrafía ósea previa al inicio del tratamiento.

Los indicadores fueron: decisión de operar, inicio de radioterapia y terapia paliativa. No hubo impacto en 11 casos.

Tabla 2. Impacto de la gammagrafía ósea en 250 pacientes con neoplasias prevalentes.

Indicador de impacto	No. de casos (%)
Inicio de quimioterapia	86 (34,4%)
Ingreso a Protocolo de investigación	47 (18,8%)
Decisión de operar	32 (12,8%)
Inicio radioterapia	18 (7,2%)
Tratamiento paliativo	19 (7,6%)
Cambio de estadio	09 (3,6%)
Modificaron terapia	07 (2,8%)
Pasa a observación	06 (2,4%)
Sigue la misma quimioterapia	02 (0,8%)
Total Impacto	239 (95,6%)
Total de casos	n = 250

3.1 *Discusión*

Es importante evaluar el impacto de las pruebas diagnósticas, a fin de optimizar su uso, especialmente en el manejo y seguimiento de las neoplasias [3, 4].

La gammagrafía ósea es una herramienta muy valiosa para diagnosticar metástasis en neoplasias que presentan una alta frecuencia de diseminación hacia los huesos, como lo son el cáncer de próstata, el cáncer de mama y el cáncer pulmonar [5-8]. Estas neoplasias comprenden el 80% de pacientes en los que se presentan metástasis óseas [8].

El uso de la medición en sangre del antígeno prostático específico (PSA), como indicador de la presencia de metástasis óseas, sería muy beneficioso para estos pacientes. En la indicación de estadiaje de los pacientes con cáncer de próstata del presente trabajo se tuvo valores de PSA superiores a 20 ng/ml.

Desde su introducción en 1971 la gammagrafía ósea se ha convertido en el procedimiento clásico para confirmar o descartar la diseminación metastásica del cáncer de mama al esqueleto. La introducción del metilendifosfonato (AMD) unido al ^{99m}Tc supuso un avance importante, cuya vigencia aún se mantiene.

Se plantea el papel actual de la gammagrafía en la estadificación y seguimiento de los pacientes con cáncer de mama.

Las metástasis óseas son halladas frecuentemente en el cáncer de mama avanzado y pueden ser detectadas en hasta un 70% de autopsias. La presencia de metástasis en los huesos indica un mal pronóstico y menor supervivencia por compromiso importante de la calidad de vida del paciente.

Para seleccionar los protocolos de tratamiento adecuados, la información sobre la afectación ósea metastásica es necesaria. Además, las metástasis óseas pueden causar una significativa morbilidad (dolor, fracturas, parálisis) si el tratamiento no se inicia a tiempo [9].

En el presente trabajo se ha podido apreciar que la gammagrafía ósea ha permitido iniciar protocolos de investigación, tomar la decisión de operar y pasar a tratamiento paliativo en estas pacientes.

La gammagrafía ósea es un procedimiento diagnóstico que se caracteriza por su muy alta precisión en la detección de metástasis óseas en pacientes con cáncer de mama. Su papel ha sido crucial para la detección de la diseminación metastásica.

En los casos estudiados en el presente trabajo, la gammagrafía ósea se llevó a cabo en estadios III y IV, cuya eficacia ha sido objeto de un trabajo de tesis doctoral [10]. Cada vez que se sospecha compromiso óseo, se realiza este estudio diagnóstico, con el fin de minimizar el riesgo de eventos relacionados con el esqueleto.

Se ha encontrado un nuevo rol para la gammagrafía ósea en planificación de nuevos tratamientos (en particular pamidronato, zolendronato, bisfosfonatos o nuevos agentes antineoplásicos). Se ha demostrado su utilidad en el seguimiento post quimio y radioterapia, como se ve en más de la mitad de los pacientes del presente estudio [8].

4. Conclusiones

4.1 La gammagrafía ósea ha tenido un impacto positivo en el 95.60% de los pacientes con neoplasias de mama, próstata y pulmón.

4.2 El impacto más relevante ha sido permitir iniciar quimioterapia en 34.4 % de pacientes.

4.3 En 18.8% de casos se ha podido ingresar al paciente a un protocolo de investigación, pudiéndose en 12.8% realizar tratamiento quirúrgico.

4.4 Se pudo iniciar radioterapia en 7.2% de los pacientes, dar terapia paliativa en 7.6%, iniciar hormonoterapia en 5.2%, modificar el estadio de la enfermedad en 3.6%, cambiar el tratamiento en 2.8%, seguir con el mismo régimen de quimioterapia en 0.8% y pasar a una conducta de observación, en 2.4%.

4.5 La gammagrafía ósea no tuvo impacto en 11 casos (4.4%), siendo su indicación errada en 4 de 250 casos (1.6%).

5. Agradecimientos

Se agradece a los pacientes que nos permitieron estudiar sus respuestas a los exámenes diagnósticos y así poder mejorar el manejo en el futuro.

6. Bibliografía

- [1] Savelli G, Maffioli Maccauro M, De Deckere E, Bombardieri E. Bone scintigraphy and the added value of SPECT (single photon emission tomography) in detecting skeletal lesions. *The Quarterly Journal of Nuclear Medicine*. 2001; 45(1):27-37.
- [2] O'Sullivan J, Cook G. A review of the efficacy of bone scanning in prostate and breast cancer. *The Quarterly Journal of Nuclear Medicine*. 2002; 46 (2):152-159.
- [3] Gleave M, Bruchofsky N, Moore M, Venner P. Prostate cancer: 9. Treatment of advanced disease. *CMAJ*. 1999; 160:225-32.
- [4] Sherry M, Grecco F, Jhonson D, Jainsworth J. Breast cancer with skeletal metastases at initial diagnosis. Distinctive clinical characteristics and favorable prognosis. *Cancer*. 1986; 58(1):158-162.
- [5] Abrams H, Spiro R, Goldstein N. Metastasis in carcinoma. Analysis of 1000 autopsied cases. *Cancer*. 1950; 74-85
- [6] Abdellatif J, Hajji F, Elenodo J, Ghadouane M, Ameer A, Abbar M. Update the Indicator Role of Serum PSA Level and Gleason Score of the Biopsy for the Presence of Bony Metastases: Bone Scan Findings in a North African Ethnic Group. *J Cancer Sci Ther*. 2011; 3:112-115.
- [7] Hoejgaard M, Zerahn B, Avogdilan K, Kristensen B, Mikines J. Prognostic value of metastasis pattern for morbidity in prostate cancer measured by quantitative bone scintigraphy. *ASCO Meeting Abstracts*, May 2010; 28:4644.
- [8] Shih-Hung T, *et al*. The Semiquantitative Bone Scintigraphy Index Correlates with Serum Tartrate-Resistant Acid Phosphatase Activity in Breast Cancer Patients with Bone Metastasis. *Mayo Clinic Proceedings*. 2007; 82(8):917-926.
- [9] Bares, R. Skeletal scintigraphy in breast cancer management. *The Quarterly Journal of Nuclear Medicine*. 1998; 42(1):43-48.
- [10] Cano R. Gammagrafía ósea: Utilidad en la evaluación y seguimiento de pacientes con cáncer de mama en estadio clínico II, III, IV [Tesis Ph.D. en Medicina]. Lima, Perú. Universidad Peruana Cayetano Heredia; 1995.
- [11] Maffioli L, Florimonte L, Pagani L, Butti I, Roca I. Current role of bone scan with phosphonates in the follow-up of breast cancer. *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging*. 2004; 31: S143-S148.

Evaluación del polimorfismo genético mediante PCR-SSCP en dos secuencias del gen *TLR2* en alpacas (*Vicugna pacos*) y su relación con enfermedades infecciosas

Angel Montes¹, Rufino Quilla², Máximo Díaz³, Jorge Rodríguez⁴,
Juan Agapito^{1,*}

¹ Laboratorio de Genómica y Biología Molecular, Instituto Peruano de Energía Nuclear. Av. Canadá 1470. San Borja, Lima, Perú

² Fundo Huaycuyo, Ganadería Alta Gracia SCRL. Distrito de Santa Rosa, Provincia de Melgar Departamento de Puno, Perú

³ Fundo Chaupihuasi, Provincia de Sicuani, Departamento de Cuzco, Perú

⁴ Laboratorio de Biotecnología y Biología Molecular, Universidad Peruana Cayetano Heredia Lima, Perú

Resumen

Se evalúa el Polimorfismo de Nucleótido Simple (SNP) en dos secuencias del gen *TLR2*, en una población de 154 alpacas entre sanas y enfermas, usando la reacción en cadena de la polimerasa (PCR), seguido del análisis de Polimorfismo de Conformación de Cadena Simple (PCR-SSCP) y secuenciamiento de ADN. Tres loci polimórficos de SSCP, representados en tres diferentes secuencias fueron identificados: T/637/C, G/715/A y G/777/A. A su vez, el SNP G/715/A generó una mutación no sinónima produciendo un cambio de aminoácido de Valina/239/Isoleucina. El estudio determinó que la población analizada no se encontraba en equilibrio Hardy-Weinberg debido a un déficit de heterocigotos ($p < 0.05$), además los tres loci polimórficos no presentan desequilibrio de ligamiento ($p > 0.05$). Así mismo el análisis de asociación entre los SNP's y el estado sanitario del animal sano o enfermo tampoco presentó valores estadísticos significativos para el Chi cuadrado ($p > 0.05$); por otro lado, el Odds Ratio (OR) demostró la existencia de relación entre el estado sanitario y los SNP G/715/A y G/777/A ($OR > 1$, $IC > 1$, $P < 0.05$). En conclusión los resultados sugieren que la población evaluada presenta loci heredados al azar y no existe una asociación significativa de los SNPs ($p = 0.4$) con la variación para el fenotipo de enfermos y sanos.

Palabras clave: TLR2; Polimorfismo de nucleótido simple; Alpaca

Abstract

We studied the Single Nucleotide Polymorphism (SNP) in two *TLR2* gene sequences in a population of 154 alpacas, between healthy and sick, using the chain reaction (PCR), followed by the analysis of Polymorphism, Single-Stranded Conformation (PCR-SSCP) and DNA sequencing. Three SSCP polymorphic loci, represented in three different sequences were identified: T/637/C, G/715/A and G/777/A. In turn, the SNP G/715/A generated a nonsynonymous mutation causing an amino acid change of Valine/239/Isoleucine. The study founded that the population under study was not in Hardy-Weinberg equilibrium due to a deficit of heterozygotes ($p < 0.05$), in addition, three polymorphic loci showed no linkage disequilibrium ($p > 0.05$). Also the analysis of association between SNPs and the health conditions of healthy and sick animals did not present statistical significances for the Chi square test ($p > 0.05$), on the other hand, the Odds Ratio (OR) showed the existence of relationship between the health conditions and G/715/A and G/777/A SNP ($OR > 1$, $CI > 1$, $P < 0.05$). In conclusion the results suggest the studied population has randomly inherited loci and there is no significant association of SNPs ($p = 0.4$) with the variation for the phenotype of sick and healthy individuals.

Keywords: TLR2, Single nucleotide polymorphism; Alpaca

1. Introducción

Los camélidos sudamericanos (CSA) constituyen un recurso genético de gran importancia social, económica, cultural y científica para el Perú y para algunos de los

países de la Región Andina. El Perú tiene el privilegio de ocupar el primer lugar en el mundo en la tenencia de alpacas y vicuñas, y el segundo lugar en llamas, después de

* Correspondencia autor: jagapito@ipen.gob.pe

Bolivia [1]. El aprovechamiento racional de esta ventaja comparativa es el reto que el país encara como el medio más efectivo de lucha contra la pobreza y la inseguridad alimentaria, que afecta a las comunidades campesinas que viven de la crianza de estas especies. Además constituye el principal productor de fibra de alpaca en el mundo.

La fibra de alpaca, cuya producción es de 3,400 toneladas anuales, es destinada en un 90 % a la industria del mercado internacional, representando en promedio el 1.35 % de nuestras exportaciones en los últimos años [2]. Esta cifra ha ido disminuyendo debido a la pérdida de la calidad de la fibra. Sumando a esta problemática las enfermedades infecciosas y parasitarias que constituyen un factor limitante de gran magnitud en la producción de camélidos domésticos y en la conservación y aprovechamiento de las especies silvestres.

En general, las enfermedades infecciosas causan alta mortalidad y morbilidad en crías y adultos lo que se traducen en graves pérdidas económicas, mientras que las enfermedades parasitarias afectan el estado general de los animales, reduciendo la productividad o afectando a la calidad de los productos, como la sarcocistiosis que afecta a la carne y los ectoparásitos que afectan la calidad de la fibra [3]. Más aún, cuando no ha sido posible el desarrollo de vacunas ni de antibióticos que controlen efectivamente estas enfermedades, o bien, el fenómeno de resistencia a las drogas ha frustrado la posibilidad de control por la vía terapéutica.

Actualmente, hay poca información sobre el rol del sistema inmune en alpacas lo que hace difícil establecer terapias adecuadas para el control y la prevención de estas enfermedades.

En los últimos años los avances científicos han permitido identificar una familia de proteínas encargadas de la activación del sistema inmune innata, llamados Toll Like Receptor (TLR). Su importancia radica, en que forman la primera línea de defensa contra diferentes patógenos y a su vez desencadenan la respuesta inmunitaria adquirida.

Tomando como antecedente, los estudios realizados sobre TLR para otras especies relacionadas filogenéticamente con la alpaca,

se decidió evaluar el polimorfismo genético en dos secuencias codantes del gen *TLR2* y su asociación con enfermedades infecciosas.

2. Material y Métodos

2.1 Población de alpacas

Fueron seleccionados 154 alpacas de la zona sur del Perú, procedentes de los Fundos Malkini (Puno), Huaycuyo (Puno) y Chaupihuasi (Cuzco).

2.2 Material Biológico

Se utilizó muestras de sangre de cada uno de los animales, entre machos (n=85) y hembras (n=69); pertenecientes a la raza Huacaya (n=147) y Suri (n=7). De los cuales 144 fueron catalogados como sanos y 10 enfermos.

2.3 Extracción de ADN

Se extrajo ADN a partir de sangre periférica mediante la técnica de precipitación por sales (*Salting out*) [4]. Para este proceso se utilizó 3 ml de sangre y finalmente el ADN obtenido fue resuspendido en 100 μ l de TE (Tris-EDTA) 1X y almacenado a 4 °C hasta su uso. La concentración de ADN fue determinada mediante espectrofotometría utilizando un equipo NanoDrop™ 1000 (Termo Scientific).

2.4 Ensayo de PCR

Se amplificó una región conservada de 118 y 539 pb del gen *TLR2*. Se utilizaron los oligonucleótidos descritos para bovino [5] *TLR2-1F*:(5'-GACTTCTCCCATTTCCGCT-3') y *TLR2-1R*: (5'-TCATTATCTTCCGCAGCTTA-3'). La reacción de PCR se llevó a cabo en un volumen final de 20 μ l, 1X de Buffer de PCR, 200 μ M de cada dNTPs, 2,5 μ M de $MgCl_2$, 0,5 μ M de cada oligonucleótido, 20 ng de ADN y 1,5 U de AmpliTaq Gold (PROMEGA). El protocolo de amplificación fue: 35 ciclos a 94 °C por 3 min, 94 °C por 60 s 55° C por 45 s, 72° C por 60 s y 72° C por 10 min.

Para la amplificación del segmento de 539 pb los oligonucleótidos fueron: *TLR2-2F*: (5'-CAAAACACTTGGGGAAACATC-3') y *TLR2-2R* (5'-TCCGTATTGTAAACGTCTCCAC-3') [6] y la reacción de PCR fue realizada en un volumen final de 20 μ l, 1X de Buffer PCR, 200 μ M de cada dNTPs, 2,5 mM de $MgCl_2$, 0,4 μ M de cada oligonucleótido, 20 ng de ADN y 1,5 U de AmpliTaq Gold

(PROMEGA). El protocolo de amplificación fue de 95 °C por 5 min, seguido de 35 ciclos a 95 °C por 30 s, 60 °C a 20 s, 72 °C a 60 s y 72 °C por 10 min. Los productos de PCR, fueron separados en geles de agarosa al 2 % (p/v) para la secuencia de 118 pb. y al 1 % (p/v) para la secuencia de 539 pb.

2.5 Polimorfismo Conformacional de Cadena Simple (SSCP)

Se prepararon geles no denaturantes al 10 % y 12 %, para las secuencias de 118 y 539 pb respectivamente. Todos los productos de PCR fueron denaturados con una solución de formamida al 95 %, azul de bromofenol 0,05%, xilen-cianol 0,05 % y EDTA 20mM [7]. La proporción de productos de PCR y solución denaturante fue de 1:1 y la denaturación fue de 95 °C durante 5 min y luego colocadas en hielo por 3 min. La electroforesis vertical se llevó a cabo en 0,5X TBE, 120 V, 400 mA durante 3 h a 4 °C. Finalmente los geles fueron teñidos utilizando Nitrato de plata, usando la metodología propuesta [8].

2.6 Secuenciación automática de ADN

Los productos de PCR con patrones de bandas distintas mediante el análisis por PCR-SSCP, fueron purificados con el protocolo de extracción Exo-SAP de Fermentas®, cuantificados y posteriormente secuenciados con un analizador Genético ABI 3130 de Applied Biosystems®.

3. Resultados

La reacción de PCR mostró tener una alta sensibilidad y especificidad. Se obtuvieron productos de amplificación de 118 y 539 pb, para el gen *TLR2* (Figura 1). Mediante el análisis por SSCP de los productos de PCR, se identificó un solo alelo o patrón de banda en la secuencia de 118 pb y dos patrones de bandas en la secuencia de 539 pb (Figura 2).

Los resultados de secuenciación en alpacas mostraron valores de calidad aceptables para la secuencia de 539 pb. Se encontró un total de 3 polimorfismos SNP, ubicados en las posiciones 637, 715 y 777 de la secuencia consenso de *B. taurus*. El cambio de base que originó cada SNP fue de: C/T, G/A y G/A en

cada una de las posiciones mencionadas anteriormente (Figura 3).

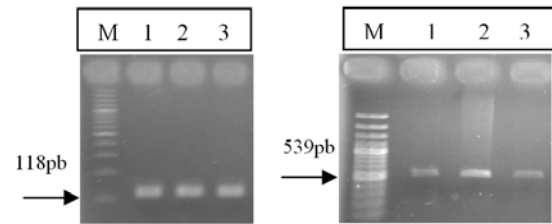


Figura 1. Resultado del PCR para la amplificación de las secuencias de 118 pb y 539 pb. del gen *TLR2*. M = marcador de PM de 100 pb.

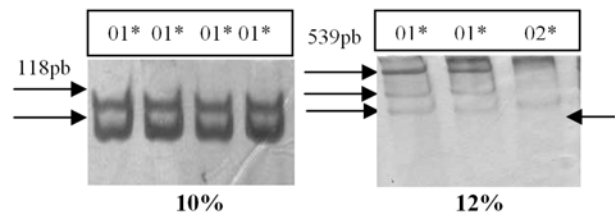


Figura 2. Dos patrones de bandas (01* y 02*) fueron amplificadas, mediante el análisis de SSCP para el fragmento de 118 y 539 pb del gen *TLR2* en un gel de poliacrilamida al 10 y 12 %.

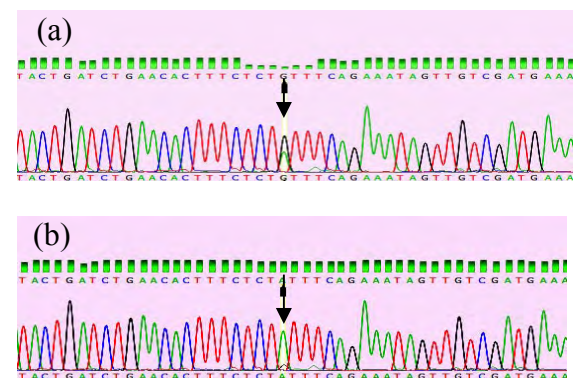


Figura 3. Electroferograma mostrando los SNP's para un locus polimórfico; (a) SNP codificando una Guanina "G", (b) SNP codificando una Adenina "A".

Mediante un alineamiento múltiple utilizando el programa ClustalW [9], se evaluó la secuencia polimórfica de las alpacas sanas y enfermas, acorde con la secuencia consenso del gen *TLR2* de bovino (*Bos taurus*). Los resultados identificaron que los 3 SNP estaban presentes en ambos grupos de alpacas, tanto sanas como enfermas. Así, mismo los SNP fueron ubicados en sus respectivos codones de traducción para la proteína TLR2, encontrándose que solo el SNP G/715/A presentó una mutación no

sinónima; generando un cambio de aminoácido, esta mutación se ubicó en el codón 239 acorde a la secuencia consenso de *B. taurus*, produciendo un cambio de aminoácido de Valina por Isoleucina.

Cuando se evaluaron los resultados de la Genotipificación se determinó que los tres locus polimórficos: C/637/T, G/715/A y G/777/A, presentaron los genotipos homocigotos: TT, CC, AA y GG y en dos locus G/715/A y G/777/A se encontraron los genotipos heterocigotos: GA y AG. En los tres locus polimórficos se encontraron un total de 4 alelos representados por nucleótidos C, T, G y A, cada locus presentó dos alelos: C y T para el locus 637 y A y G para los locus 715 y 777. Así mismo, la mayor frecuencia alélica estaba dada para el alelo T y la menor frecuencia para el alelo C, pertenecientes al locus C/637/T.

Por otro lado cuando se analizó los valores de heterocigocidad observada (H_o) y esperada (H_e) y el contenido de Información Polimórfica (PIC) por locus, se encontró valores relativamente bajos ($PIC < 0.5$).

De igual forma para conocer si la población en estudio se encontraba en equilibrio de Hardy-Weinberg, debido al déficit de heterocigotos ($p < 0.05$), se encontró que la población analizada no se encuentra en equilibrio de Hardy-Weinberg. Además los tres loci polimórficos no presentaron desequilibrio de ligamiento ($p > 0.05$).

Así mismo, el análisis de asociación de los SNP versus el estado sanitario de las alpacas: sanas y enfermas tampoco presentó valores significativos para el Test de Chi cuadrado ($p > 0.05$). El Odds Ratio (OR) demostró la existencia de relación entre el estado sanitario y los SNP G/715/A y G/777/A ($OR > 1$, $IC > 1$, $P < 0.05$).

4. Discusión

La mayoría de las enfermedades infecciosas que afectan a la alpaca son originadas por patógenos extracelulares. En respuesta a este tipo de patógeno, la primera línea de defensa está dada por la inmunidad innata que a través de receptores de membrana reconocen estructuras moleculares altamente conservadas entre los patógenos (PAMP's), desencadenando procesos inflamatorios y a su vez iniciando la respuesta inmune

adquirida. Las enfermedades infecciosas constituyen un factor limitante de gran magnitud en la producción de Camélidos y en la conservación y aprovechamiento de estas especies.

Actualmente, se conoce que algunas mutaciones en los TLR's pueden estar relacionadas con la capacidad de reconocimiento de PAMP's y por lo tanto, pueden interferir con la capacidad de activación de la inmunidad innata. Estas variaciones genéticas han sido descritas tanto en humanos como en ganado doméstico, pudiendo ser útiles para guiar la selección genética hacia la resistencia a enfermedades en alpacas. Además, se ha encontrado asociación entre los fenotipos de resistencia y susceptibilidad natural y otros polimorfismos del gen TLR2 [11,14, 15].

Las secuencias codificantes del gen TLR2 planteadas para este estudio pertenecen a dos regiones muy importantes de los receptores tipo Toll. La de 118 pb pertenece a la región citoplasmática llamada TIR siendo altamente conservada y la secuencia de 539 pb perteneciente a la región extracelular, la cual está formada por repeticiones ricas en Leucina llamadas LRR. Estas regiones son de gran importancia dado que se encargan del reconocimiento de los PAMPs y además presentan los mayores porcentajes de polimorfismos en el receptor, principalmente entre los LRR10 y LRR15, importantes por ser de unión a ligando [6,18].

Nuestros resultados muestran la factibilidad de utilizar la técnica SSCP para detectar mutaciones puntuales. El análisis por PCR-SSCP generó un solo patrón de banda para la secuencia de 118 pb, por lo tanto no se evidenció la presencia de polimorfismo, esto podría atribuirse a la ubicación de la secuencia dentro del dominio citoplasmático TIR, siendo uno de los dominios proteicos de los TLRs más conservados en todos los organismos [12]. Sin embargo, en bovinos se ha reportado sustituciones de gran impacto en la señalización del receptor para el dominio TIR [13,14]. La secuencia de 539 pb presentó diferentes patrones de banda, evidenciando la posible existencia de polimorfismos en esta secuencia correspondiente al dominio extracelular de unión a ligando del TLR2.

En este estudio se encontraron tres polimorfismos de nucleótido simple (SNP) para el gen *TLR2* que corresponde a la región de unión al ligando, estudios similares a los nuestros han sido reportado para otras especies de mamíferos [14, 15, 16, 17].

Frente a estos resultados es importante tener en cuenta que la falta de asociación estadística se debió probablemente al bajo número de animales evaluados, pero a la luz de los resultados obtenidos se sugiere que la población presenta loci heredados al azar y no existe una asociación significativa de los SNPs ($p=0.4$) con la variación para el fenotipo de sanos y enfermos.

5. Conclusiones

El análisis de PCR-SSCP demostró que en condiciones ideales suele ser útil y efectiva para identificar mutaciones puntuales.

Se encontró un polimorfismo genético en la secuencia de 539 pb para el gen *TLR2* de alpaca.

No existe asociación entre el estado sanitario y los SNPs C/637/T, G/715/A y G/777/A del gen *TLR2* en alpaca.

6. Agradecimientos

A los propietarios de los fundos y otras personas, por las facilidades brindadas para el muestreo de sus animales. Este proyecto fue cofinanciado por el fondo concursable Concytec-Procyt 2010.

7. Bibliografía

- [1] CONACS. Población de Alpacas por departamentos. Programa de Camélidos domésticos. 2003. Lima-Perú.
- [2] Bonavia D. Los Camélidos Sudamericanos, una introducción a su estudio. IFEA-UPCH. Conservation Internacional, Perú. 1996.
- [3] Fernández-Baca, S. La Alpaca: reproducción y crianza. Boletín de Divulgación N° 7. Instituto Veterinario de Investigaciones Tropicales y de Altura, 1971. Lima (Perú).
- [4] Zhang D, Hewitt G. Isolation of animal cellular total DNA. In Molecular tools for screening biodiversity Plants and animals. Ed. Karp, A Isaac P, Ingram D. Chapman & Hall. London.1998: 5-9.
- [5] Stephen N. White, Srinivas R. Kata, James E. Womack. Comparative fine maps of bovine toll-like receptor 4 and toll-like receptor 2 regios. Mammalian Genome. 2003; 14:149-155.
- [6] Jann O, Werling D, Chang J, Haig D, Glass E. Molecular evolution of bovine Toll-like receptor 2 suggests substitutions of functional relevance. BMC Evolutionary Biology. 2008; 8:288.
- [7] Mantilla J, Barreto E, Reguero M, Velandia D. Identifying cefotaximase genes in *Enterobacteriaceae* hospital isolates by PCR-SSCP. Rev. Colomb. Biotecnol. 2009; XI:57-65.
- [8] Byun S, Fang Q, Zhou H, Hickford J. An effective method for silver-staining DNA in large numbers of polyacrylamide gels. Analytical Biochemistry. 2009; 385: 174-175.
- [9] European Molecular Biology Laboratory. European Bioinformatics Institute. Clustal W. [Home page]. Disponible en: URL: <http://www.ebi.ac.uk/Tools/msa/clustalw2/>
- [10] Mariotti M, Williams J, Dunner S, Valentini A, Pariset L. Polymorphisms within the Toll-Like Receptor (TLR)-2, -4, and -6 Genes in Cattle. Diversity. 2009; 1:7-18.
- [11] Orita M, Iwahana H, Kanazawa H, Hayashi K, Sekiya T. Detection of polymorphisms of human DNA by gel electrophoresis as single-strand conformation polymorphisms. Proc. Natl. Acad. Sci. USA.1989; 86:2766-2770.
- [12] Takeda K, Kaisho T, Akira S. Toll-like receptors. Annu Rev Immunol. 2003; 21: 335-376.
- [13] Xu Y , Tao X , Shen B, Horng T, Medzhitov R, Manley JL , Tong L. Structural basis for signal transduction by the Toll/interleukin-1 receptor domains. Nature. 2000; 408:111-115.
- [14] Lorenz E, Mira JP, Cornish KL, Arbour NC, Schwartz DA. A novel polymorphism in the toll-like receptor 2 gene and its potential association with staphylococcal infection. Infect Immun. 2000; 68(11):6398-6401.
- [15] Martínez-Córdova Z, Calzadilla-Lugo F, Artiles-Valor A. Papel de los polimorfismos genéticos de los receptores de peaje (Toll-R) en la enfermedad y en el trasplante. Bioquímica. 2009; 34(2):83-94.

- [16] Asplin I, Carl D, Way S, Jones A. Role of Toll-like receptor 2 in innate resistance to Group B Streptococcus. *Microb Pathog*. doi: 10.1016/j.micpath.2007.08.001
- [17] Shinkaki Shinkai H, Tanaka M, Morozumi T, Eguchi-Ogawa T, Okumura N, Muneta Y, Awata T, Uenishi H. Biased distribution of single nucleotide polymorphisms (SNPs) in porcine Toll-like receptor 1 (TLR1), TLR2, TLR4, TLR5, and TLR6 genes. *Immunogenetics*. 2006; 58:324-330.
- [18] Matsushima N, Tanaka T, Enkhbayar P, Mikami T, Taga M, Yamada K, Kuroki Y. Comparative sequence analysis of leucine-rich repeats (LRRs) within vertebrate toll-like receptors. *BMC Genomics*. 2007; 8:124.

VI. Seguridad Nuclear y Protección Radiológica

Veinte años de protección radiológica en el reactor nuclear RP-10

Alejandro Zapata*, Fernando Ramos, Rolando Arrieta, Mariano Vela

Instituto Peruano de Energía Nuclear, Av. Canadá 1470, San Borja
Apartado postal 1687, Lima 41, Perú

Resumen

En este reporte se presentan la evaluación y resultados de los controles radiológicos del personal ocupacionalmente expuesto, realizados desde el año 1990 al 2010 en el reactor nuclear RP-10 del Centro Nuclear de Huarangal. De los resultados obtenidos en el monitoreo y controles radiológicos, se concluye que en ningún caso se ha superado los límites permitidos por la Autoridad Reguladora Peruana. La dosis efectiva promedio anual de los trabajadores ocupacionalmente expuestos fue aproximadamente de 2 mSv. En el análisis de agua del circuito primario de refrigeración no se encontró trazas de productos de fisión, lo que indica la integridad de los elementos combustibles.

Twenty years of radiological protection in the RP-10 nuclear reactor

Abstract

This report presents the results of the evaluation and radiological controls for the occupationally exposed personnel, conducted from 1990 to 2010 in the RP-10 nuclear reactor at Nuclear Center in Huarangal. From the results of radiological monitoring and controls, it is concluded that in no case has exceeded the limits allowed by the Peruvian Regulatory Authority. The average annual effective dose was about 2 mSv for the occupationally exposed personnel. In the water analysis no traces of primary fission products were found, indicating the integrity of the fuel elements.

1. Introducción

La aplicación de técnicas de prevención y limitación de riesgos constituyen la base de la protección radiológica y de la seguridad nuclear que permiten utilizar y aplicar las radiaciones en forma controlada con el mínimo riesgo [1] que comparativamente a otras actividades humanas se ha logrado sea inferior.

Es importante destacar que las técnicas de prevención y de limitación de riesgos aplicadas a la tecnología nuclear no solo satisfacen las exigencias del marco laboral, sino que se extienden y aplican también para la protección del público, lo que la distingue de otros tipos de prevención del ámbito estrictamente laboral [2].

En el reactor nuclear peruano de investigación RP-10 [3] se proyectó un sistema de protección para evitar la aparición de efectos determinísticos, manteniendo la dosis por debajo de umbrales y asegurar que se tomen todas las medidas razonables para reducir la probabilidad de inducción de efectos estocásticos [4].

En este trabajo se resume la metodología empleada para la medición de los riesgos radiológicos asociados con la utilización del

RP-10 y tiene como antecedente un informe técnico presentado el año 1997 [5] y utiliza los valores registrados en los informes anuales presentados a la Oficina Técnica de la Autoridad Nacional (OTAN) [6].

El sistema de monitoreo y análisis lo realiza el Grupo de Radioprotección del reactor RP-10, integrado por tres oficiales; cuyas actividades están basadas en una documentación mandatoria [7,8,9] del actual marco generado por la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP), aplicando las recomendaciones y criterios operativos para las diversas situaciones que requieren protección [10] las mismas que ahora forman parte de las normas y regulaciones del Perú.

2. Materiales y Métodos

2.1 Sistema de monitoreo radiológico

El sistema de monitoreo del reactor permite el control radiológico del personal, el mantenimiento de las condiciones radiológicas seguras de las áreas controladas y supervisadas de la instalación, y el control

* Correspondencia autor: azapata@ipen.gob.pe

de las descargas de los efluentes al medio ambiente. Este sistema está compuesto por el monitoreo personal y monitoreo de áreas. El manual de protección radiológica del RP-10 [11] describe el procedimiento experimental y el equipamiento utilizado.

2.2 Monitoreo Personal

El control de la dosis de la radiación gamma se realizó mediante dosímetros de película (actualmente tipo *in-light*), cuya lectura se registra cada mes [12] y por los dosímetros de lectura directa, de tipo lapicero o digital marca Aloka.

El control de la contaminación radiactiva del personal se realiza mediante el monitoreo directo de la contaminación superficial, utilizando monitores fijos de pies y manos y monitores portátiles. La evaluación de la dosis por contaminación interna se realiza en forma indirecta utilizando un muestreador de aire en boca de tanque y consistente en un equipo de aspiración con filtro y un sistema de espectrometría gamma de laboratorio. Solo en casos especiales, determinados por el área de Radioprotección, se procede a la medición directa de yodo en tiroides.

2.3 Monitoreo de áreas [13]

Los monitores Geiger-Muller, instalados en diversos puntos de control, permiten evaluar el campo de exposición zonal. Tres de ellos, ubicados en boca de tanque del reactor cumplen también funciones de seguridad del reactor, por lo que están conectados a la lógica de seguridad del mismo. Los monitores de área, una vez que alcanzan un nivel prefijado de disparo, en forma independiente, dan una alarma visual y audible en el lugar donde están instalados, la misma que se replica en la sala de control y en la oficina de radio protección del reactor. El control con monitores portátiles también permite verificar el funcionamiento adecuado de los monitores fijos, además es un complemento cuando hay presencia de radiación reflejada o colimada de haces estrechos.

Para medir contaminación en ambientes de trabajo o para detectar contaminación superficial se emplea instrumentos portátiles, que permiten llevar a cabo un plan de monitoreo rutinario y realizar evaluaciones en caso de accidentes.

2.4 Monitoreo de efluentes

Para el control radiactivo de agua del sistema primario de refrigeración y de los tanques de decaimiento se toman muestras que son medidas por espectrometría gamma. Solo se permite la evacuación de líquidos con niveles correspondientes al fondo de radiación natural. Para el caso de evacuación de efluentes gaseosos son medidos directamente por un sistema de muestreo continuo, al pasar el aire contaminado por un cilindro y en contacto con un detector de INa, previo a su salida por chimenea.

3. Resultados

3.1 Concentración de contaminantes en agua [14]

La medición de contaminantes en el agua del circuito primario se realiza durante los días en que el reactor está en operación, la toma de muestras de agua se hace por debajo del difusor. El tiempo de conteo es de 10 min con un tiempo de espera de 2 min.

En la Figura 1 se muestran los contaminantes del agua, como ^{24}Na , ^{28}Al , y ^{27}Mg que son productos de corrosión del aluminio, también se detecta la presencia de ^{41}Ar producto de la activación del argón contenido en el aire disuelto en el agua y en el tubo del sistema neumático de envío de muestras.

En una oportunidad se detectó presencia de ^{131}I y ^{99}Mo en muestras de agua del circuito primario, verificándose luego que provenían de defectos del sellado hermético de algunas cápsulas con muestras para irradiar [15].

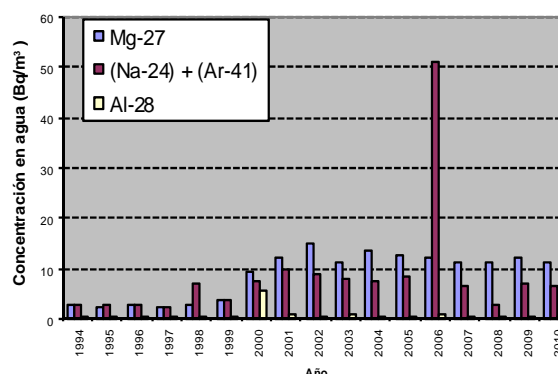


Figura 1. Contaminantes del agua en circuito primario del reactor RP-10.

3.2 Actividad del aire del recinto del reactor

Se han realizado mediciones durante la operación del reactor y los valores promedio encontrados están por debajo de los límites permisibles de concentración derivada en aire.

La presencia de radioiodos en el recinto nunca tuvieron como origen los elementos combustibles usados. Los valores máximos de concentración de ^{131}I encontrados en boca de tanque se muestran en la Figura 2.

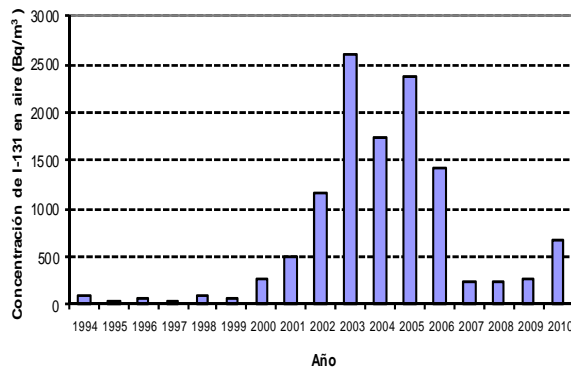


Figura 2. Concentración máxima de I-131 en aire del recinto del RP-10.

3.3 Nivel de radiación gamma en las áreas de trabajo

Los monitores de radiación, distribuidos en el recinto del reactor, responden rápidamente a la variación de tasa de dosis en el núcleo, sobre todo los ubicados sobre la superficie del tanque del reactor. En las Figuras 3a y 3b se presentan los valores máximos encontrados en las diferentes áreas de trabajo del recinto del reactor, se puede apreciar claramente en el año 2008 los valores correspondientes a una prueba de subida de potencia. En la Tabla 1 se muestra una planilla típica (año 2010) de valores máximos de tasa de dosis en los puntos de monitoreo dentro del recinto del reactor.

3.4 Dosis de radiación personal

En la Figura 4 se muestra la dosis efectiva promedio anual para 27 Trabajadores Ocupacionalmente Expuestos (TOE) durante el período 1990-2000, 12 TOE durante los años 2000-2005 y 18 TOE durante el período 2006-2010. Como se observa, las dosis están por debajo de los límites permisibles (20 mSv) [16].

Durante algunos meses (1991–1993) se realizaron trabajos no rutinarios relacionados con el mantenimiento de la columna térmica y a partir del año 1998 se producen hojuelas de ^{192}Ir para uso industrial. Entre los años 1999 y 2002 se incrementa la tasa de dosis en agua del primario debido a problemas en su tratamiento microbiológico; además, entre los años 2006-2008 el lote de capsulas de aluminio para irradiar fueron de muy mala calidad, dando en este caso, tasas de dosis hasta 10 veces mayores a las usuales, lo cual se percibe en los detectores correspondientes a resinas 1 y 2, esto explica en parte el incremento de la dosis efectiva promedio para esos años, teniendo en cuenta que el blindaje de plomo del recinto receptor de muestras irradiadas no fue diseñado para esas magnitudes.

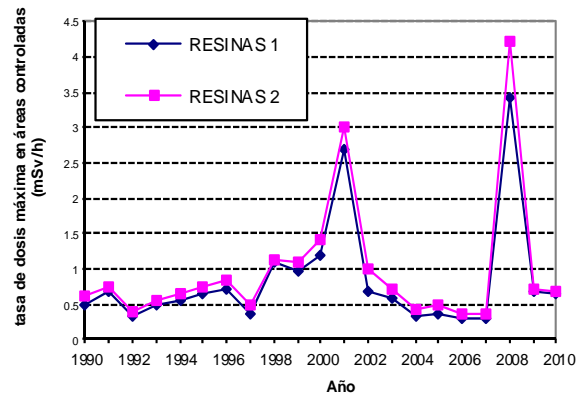


Figura 3a. Tasa de dosis máxima en la zona de intercambio iónico - resinas del RP-10.

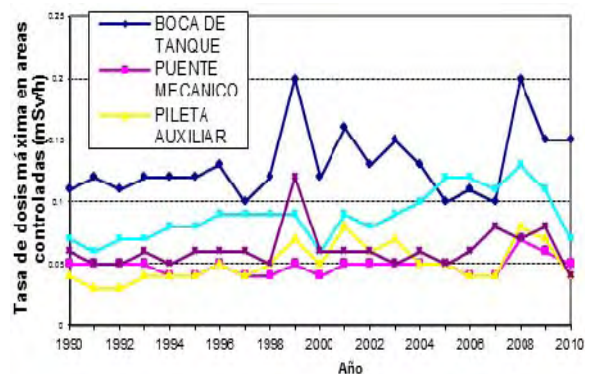


Figura 3b. Tasa de dosis máxima en diferentes áreas controladas del RP-10.

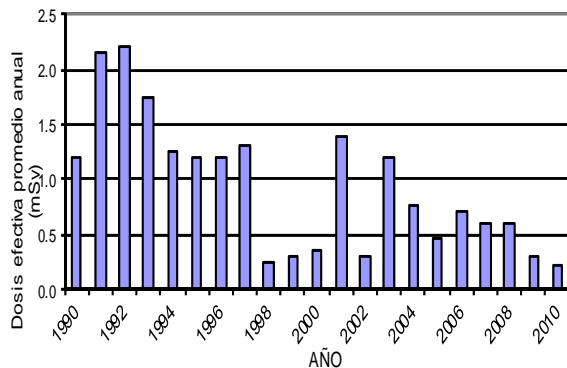


Figura 4. Dosis efectiva promedio anual de trabajadores ocupacionalmente expuestos.

En la Figura 5 se aprecia la dosis colectiva anual, considerando que a partir del año 2006 se juntan las funciones de operación y mantenimiento, independiente de las de radioprotección. En la Tabla 2 se reporta la dosis efectiva para los TOE del RP-10 durante los años comprendidos entre el 2001 y el 2010.

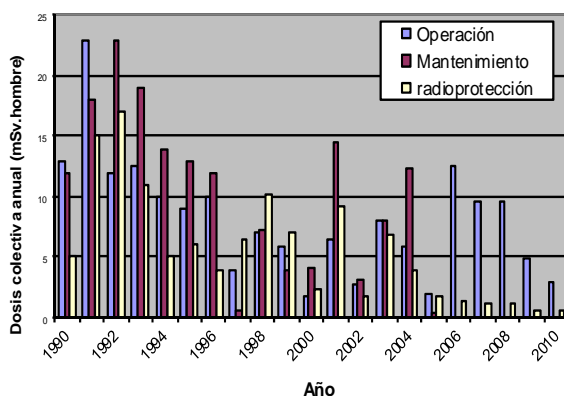


Figura 5. Dosis colectiva anual para los diferentes grupos de trabajo.

4. Conclusiones

a) Entre los años 1990 al 2010 el impacto radiológico ambiental generado por el reactor RP-10 ha sido insignificante. En el agua del circuito primario, analizada por espectrometría gamma, no se encontraron productos de fisión, lo que nos indica la integridad de los elementos combustibles; las pocas veces que se hallaron elementos de activación en el agua, diferentes a los que normalmente corresponden a los elementos estructurales del núcleo, provienen de otras fuentes distintas a las relevantes.

b) Como la experiencia lo indica, durante los primeros años de uso del reactor, debido a la baja tasa de desperfectos, el personal del área de operación son los que reciben las

mayores dosis. Pasada esta etapa, el personal de mantenimiento son los que están más expuestos, debido al aumento de fallas en los componentes del reactor. La variabilidad de la dosis de los oficiales de radioprotección está en función a las tareas de control en actividades planificadas, pero en todos los casos la dosis del personal (de operación y mantenimiento) están por debajo de los límites permisibles anuales de 20 mSv / año.

c) Los monitores ubicados en las facilidades de irradiación dan valores aparentemente muy altos, debido a que están instalados cerca del conducto de salida de los haces de radiación, pero no representan la dosis recibida por los trabajadores en esas áreas por tener acceso restringido y bajo vigilancia de la sala de control del reactor y del oficial de radioprotección.

d) La dosis en las diversas zonas del reactor se mantienen bajo control del área de radioprotección; sin embargo, los muestreos de aire realizados en recinto del reactor, en la zona de boca de tanque, dan como resultado en algunos casos la presencia de ^{131}I . Este radioisótopo que se encuentra en el corredor caliente de la planta de producción de radioisótopos es arrastrado por el sistema de ventilación del reactor, debido a que se encuentra a mayor depresión. Estos valores máximos de concentración de ^{131}I en aire, muestreados en el recinto del RP-10 representan casos puntuales y cíclicos que no corresponden a las tareas rutinarias que se realizan en el reactor.

e) En el reactor RP-10 los parámetros radiológicos se mantienen bajos, no obstante haber incrementado el factor de ocupación al contar en la actualidad con menos personal y haber aumentado la producción de radioisótopos (mayor diversidad y mayor actividad específica). El logro de estos valores muy por debajo de los límites permitidos es el resultado de la capacitación permanente y la aplicación de una buena cultura de seguridad por parte del personal.

f) En los resultados no se puede apreciar directamente la importancia de la participación del área de radioprotección en la reducción de la dosis; sin embargo, el solo hecho que los TOE muestran niveles por debajo del límite representa el mayor logro.

Tabla 1. Monitoreaje de valores máximos de la radiación externa durante el año 2010.

ZONA DE	TASA DE DOSIS MAXIMA (mSv/h)											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Boca de Tanque I	0,070	0,100	0,090	0,100	0,050	0,080	0,080	0,075	0,090	0,060	0,090	0,090
Boca de Tanque II	0,100	0,150	0,080	0,100	0,060	0,080	0,090	0,080	0,090	0,060	0,095	0,090
Boca de Tanque III	0,070	0,090	0,090	0,090	0,060	0,080	0,080	0,070	0,080	0,060	0,090	0,090
Puente de Mecanismos I	0,028	0,040	0,050	0,040	0,025	0,030	0,050	0,025	0,025	0,045	0,031	0,035
Puente de Mecanismos II	0,028	0,040	0,045	0,040	0,024	0,032	0,050	0,025	0,025	0,045	0,031	0,035
Pileta Auxiliar	0,030	0,035	0,040	0,030	0,026	0,033	0,030	0,025	0,030	0,040	0,030	0,040
Celda Caliente	NR	NR	0,002	0,005	NR	NR	0,005	0,002	NR	NR	0,001	NR
Acceso Nivel 11	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Sala de Control	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Sala de Bombas I	0,045	0,060	0,060	0,050	0,060	0,060	0,060	0,050	0,050	0,055	0,060	0,060
Sala de Bombas II	0,050	0,070	0,065	0,055	0,055	0,065	0,055	0,060	0,050	0,055	0,070	0,060
Intercambiador de Calor I	0,035	0,035	0,035	0,030	0,036	0,036	0,038	0,035	0,035	0,035	0,035	0,040
Intercambiador de Calor II	0,035	0,035	0,035	0,030	0,035	0,035	0,038	0,035	0,035	0,035	0,035	0,040
Resinas I	0,130	0,100	0,160	0,220	0,100	0,175	0,100	0,250	0,200	0,650	0,120	0,220
Resinas II	0,150	0,130	0,210	0,260	0,120	0,234	0,150	0,500	0,200	0,680	0,150	0,250
Conducto Tangencial I	0,002	0,002	0,060	0,030	0,006	0,008	0,040	0,007	0,008	0,008	0,008	0,009
Conducto Tangencial II	NR	0,001	0,004	0,003	0,001	0,002	0,003	0,002	NR	0,001	0,020	0,002
Conducto Radial I	0,010	0,010	0,100	0,060	0,005	0,015	0,057	0,010	0,010	0,009	0,002	0,002
Conducto Radial II	0,025	0,100	0,100	NR	0,003	0,600	0,003	0,002	0,003	0,001	0,250	NR
Conducto Radial III	3,00	1,00	1,00	3,00	2,00	0,027	0,500	0,035	1,100	0,041	0,300	0,090
Conducto Radial IV	0,001	0,001	0,005	0,005	0,025	0,150	0,150	0,002	0,002	0,005	0,110	0,002
Columna Térmica	NR	NR	0,025	0,020	0,003	0,002	0,050	0,002	0,002	0,001	0,002	NR
Filtro	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Cementerio	NR	0,001	0,030	0,040	0,002	0,005	0,073	0,003	0,002	0,003	0,005	0,002

* NR: No registrado

Tabla 2. Reporte de dosis efectiva en TOE del reactor RP-10 para el período 2001-2010.

NOMBRE	DOSIS EFECTIVA ANUAL EN TOE (mSv)										
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	TOTAL
AGO	0,85	0,20	1,25	0,50	M	0,20	0,10	0,10	0,10	0,10	3,40
ABR	1,10	0,55	1,75	1,55	0,85	0,30	0,80	1,80	1,30	0,25	10,25
BFI	8,55	0,35	0,75	0,50	M	0,20	M	0,10	M	M	10,45
BMR	0,40	M	0,80	1,00	M	M	M	M	M	M	2,20
CHP	0,80	0,50	1,00	0,85	M	0,25	0,70	0,75	0,10	0,40	5,35
CPJ	0,75	0,15	0,95	M	M	M	0,20	0,10	M	M	2,15
FCJ	0,90	0,25	0,55	1,60	M	0,40	0,30	0,10	0,10	0,30	4,50
GPA	0,65	0,10	0,85	M	M	M	M	M	M	M	1,60
GSR	1,05	0,50	0,90	0,90	0,25	0,10	0,65	0,60	0,30	0,10	5,35
LBC	0,95	0,50	0,75	0,30	M	0,20	0,10	0,10	0,10	M	3,00
LMI	0,25	M	0,95	0,30	M	M	M	M	M	M	1,50
OSE	0,80	0,40	0,85	1,10	0,20	0,20	1,10	0,20	0,10	M	4,95
RVA	0,70	0,10	0,50	0,90	M	8,05	0,10	M	M	0,10	10,45
RTF	1,20	0,50	1,75	0,95	0,25	0,95	1,00	1,25	0,50	0,40	8,75
RSA	1,00	0,30	0,60	2,35	0,20	M	0,50	0,10	0,30	0,10	5,45
SCA	0,75	0,40	0,60	1,05	0,25	0,30	0,60	0,20	0,35	0,15	4,65
UMA	1,00	0,50	1,25	0,30	0,10	0,40	0,40	0,70	0,10	0,70	5,45
VMM	0,90	0,35	1,30	0,65	0,60	0,45	0,80	1,15	0,30	0,50	7,00
VLE	0,45	0,35	2,75	1,35	M	M	0,25	M	0,40	M	5,55
ZAA	6,80	0,35	2,85	1,40	1,55	1,65	2,65	3,60	1,30	0,30	22,45
ZGA	0,40	M	1,85	0,15	M	M	M	M	M	M	2,40

* M: Por debajo de los límites de detección.

5. Referencias

- [1] García P, *et al.* Tecnologías energéticas e impacto ambiental. Madrid: Ed. McGraw Hill; 2004.
- [2] International Commission on Radiological Protection. Protection of the

Public in Situations of Prolonged Radiation Exposure. ICRP Publication 82. Annals of the ICRP. 1999; 29(1-2).

- [3] Instituto Peruano de Energía Nuclear. Informe de seguridad del reactor nuclear RP-10. Capítulo V: El reactor. [Informe interno].

Lima: IPEN; 2011.

[4] International Commission on Radiological Protection. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. 1990.

[5] Páucar R. Villanueva J, Zapata L. Evaluación del estado radiosanitario del RP-10. [Informe Interno]. 1997.

[6] Instituto Peruano de Energía Nuclear. Informe Anual de Actividades. Sección: Dirección de Producción. [Informe Interno]. Año: 1994-2010.

[7] Instituto Peruano de Energía Nuclear. Informe de seguridad del reactor nuclear RP-10. Capítulo XII: Seguridad radiológica y Gestión de Residuos Radiactivos. [Informe interno]. Lima: IPEN; 2011.

[8] Instituto Peruano de Energía Nuclear. Informe de seguridad del reactor nuclear RP-10. Capítulo XX: Plan de Emergencia. [Informe interno]. Lima: IPEN; 2011.

[9] Oficina Técnica de la Autoridad Nacional. Licencia de operación del RP-10. 2011.

[10] Organismo Internacional de Energía Atómica. Normas Básicas Internacionales de

seguridad para la protección contra la radiación ionizante y para la seguridad de las fuentes de radiación. Colección de Seguridad N° 115. Viena: OIEA; 1997.

[11] Instituto Peruano de Energía Nuclear. Manual de radioprotección del reactor nuclear RP-10. [Informe interno]. 1992.

[12] Nuclear Control S.A.C. Reporte de dosis de dosimetría personal (tipo película e in light). Período 1990- 2010.

[13] Instituto Peruano de Energía Nuclear. Dirección de Producción. Planillas de radiación externa período 1990–2010. [Informe interno].

[14] Instituto Peruano de Energía Nuclear. Dirección de Producción. Planillas de monitoreo del agua del circuito primario del RP-10 período 1990–2010. [Informe interno].

[15] Instituto Peruano de Energía Nuclear. Dirección de Producción. Cuaderno de actividades diarias período 1990–2010. [Informe interno].

[16] Instituto Peruano de Energía Nuclear. Reglamento de Seguridad Radiológica. D.S. No. 009-97-EM. Disponible en: http://www.ipen.gob.pe/site/regulacion/leyes_normatividad.htm

Repatriation of disused sealed sources from Peru to the United States

Mario Mallaupoma^{1,*}, Raymond Greenberg Jr.², Cristy Abeyta³, Jim Matzke³

¹ Dirección de Servicios, Instituto Peruano de Energía Nuclear, Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

² Global Threat Reduction Initiative (GTRI), Washington, D.C.

³ Off-Site Source Recovery Project (OSRP), Los Alamos National Laboratory (LANL),
P.O. Box 1663, Los Alamos, NM, 87545, U.S.A.

Abstract

Disused sealed radioactive sources are piled in Peru due to the peaceful use of them in medicine, industry and research for a wide range of applications. The sources may contain a broad spectrum of radionuclides, exhibiting a wide range of activity levels and radioactive half-lives. At the end of their useful lives they are defined as 'spent' or 'disused'. However, the residual level of radioactivity in some sources can remain high, representing a significant radiological hazard. At this point, a decision must be made on how to properly manage the end-of-life cycle of the sources that are now disused. This paper describes technical actions developed by the specialized technical teams of IPEN and the Los Alamos National Laboratory for the repatriation of disused sources from Peru to the United States.

Resumen

Las fuentes selladas en desuso se acumulan en el Perú debido a la utilización pacífica de ellos en medicina, industria e investigación para una amplia gama de aplicaciones. Las fuentes pueden contener una serie de espectros de radionucleidos, que exhiben una variedad de niveles de actividad y vidas medias radiactivas. Al final de su vida útil se define como "gastado" o "en desuso". Sin embargo, el nivel de radiactividad residual en algunas fuentes puede seguir siendo alto, lo que representa un riesgo radiológico significativo. En este punto, debe tomarse una decisión sobre el modo de gestionar adecuadamente el ciclo de fin de vida de las fuentes en desuso. En este trabajo se describen las medidas técnicas desarrolladas por los equipos técnicos especializados de IPEN y el Laboratorio Nacional Los Alamos para la repatriación de fuentes en desuso de Perú a los Estados Unidos.

1. Introduction

Sealed radioactive sources are used worldwide in medicine, industry and research for a wide range of applications. The sources can contain a broad spectrum of radionuclides, exhibiting a wide range of activity levels and radioactive half-lives. At the end of their useful lives they are defined as 'spent' or 'disused'. However, the residual level of radioactivity in some sources can remain high, representing a significant radiological hazard. At this point, a decision must be made on how to properly manage the end-of-life cycle of the sources that are now disused. Owners and operators typically work with their national regulators to make end-of-life arrangements for sources they no longer need. They basically have three options to consider: 1) Transport the source(s) to a national storage facility where the sources will be safe and secure; 2) Return the source(s) and/or entire device(s) to the manufacturer; and 3) Repatriate the source(s) and/or entire device(s) to their country of

origin. The first option is the most widely used. The second option is also widely used, but return costs for owners can be prohibitive. The third option of repatriation has become steadily available, thanks in part to government-sponsored programs of supplier countries to accept sources they previously exported for use. One example of such a program is the Global Threat Reduction Initiative's (GTRI) Off-site Source Recovery Program (OSRP), which is managed by the United States Department of Energy. GTRI works to recover disused sources in the U.S. and the program has now evolved to recovery of certain U.S.-origin sources from international locations. One such operation was completed in Peru in December 2010, where GTRI collaborated with the Instituto Peruano de Energía Nuclear to package and repatriate disused sealed sources stored at the Nuclear Research Center outside of Lima.

* Corresponding author: mmallaupoma@ipen.gob.pe

2. Experimental

2.1 Joint Work Plan Development and Execution

A work plan was developed between the IPEN and OSRP technical teams. This work plan considered all technical aspects related to safety and security considerations, packaging configuration, and the preparation for the transportation of shipments of radioactive material from Peru to the United States of America.

As part of the joint work plan, a pre-work meeting was conducted to ensure both teams understood the safety and technical aspects of the work to be conducted. Also, daily meetings were held in order to discuss the work expected to be completed during that day and review previously conducted work to see what improvements could be made to prepare for activities. Both technical teams developed activities according to the joint program needs (1). See Figures 1 and 2.



Figure 1. Coordinated work between IPEN and LANL teams.



Figure 2. IPEN and LANL working groups.

2.2 General work activity process

– Pre Job/Daily/Site Safety Meeting: Prior to start the work, daily safety meetings were conducted by the joint team leaders to discuss what work was expected that day and any improvements in the work and safety for the processes already conducted.

– Radiological Monitoring: Radiological surveys, beta/gamma/neutron area survey and contamination checks in work areas, were conducted by radiological protection personnel from both teams before, during, and after each work day. Radiological protection personnel identified sources of radiation and designated low dose, safe waiting areas. During source/device identification and packaging radiological protection personnel monitored the process to help personnel minimize radiation dose received. See calibrated radiation protection equipment used which was provided by the LANL team (Figure 3).



Figure 3. Measurement of dose-rate.

– Stage containers and equipment for work activities: In preparation for the day's expected work, each team would stage the equipment and containers to be used.

– Perform container inspections prior to use:

- Complete and document external inspection.
- Open and complete internal inspection.

- Establish Work Area:
 - Coordinate with site representatives to exclude unnecessary personnel.
 - Coordinate removal of unnecessary sources of radiation located in or near the work area (Figure 4).



Figure 4. Removal of disused sealed sources.

- Establish a buffer area that restricts personnel entry during source movement.
- Establish a low dose work area for non-source handling activities.
- Minimize number of personnel used during source movement or manipulator operations.
- IPEN team and source/device deconditioning and movements:
 - Previously, IPEN had followed the recommendation of the International Atomic Energy Agency (IAEA) to condition sources/devices in concrete to minimize access and place in long term storage. The sources had to be de-conditioned prior to packaging them. IPEN and OSRP teams developed several options on how to de-condition the sources from the concrete. IPEN determined which option was best and de-conditioned the sources/devices from the conditioned containers.
 - Once the sources/devices were de-conditioned from the containers, IPEN moved the sources/devices to be packaged by OSRP.
- OSRP Team and source/device verification prior to packaging:
 - Inspect and verify information of sources/devices.
 - Validate origin of sources/devices
 - Determine if sources were special form or not. If the sources were not special form and

could not be shipped in a Type-A container due to activity limits unless special form, the sources were encapsulated into the field sealable special form capsules IAEA Certificate of Competent Authority No. USA/0695/S-96 and USA/0696/S-96 [2].

- End of work activity
 - An end of work activity radiological surveys, beta/gamma/neutron area survey and contamination checks in work areas, were conducted by radiological protection personnel from both teams.
 - Contamination checks conducted on all tools and tools packed for shipment back to the U.S.
 - Record final personnel dosimetry results on for each team member.
 - Exit work area.
 - Conducted a closeout interview with IPEN and OSRP representatives to determine improvement in the process.
 - Establish tentative schedule for shipment of packaged material.

2.3 Packaging configuration

- Development of packaging plan

With each source checked for surface contamination and information verified by OSRP staff a packaging plan was created. Several different Type-A containers were sent by the OSRP team from a tentative packaging plan developed from the original sources/devices information provided by IPEN. Additional sources/devices of U.S.-origin had been received at IPEN between the time the original trip was planned and the actual trip. This required modification of the packaging plan.

Loading each Type-A container the following must be considered:

The activity limits for A1 (special form activity level) or A2 (non-special form activity level).

Maximum weight allowed in the Type-A container. Each source/device had been weighed during the inspection process to ensure not to exceed maximum weight allowed for the Type-A container being used during loading process.

External dose-rate of the container after loading.

After determining what part of the current inventory could be packaged in each container using the criteria above:

Determined if any sources required to be special formed in capsules.

Sources/devices were loaded into the Type-A containers and braced as needed.

External dose-rates were taken to prior to closing to ensure not to exceed limits.

The container was closed.

The container is prepared for shipment and sealed with a tamper-indicating device.

Final external dose-rates and contamination conducted for shipment.

After each container was completed, it was labeled for shipment and then moved out of work area to reduce dosage and storage until shipment [3].

3. Results and discussions

542 disused sealed sources were repatriated. The amount and type of sealed sources can be seen in Figure 5.

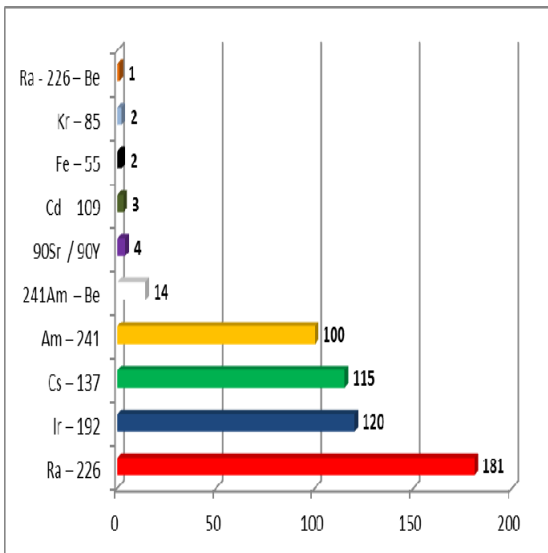


Figure 5. Inventory of repatriated disused sealed sources.

Disused sealed sources were put into eleven certified containers. The characteristic of all packages are shown in Table 1.

One of the main problems was the original attempt for transportation of the shipment by sea; however, no maritime company was willing to accept the cargo. After three months, it was determined that transportation was to be changed to air. An airline accepted and transportation was conducted successfully in accordance with regulation of the IAEA and International Air Transport Association.

Table 1. Category and transport index of packages.

Package / Drum	Weight (kg)	Volume (m ³)	Code	Index Transport
B-25, Box 1	3042	3,2	UN 2915	4,4
B-25, Box 2	3020	3,2	UN 2915	0,4
B - 1	363	0,055	UN 3332	0,4
B - 2	363	0,055	UN 3332	0,3
B - 3	363	0,055	UN 3332	1,3
B - 4	363	0,055	UN 3332	0,4
B - 5	363	0,055	UN 3332	1,3
Drum 1 ,Type-A	125	0,2	UN 2915	3,3
Drum 2, Type-A	300	0,2	UN 2915	1,2
Drum 699 ,S100	225	0,2	UN 3332	1
Drum 724, S100	225	0,2	UN 3332	1,1

One of the main problems was the original attempt for transportation of the shipment by sea; however, no maritime company was willing to accept the cargo. After three months, it was determined that transportation was to be changed to air. An airline accepted and transportation was conducted successfully in accordance with regulation of the IAEA and International Air Transport Association.

4. Conclusions

The joint work plan and meetings conducted ensured both teams understood the safety and technical aspects of the work to be conducted. All activities were implemented in a safe, compliant, and successful manner.

There was a permanent bond built between two technical teams of IPEN and LANL. Also this endeavor helped foster a stronger relationship between IPEN and DOE-GTRI.

The end-of-life management of disused sealed sources is important to address public health and safety concerns, as well as to

ensure that dangerous radioactive materials are not used for malicious purposes. To further its mission of securing and removing nuclear and radiological material worldwide, DOE-GTRI will continue to consider requests for the repatriation of disused U.S.-origin sealed sources, and will continue to work with partner countries to ensure that both in-use and disused radioactive sources remain adequately protected.

5. Acknowledgements

Our special thanks to all members of the technical team of IPEN-LANL, people from Radioactive Waste Management Plant, Direction of Production, Division of General Services, Direction of International Cooperation, Direction of Training for their invaluable cooperation for making possible the first successful repatriation of disused sealed radioactive sources, to the United States of America.

6. Bibliography

- [1] Los Alamos National Laboratory - LANL. OSR-OP-130 Work Plans for Source Recovery Operations at Off-site Locations.
- [2] CCP-TP-069, Sealed Source Visual Examination and Packaging. 2010.
- [3] International Atomic Energy Agency. Handling, conditioning and storage of spent sealed radioactive sources. IAEA-TECDOC-1145. Vienna: IAEA; 2000.

Análisis del control regulatorio de la radiografía industrial en el Perú

Miguel Ticllacuri

Oficina Técnica de la Autoridad Nacional, Instituto Peruano de Energía Nuclear, Av. Canadá 1470,
Lima 41, Perú

Resumen

En el presente trabajo se muestra la situación actual de la radiografía industrial en el Perú, la cantidad de entidades operadoras autorizadas, incidentes ocurridos y los principales aspectos de la reglamentación peruana en materia de seguridad radiológica y física en esta práctica que contribuye en la reducción de sus riesgos asociados.

Abstract

This work will show the current status of industrial radiography in Peru, among other things, number of facilities, some incidents and the main aspects of the Peruvian regulation on radiation safety and security, in this practice, in order to reduce the associated risks.

1. Introducción

La radiografía industrial, basada principalmente en el uso de rayos X o fuentes radiactivas, son técnicas de ensayos no destructivos destinada al control de calidad de materiales o de procesos y es muy utilizada en la industria siderúrgica, naval, aeronáutica, nuclear y petrolera, principalmente empleada para la identificación y clasificación de los defectos de soldaduras.

Las altas tasas de dosis involucradas en esta práctica y los lamentables accidentes reportados en todo el mundo, hacen que las actividades y usos de radiaciones ionizantes deban estar sujetas al control y fiscalización a cargo de un organismo del Estado dedicado a su regulación, dotado de una infraestructura y competencias técnico-científicas apropiadas, con el fin de asegurar un nivel adecuado de protección de las personas contra los efectos nocivos de las radiaciones.

Típicamente, el equipamiento básico usado en la radiografía industrial consiste de un tubo de rayos X así como la unidad de comando desde donde se establecen los parámetros de disparo como el voltaje, amperaje y el tiempo de exposición. Por otro lado, la radiografía industrial con fuentes radiactivas requiere de un proyector y una fuente radiactiva. Ambas técnicas usan dispositivos de vigilancia radiológica como detectores y dosímetros. En la Figura 1 se muestra el equipamiento que debe tener una entidad operadora en radiografía industrial con fuente radiactiva.

En el Perú, el organismo que controla el uso de radiación ionizante es el Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN) a través de la Oficina Técnica de la Autoridad Nacional (OTAN) facultada para emitir autorizaciones, realizar inspecciones y aplicar acciones de coerción de acuerdo con el marco legal amparado en los siguientes decretos:

- a. Decreto Ley No. 21875, Ley Orgánica del IPEN [1].
- b. Decreto Supremo No. 009-97-EM, aprueba el Reglamento de Seguridad Radiológica [2].
- c. Decreto Ley No. 27757, Ley de prohibición de la importación de bienes, maquinarias y equipos usados que utilicen fuentes radiactivas [3].
- d. Decreto Supremo No. 001-2004-EM, aprueba el Reglamento de la Ley No. 27757 [4].
- e. Decreto Ley No. 28028, Ley de regulación del uso de fuentes de radiación ionizante [5].
- f. Decreto Supremo No. 039-2008-EM, aprueba el Reglamento de la Ley No. 28028 [6].

Asimismo, basado en los resultados de la experiencia fiscalizadora, incidentes ocurridos en otros países, realidad de las entidades fiscalizadas y el desarrollo tecnológico, la OTAN hizo posible la aprobación de las siguientes normas en este campo:

* Correspondencia autor: mticllacuri@ipen.gob.pe



Figura 1: Equipamiento de la práctica de radiografía industrial con ^{192}Ir , (1) Proyector gammagráfico, (2) Cable portafuente, (3) Cable de control o telemando, (4) Tubo guía, (5) Dispositivos de detección de radiaciones, (6) Colimadores.

- Norma IR.001.2009, Requisitos de seguridad radiológica en radiografía industrial [7].
- Norma SF.001.2011, Requisitos de seguridad física de fuentes radiactivas [8].

Por último, el IPEN como entidad pública cuenta con un documento de gestión que compila los procedimientos administrativos y servicios exclusivos que regula y brinda y se denomina Texto Único de Procedimientos Administrativos (TUPA) [9]. En este documento se ordena de manera homogénea los requisitos que deben cumplir las entidades operadoras para poder obtener una licencia de operación u otra autorización específica.

2. Desarrollo

En el Perú, las entidades operadoras en la práctica de radiografía industrial requieren de una licencia de operación que es emitida por la OTAN. La licencia de operación se otorga luego de una rigurosa evaluación de la documentación presentada y la inspección al recinto de almacenamiento, siempre que se compruebe que la entidad operadora cumple con los requisitos establecidos en el TUPA y satisface los requerimientos mínimos que exigen las normas IR.001.2009 y SF.001.2011.

Como es usual en casi todos los países del mundo, el titular de la licencia es el responsable primario por la seguridad radiológica y física de la instalación y de todas las actividades que se desarrollan e

involucran el uso de fuentes radiactivas o equipos de rayos X. En cumplimiento de la norma, el titular de la licencia puede designar a un Oficial de Protección Radiológica (OPR), quien deberá ejecutar el programa de protección radiológica operacional de la entidad. Para ello, debe facilitar los recursos necesarios para el cumplimiento de las funciones asignadas y monitorear sus tareas. Entre las funciones más destacadas que debe cumplir el OPR se puede mencionar las siguientes:

- Supervisar el cumplimiento de las condiciones y límites de la licencia de operación y las normas aplicables.
- Controlar que solo los operadores autorizados o asistentes supervisados ejecuten exposiciones radiográficas.
- Elaborar, revisar y modificar los procedimientos así como velar por su cumplimiento.
- Supervisar en el emplazamiento de trabajo que el equipo de operadores sea el suficiente, además que tenga los dispositivos de detección de radiaciones y el kit de emergencia adecuado, también que se efectúen mediciones de tasas de dosis y elaboren los registros de operación.
- Preparar y supervisar el transporte de material radiactivo.
- Registrar las dosis mensuales del personal operador.
- Elaborar y mantener la documentación, procedimientos y registros, así como las

requeridas por la licencia.

2.1 *Status de la radiografía industrial*

La facultad que tiene la OTAN de controlar la gestión de fuentes de radiación ionizante alcanza a los procesos de importación, operación, transporte y gestión de fuentes agotadas. Este control, entre otras cosas, requiere la tenencia de bases de datos que se actualicen permanentemente a fin de que puedan ofrecer estadísticas y seguimiento de la gestión de las fuentes de radiación que hacen las entidades operadoras.

En la Tabla 1 se muestra la situación actual de esta práctica. En ella se observa el número de entidades operadoras, la cantidad de fuentes de radiación y el número de personas autorizadas entre OPR, operadores y personal de mantenimiento. Las cifras que se muestran han sido obtenidas de las bases de datos en la OTAN hasta el mes de diciembre del año 2011.

En los últimos años, la explotación de los yacimientos del gas de Camisea ha sido la razón principal de que se lleve a cabo esta actividad, incrementando la adquisición de equipos de rayos X, fuentes radiactivas y proyectores gammagráficos.

Tabla 1. Principales datos actuales de la radiografía industrial en el Perú.

Parámetro	Número
1. Entidades operadoras en radiografía industrial	35
- con ^{192}Ir	27
- con ^{60}Co	1
- con rayos X	7
- con ^{192}Ir y rayos X	2
- mantenimiento	1
2. Proyectores gammagráficos	129
3. Equipos de rayos X	15
4. Personas licenciadas	352
- operadores	305
- OPR	58
- OPR y operador	51
- mantenimiento de equipos	4

2.2 *Situaciones incidentales*

La radiografía industrial con ^{192}Ir es la actividad que más riesgos potenciales de exposición tiene asociada. Los proyectores que alojan a la fuente radiactiva suelen transportarse hacia los emplazamientos donde se harán las radiografías y serán almacenados temporalmente *in situ*. En todos los

escenarios donde pueda estar presente un proyector con una fuente radiactiva debe considerarse una probabilidad latente que se produzca un incidente, tales como:

- Accidentes de tránsito o robo durante el transporte.
- Intrusión no autorizada y robo en los recintos de almacenamiento temporales.
- Desprendimiento de la fuente radiactiva del proyector o atascamiento de esta en el tubo guía.
- Sobreexposición de operadores y personas del público.
- Incendio o explosión en el almacenamiento o durante el transporte.

Como puede apreciarse, las causas de estos sucesos podrían asociarse al factor humano, falla de equipos e incluso el control regulatorio.

En el mundo, la lista de incidentes y accidentes en radiografía industrial con ^{192}Ir es muy larga y muchas víctimas sufrieron las consecuencias severas de la radiación gamma que emite la fuente. El Perú no estuvo exento de estos hechos y como muestra de ello se describen los sucesos más significativos ocurridos.

1977, Zona del Oleoducto [10]

Tipo de evento: Exposición accidental a una fuente.

Descripción: La pobre supervisión de un proyector con una fuente de ^{192}Ir permitió el uso no autorizado de trabajadores no entrenados. Tres personas resultaron heridas por sobreexposición con dosis por encima de 16400 rad en las manos, 90 rad en ojos y 200 rad de cuerpo entero. A dos de ellos se le amputaron varios dedos y el tercero sufrió lesiones en la mano izquierda.

Consecuencias: Tres personas con lesiones deterministas severas, dos de ellos con amputaciones en varios dedos de la mano.

1999, Yanango [11]

Tipo de evento: Fuente perdida.

Descripción: Un soldador que trabajaba en una planta hidroeléctrica recogió una fuente perdida de ^{192}Ir y la puso en el bolsillo de la parte posterior de su muslo derecho. Después de seis horas, el soldador manifestó dolor en esa zona del cuerpo y se fue a casa provocando exposiciones menores a los

miembros de su familia. La dosis estimada de cuerpo entero que recibió el soldador fue de 150 rad mientras que la dosis localizada fue por encima de los 10000 rad lo que obligó la amputación de la pierna derecha.

Consecuencias: Una persona herida con lesiones deterministas severas y amputación de pierna.

2009, Lima

Tipo de evento: Dispersión de pellets.

Descripción: Una empresa licenciada realizaba trabajos de radiografía con ^{192}Ir y se rompió la cápsula del cable portafuente provocando la dispersión de los pellets. La causa de este incidente pudo haberse debido a fallas en el proceso de fabricación.

Consecuencias: No hubo exposiciones por encima de los límites permisibles.

2009, Cajamarca

Tipo de evento: Hurto de proyector gammagráfico en recinto de almacenamiento temporal.

Descripción: Una empresa licenciada que realizaba trabajos de radiografía con ^{192}Ir en un campamento minero tuvo su proyector almacenado en un recinto proporcionado por su contratista. Un grupo de personas manifestantes ingresó al emplazamiento, en especial al recinto y tomó posesión del proyector gammagráfico. La causa principal de este incidente se debió a la ausencia o deficiencia de seguridad física en el almacenamiento.

Consecuencias: Se recuperó el proyector sin consecuencias sanitarias.

2009, Lima

Tipo de evento: Accidente de transporte.

Descripción: Una empresa licenciada realizaba el transporte de un proyector gammagráfico en su propia unidad y sufrió la colisión con otro vehículo. Aunque el suceso resultó ser fortuito, en el lugar de los hechos se observó que el transporte del proyector no se realizaba con las medidas de seguridad física requeridas.

Consecuencias: No hubo consecuencias radiológicas en el incidente.

2009, Trujillo

Tipo de evento: Exposición inadvertida de persona del público.

Descripción: Una empresa licenciada realizaba operaciones radiográficas con ^{192}Ir cuando, de manera inadvertida, una persona ajena a las operaciones – considerada miembro del público – ingresó al área controlada. La causa de este suceso se debió a fallas de procedimiento en el control de acceso a área controlada.

Consecuencias: No hubo consecuencias sanitarias en la persona expuesta y la dosis no habría superado los 2.8 mSv.

2010, Lima

Tipo de evento: Robo de un proyector gammagráfico durante el transporte.

Descripción: Una empresa licenciada se dirigía al emplazamiento donde iba a realizar sus operaciones. El desplazamiento lo hacía en un taxi y al llegar al destino, mientras se hacían gestiones para el acceso, sufrió el robo de sus equipos, entre ellos un proyector gammagráfico. Aun cuando se trató de un imprevisto, la unidad de transporte no era la adecuada.

Consecuencias: Se recuperó el proyector sin consecuencias sanitarias.

2011, Lima

Tipo de evento: Robo de un proyector gammagráfico durante el transporte.

Descripción: Una empresa licenciada se dirigía en su propia unidad a su sede luego de realizar trabajos de radiografía con ^{192}Ir . En el trayecto la unidad sufrió desperfectos y deciden culminar la expedición en taxi y al llegar al destino, no se descarga el equipamiento completo y el taxi emprende la marcha llevándose el proyector que se encontraba en el piso del vehículo. La causa de este suceso sería por fallas procedimentales en el transporte y deficiencias en la seguridad física.

Consecuencias: Se recuperó el proyector sin consecuencias sanitarias.

3. Resultados y Discusión

En el país hasta el año 2011 han ocurrido dos accidentes radiológicos con consecuencias determinísticas en personas; sin embargo, lo que llama la atención es la ocurrencia de incidentes relacionados con la falta o resquebrajamiento de la seguridad física durante el transporte y almacenamiento de los proyectores gammagráficos. Es posible

atribuir la ocurrencia de estos incidentes al desconocimiento de parte de las entidades operadoras del tema de seguridad física así como de los alcances de la norma SF.001.2011.

4. Conclusiones

Las entidades operadoras en radiografía industrial, principalmente las de radiografía industrial portátil, necesitan comprometerse aún más con la seguridad y gestionarla con la seriedad que se merece.

La OTAN, a través de los mecanismos de fiscalización, debe recomendar que las gerencias y los trabajadores – OPRs y operadores – mejoren sus actitudes y valores en materia de seguridad.

La reducción de las tasas de incidentes por causas de factores humanos puede corregirse con un programa serio de capacitación y entrenamiento a los operadores de las entidades licenciadas, junto con una frecuente fiscalización. Por otro lado, aquellos incidentes con causas en fallas de los equipos se corrigen con la ejecución del correspondiente programa de mantenimiento. La disminución de los incidentes por estas causas pasa por el cumplimiento de los requerimientos para lograr un *estándar de seguridad* razonable aun cuando no se disminuya a cero la probabilidad de ocurrencia. Es por ello que es importante alcanzar ese estándar de seguridad y sostenerlo a lo largo del tiempo.

5. Agradecimientos

Un agradecimiento especial a los colegas de la OTAN que, sin su colaboración, no habría sido posible el presente reporte.

6. Bibliografía

- [1] Instituto Peruano de Energía Nuclear. Ley Orgánica del IPEN. Decreto Ley No. 21875. Disponible en URL: http://www.ipen.gob.pe/site/transparencia/transp_2012/d_generales/ley_organica_21875.pdf
- [2] Instituto Peruano de Energía Nuclear. Reglamento de Seguridad Radiológica. D.S. No. 009-97-EM. Disponible en URL: http://www.ipen.gob.pe/site/regulacion/leyes_normatividad.htm
- [3] Instituto Peruano de Energía Nuclear.

- Ley N° 27757, Ley de prohibición de la importación de bienes, maquinarias y equipos usados que utilicen fuentes radiactivas. Disponible en URL: http://www.ipen.gob.pe/site/regulacion/normatividad/ley_27757proh_import.pdf
- [4] Instituto Peruano de Energía Nuclear. Decreto Supremo N° 001-2004-EM. Aprueban Reglamento de la Ley N° 27757, Disponible en URL: http://www.ipen.gob.pe/site/regulacion/normatividad/reglam_ley_27757.pdf
- [5] Instituto Peruano de Energía Nuclear. Ley N° 28028. Ley de regulación del uso de fuentes de radiación ionizante. Disponible en URL: http://www.ipen.gob.pe/site/regulacion/normatividad/ley_27028.htm
- [6] Instituto Peruano de Energía Nuclear. Reglamento de autorizaciones, fiscalización, control, infracciones y sanciones de la Ley N° 28028 Ley de Regulación del Uso de Fuentes de Radiaciones Ionizantes. 2008. Disponible en URL: http://www.ipen.gob.pe/site/publicaciones/ley_28028/reglamento_ley28028.pdf
- [7] Instituto Peruano de Energía Nuclear. Requisitos de seguridad radiológica en radiografía industrial. Norma IR.001.2009. Disponible en URL: http://www.ipen.gob.pe/site/regulacion/leyes_normatividad.htm
- [8] Instituto Peruano de Energía Nuclear. Requisitos de Seguridad Física de Fuentes Radiactivas, Norma SF.001.2011. Disponible en URL: http://www.ipen.gob.pe/site/regulacion/leyes_normatividad.htm
- [9] Instituto Peruano de Energía Nuclear. Texto Único de Procedimientos Administrativos. D. S. N° 020-2005-MEM y modificado por R.M. No. 033-2008-MEM/DM. Disponible en URL: [http://www.ipen.gob.pe/site/transparencia/tup_a_ipen.pdf?ent_nom=Instituto Peruano de Energía Nuclear \(IPEN\)&id_entidad=95](http://www.ipen.gob.pe/site/transparencia/tup_a_ipen.pdf?ent_nom=Instituto%20Peruano%20de%20Energía%20Nuclear%20(IPEN)&id_entidad=95)
- [10] Johnson Robert. Database of radiological incidents and related events. [serie en Internet]. Disponible en URL: <http://www.johnstonsarchive.net/nuclear/radevents/index.html>
- [11] International Atomic Energy Agency. The radiological accident in Yanango. Vienna: IAEA; 2000.

Evaluación de dosis radiactiva en neonatos durante su estancia en UCI

Rolinson Paniagua¹, Germán Cáceres^{2,*}, Jerry Medrano¹

¹Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas, Universidad Nacional del Callao, Av. Juan Pablo II 306, Callao 2, Perú

²Dirección de Producción, División de Reactores Nucleares, Instituto Peruano de Energía Nuclear, Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

Resumen

En radiología pediátrica la protección radiológica es de suma importancia debido a la gran radiosensibilidad de los tejidos en la infancia y la mayor expectativa de vida que pueden llevar a presentar los efectos estocásticos. El estudio de la región torácica por medio de rayos X es un examen de diagnóstico común en los hospitales con salas pediátricas. En este trabajo se realizó una investigación sobre la exposición de los neonatos a las radiaciones durante una radiografía de tórax con rayos X, en la sala de UCI para neonatos de un hospital de la ciudad de Lima, con el fin de estimar niveles de referencia de dosis directa y dispersa. Con esa finalidad se registró toda la información concerniente al número de exámenes/mes, estancia en UCI y los parámetros de exposición como tensión, corriente del tubo, distancia foco-paciente y tamaño del campo. El cálculo de dosis en superficie y en profundidad se evaluó mediante dosimetría por TLD y un simulador físico (fantoma) de agua de forma cilíndrica, debido a la geometría y características de un recién nacido se emplea el código MCNP basado en el método monte carlo.

Evaluation of radiation dose in neonates during their stay in ICU

Abstract

In pediatric radiology, radiological protection is important due to the radio-sensitivity of the tissues in neonates and stochastic effects. This work had the objective to estimate dose levels, direct and scattered, of infants to the radiation during a chest radiograph x-ray in the neonatal room UCI of a hospital in Lima; considering the number of records relating to examinations per month in UCI, and exposure parameters as voltage, tube current, focus-patient distance and field size. The calculation of the superficial dose was realized using dosimetry TLD and a water phantom of cylindrical geometry. The MCNP code, based on the method Monte Carlo, was used.

1. Introducción

Los niños son los más vulnerables y presentan un mayor riesgo radiológico que los adultos durante una exposición a radiaciones ionizantes, como es el caso de los recién nacidos y lactantes con infecciones como Síndrome de Dificultad Respiratoria (SDR) y enfermedad cardíaca congénita con estancia en una Unidad de Cuidados Intensivos (UCI). Debido al pequeño volumen del cuerpo de un recién nacido durante un examen AP de tórax, toda la zona abdominal y sus órganos genitales forman parte de la región directamente expuesta a la radiación. El objetivo de nuestro estudio es establecer una dosis de referencia en exámenes de tórax para recién nacidos y mejorar las buenas prácticas médicas, racionalizar el uso de radiaciones ionizantes o métodos que aporten una alta tasa de dosis a neonatos [5].

2. Metodología

El diseño inicialmente fue planteado de dos formas; en primer lugar, considerando un ambiente real de operación (UCI) con las 6 incubadoras dispuestas de manera matricial y un equipo de rayos X; en segundo lugar, un diseño considerando un solo ambiente, una incubadora y un equipo de rayos X, tal como se observa en las Figuras 1 y 2. Se utilizaron 20 dosímetros tipo TLD y una botella de agua de 2500 ml como fantoma [6].

2.1 Diseño Experimental 1

Para este diseño se colocaron los 18 dosímetros (dos por punto) en las paredes de la estancia UCI, los dos restantes fueron usados como testigo y como fondo, el objeto

* Correspondencia autor: gcaceres@ipen.gob.pe

de este diseño fue medir la dosis dispersa y directa.

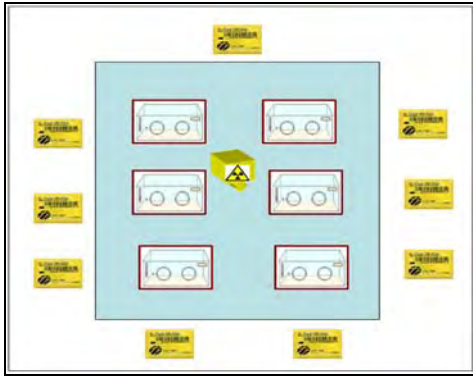


Figura 1. Primer diseño experimental.

2.2 Diseño Experimental 2

Para el segundo diseño se trabajó en grupos de 5 dosímetros por lectura, 4 dosímetros a 1 m de la incubadora al mismo nivel (Figura 2) y uno en el centro del fantoma; el tubo estuvo ubicado a 1 m de la base de la incubadora.

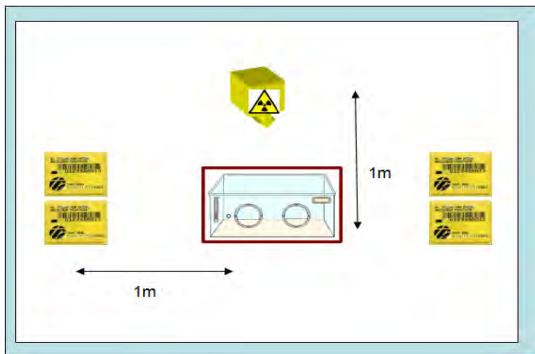


Figura 2. Segundo diseño experimental.

2.3 Tablas de datos Informativos

Tabla 1. Parámetros de operación en UCI.

Parámetros	Valor min.	Valor máx.	Valor medio
Voltaje (kV)	50	54	52
Corriente (mAs)	2	4	2.93
Distancia (cm)	150	390	199.85
Paciente –Paciente			
Tamaño de campo (cm ²)	18x24	24x24	21x24

La distancia entre paciente – paciente es la separación entre incubadoras

Tabla 2. Número de exámenes realizados a neonatos.

Mes	Exámenes/mes	\bar{X} (exámenes/día)
M1	40	2
M2	60	2
M3	84	3
M4	63	2

Para tener referencia de la cantidad de exámenes realizados a un grupo de paciente analizamos la información obtenida y seleccionamos a 5 pacientes con una carga referencial de estancia en el hospital y en la UCI.

Tabla 3. Estancia de Neonatos en el hospital y UCI.

Pacientes	Estancia en el hospital (días)	Estancia en UCI (días)	Exámenes
P1	52	13	20
P2	37	8	13
P3	34	10	7
P4	25	10	6
P5	8	6	2

2.4 Método según las recomendaciones del NCRP-147

Para la parte teórica se ha utilizado la recomendación del reporte del NCRP 147 [1], que considera el Kerma en aire por unidad de carga de trabajo en mGyA⁻¹min⁻¹ a una distancia de la fuente de rayos X y operando a un potencial (kVp), dependerá, según las siguientes expresiones [1]:

$$K_p^1 = K_w^1(kV_p)W(kW_p)$$

$$K_s(\theta, kV_p) = \frac{K_p^1(kV_p) \alpha_1(\theta, kVp) \times 10^{-6} F}{d_s^2 d_f^2}$$

Donde:

- K_p^1 : Kerma en aire del haz primario.
- K_s : Kerma en aire del haz dispersado.
- K_w^1 : Kerma en aire por unidad de carga.
- α_1 : Fracción de dispersión del haz primario.
- F : Tamaño de campo.
- θ : Angulo de dispersión.
- d_s : Distancia al dosímetro
- d_f : Distancia al foco.

2.5 Método de simulación Monte Carlo

En el presente estudio se trabaja con simulación utilizando el código MCNP5 basado en el método Monte Carlo. En las Figuras 3 y 4 presentamos los diferentes planos de la sala de rayos X en la UCI.

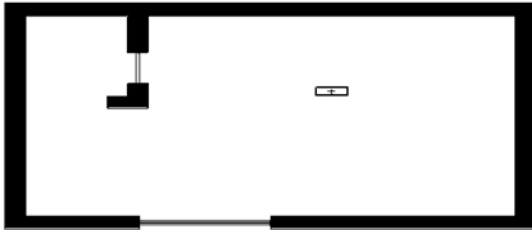


Figura 3. Ambiente en el plano XY.

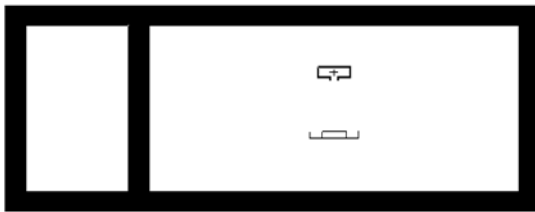


Figura 4. Ambiente en el plano XZ.

3. Resultados

- Para los exámenes en neonatología se tiene asignado un equipo radiográfico rodante marca Philips, modelo Practix 160, tubo marca Technix, modelo X220.8 de 125kV y 200 mAs como máximo: con filtración de 0.7 mmAl. Considerando el primer diseño para la primera lectura, la permanencia de los dosímetros fue de 15 días y para la segunda lectura se trató de mejorar los resultados asignando 21 días de permanencia.
- Los resultados obtenidos para la primera y segunda lectura no presentan dosis significativas superiores al nivel de registro (0,1 mSv/mes), como se verifica en la Tabla 4, por esta razón se plantea el diseño experimental 2 para los cálculos de dosis referencia.
- Para las siguientes pruebas se aplicó el segundo diseño experimental, donde se mide dosis directa y dosis dispersa, utilizando un tamaño de campo de 24 x 24 cm² y de acuerdo con los parámetros de referencia señalado en el punto 2.2.

Tabla 4. Dosis en la sala de UCI, según el primer diseño experimental.

Lecturas	1°		2°		
	TLD	Hp(10)	Hp(0.07)	Hp(0.07)	
1		0	0	0.02	0.02
2		0	0	0.01	0.01
3		0	0	0.02	0.02
4		0	0	0.01	0.01
5		0	0	0.03	0.03
6		0	0	0	0
7		0	0	0.02	0.02
8		0	0	0	0
9		0	0	0	0
10		0	0	0	0
11		0	0	0	0
12		0	0	0.01	0.01
13		0	0	0	0
14		0.02	0.02	0.03	0.03
15		0	0	0.03	0.03
16		0.01	0.04	0.02	0.02
17		0	0	0	0
18		0	0	0	0

Tabla 5. Dosis directa para 50 kV y 4 mAs.

Dosis/examen	(mSv)	
	Hp(10)	Hp(0.07)
	0.094	0.16
	0.088	0.124
	0.084	0.12
	0.087	0.11
	0.080	0.10
\bar{x}	0.087	0.12
σ	0.0046	0.0204

Tabla 6. Dosis para 52kV y, 2.8mAs.

Dosis/examen	(mSv)	
	Hp(10)	Hp(0.07)
	0.040	0.064
	0.035	0.057
	0.032	0.054
	0.031	0.052
	0.030	0.050
\bar{x}	0.034	0.06
σ	0.0036	0.0049

Tabla 7. Dosis para 54kV, 2mAs.

	Dosis/examen (mSv)	
	Hp(10)	Hp(0.07)
	0.032	0.046
	0.035	0.050
	0.030	0.040
	0.038	0.059
	0.040	0.061
\bar{x}	0.035	0.05
σ	0.0037	0.0079

- Los resultados mostrados en las Tablas 5, 6 y 7 hacen referencia a las lecturas para dosis directa por examen, obtenidas de acuerdo con los parámetros del segundo diseño experimental, estas dosis corresponden a los factores establecidos que son aplicados en exámenes de tórax a los neonatos por el personal encargado de la UCI.

Tabla 8. Dosis dispersa promedio aplicando el segundo diseño experimental a 1 m de la incubadora.

Factores	Dosis /examen(mSv)	
	Hp(10)	Hp(0.07)
50kV ; 4mAs	0.0033	0.0035
52kV ; 2.8mAs	0.0004	0.0005
54 kV ; 2mAs	0.00038	0.000375

Tabla 9. Dosis total en los pacientes seleccionados de acuerdo con la Tabla 3.

DISTRIBUCION DE DOSIS TOTAL EN LOS PACIENTES (mSv)						
Pacientes	50kV, 4mAs=		52kV, 2.8mAs		54kV, 2mAs	
	Hp(10)	Hp(0.07)	Hp(10)	Hp(0.07)	Hp(10)	Hp(0.07)
P1	1.73	2.46	0.70	1.11	0.68	1.02
P2	1.13	1.60	0.45	0.72	0.44	0.67
P3	0.61	0.86	0.24	0.39	0.24	0.36
P4	0.52	0.74	0.21	0.33	0.20	0.31
P5	0.17	0.25	0.07	0.11	0.07	0.10

- En la Tabla 9 se muestra el cálculo total de dosis directa sobre el paciente (neonato) que se calcula multiplicando la cantidad de exámenes realizados según la Tabla 2 por los factores utilizados de acuerdo con las Tablas 5, 6 y 7, considerando el segundo diseño experimental.

Tabla 10. Dosis calculada según el NCRP- 147.

Factores	Dosis/examen(mSv)	
	Directa (Kp)	Dispersa (Ks)
50kV ; 4mAs	0.0859	0.0002
52kV; 2.8mAs	0.0651	0.00015
54 kV; 2mAs	0.0503	0.00012

- En la Tabla 10 se muestra la evaluación de dosis directa y dispersa, según las recomendaciones del NCRP 147 que presenta información técnica relacionada con el diseño y blindaje para instalaciones de radiodiagnóstico.

Tabla 11. Resultado de dosis obtenida por simulación utilizando el código MCNP5 basado en el método Monte Carlo.

Factores	Dosis/examen (mSv)	
	Directa (Kp)	Dispersa (Ks)
50kV ; 4mAs	0.0868	0.000369
52kV ; 2.8mAs	0.0608	0.000258
54 kV; 2mAs	0.0434	0.000184

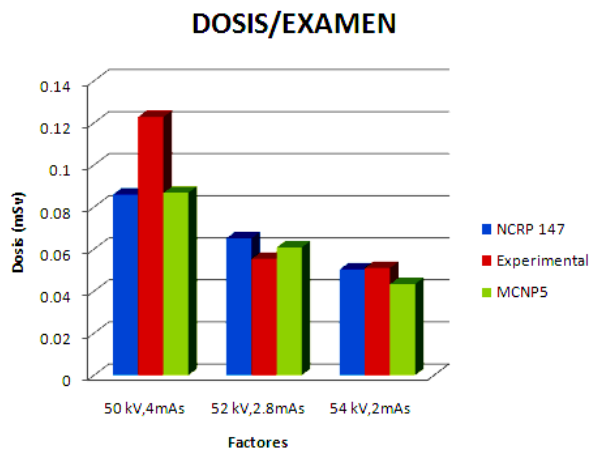


Figura 5. Cuadro comparativo de dosis directa por examen evaluado para los tres métodos planteados.

4. Conclusiones

- Los resultados de las dosis por examen encontrados en una exposición de torax a neonatos servirá como dosis de referencia para garantizar una buena práctica de estudios radiológicos y la optimización de la protección radiológica en pediatría, de acuerdo con las recomendaciones del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) la dosis de referencia en la superficie de entrada por proyección

única para Tórax antero-posterior es de 80 μ Sv [8].

- Considerando la dosis total que recibiría un neonato, los exámenes pediátricos deben requerir especial consideración en el proceso de justificación, dado que los factores de riesgo de incidencia de efectos estocásticos es mayor en los niños y de acuerdo con el OIEA el riesgo pediátrico para una dosis efectiva de 0.01 mSv es 1/millón de contraer cáncer [7].
- Como medio de protección debido a la dosis dispersa, específicamente para la sala de la UCI de neonatología, se recomienda utilizar un biombo o cortina plomada de tal forma que disminuya el riesgo de recibir una dosis sin justificar el beneficio de la exposición.
- Los resultados obtenidos producto de los diferentes métodos indican que es factible realizar un estudio para dosis de referencia aplicando los métodos desarrollados en este informe.

5. Agradecimientos

A los ingenieros César Chau y Gerardo Lázaro, por su valioso apoyo en el uso del código MCNP. A la Lic. Nora Acosta y los Físicos del Hospital Nacional 2 de Mayo por sus aportes y facilidades de equipos para la realización del presente trabajo. A la Empresa Dosirad S.A, por haber depositado su confianza en nuestro trabajo de Investigación proporcionándonos el servicio de dosimetría TLD.

6. Bibliografía

- [1] NCRP Report No. 147: Structural shielding design for medical X-ray imaging facilities. 2004.
- [2] Birch R, Marshall M, Ardan GM. Catalogue of spectral data for diagnostic X-rays. 1979
- [3] X-5 Monte Carlo Team. MCNP: A General Monte Carlo N-Particle Transport Code. Version 5. Volume I: Overview and theory. Volume II: User's Guide. Volume III: Developer's Guide. 2005.
- [4] McConn Jr. RJ, Gesh CJ, Pagh RT, Rucker RA, Williams III RG. Compendium of material composition data for radiation transport modeling. 2011.
- [5] Morales J, Jaramillo W, Puerta JA, Tamayo M, Llano A, Moncada L. Dosis de referencia pediátrica para tórax en Antioquia. 2010.
- [6] Enrique Gaona, Alma Selene Frayre Ostos, Teodoro Rivera, Jesús Franco. Radiation dosimetry in a neonatal intensive care unit in computed radiography. 2011.
- [7] International Atomic Energy Agency. Radiation protection in paediatric radiology L01.
- [8] International Atomic Energy Agency. Radiation protection in paediatric radiology L21.

Ventajas logradas con el control de las importaciones de fuentes y equipos de radiación ionizante de uso industrial

Miguel Ticllacuri*

Oficina Técnica de la Autoridad Nacional, Instituto Peruano de Energía Nuclear, Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

Resumen

En el Perú, la Oficina Técnica de la Autoridad Nacional (OTAN) es la entidad reguladora que controla los procesos de importación de fuentes de radiación ionizante usados en medicina, en investigación y en la industria. Para un control efectivo de estas actividades, la OTAN dispone de la Ley No. 27757 y su Reglamento que obliga a toda entidad importadora de una fuente de radiación ionizante a gestionar previamente la autorización respectiva. El presente trabajo mostrará estadísticas de las importaciones de fuentes de radiación ionizante realizadas desde el año 2005, muy en particular de las fuentes radiactivas de uso industrial, así como las ventajas que ha generado este tipo de control en el quehacer regulatorio.

Abstract

In Peru, the Technical Office of the National Authority (OTAN) is the regulatory body which controls the processes of import of sources of ionizing radiation used in medicine, research and industry. In order to have an effective control of these activities, OTAN has the Law No. 27757 and its regulation that requires to any organization to manage the import authorization previously. This paper will show statistic of imports of ionizing radiation sources made since 2005, particularly of radioactive sources for industrial use, and the benefits generated by this kind of control in the regulatory work.

1. Introducción

Una fuente de radiación ionizante es cualquier fuente radiactiva, material nuclear, equipo de rayos X o equipo generador que puede ser usado en áreas como la medicina, investigación y la industria.

En *medicina* el uso es amplio y se puede mencionar, por ejemplo, alguno de ellos:

- Equipos de rayos X con fines de diagnóstico.
- Aceleradores lineales y fuentes radiactivas selladas en teleterapia.
- Fuentes radiactivas selladas usadas en braquiterapia.
- Fuentes radiactivas abiertas usadas en medicina nuclear.

En *investigación* suelen usarse las fuentes radiactivas para datación, investigaciones científicas en animales, caracterización de materiales, trazadores radiactivos, estudio de blindajes, etc.

En la *industria*, su aplicación la encontramos en:

- Equipos de rayos X, en analizadores de muestras (fluorescencia y difracción de rayos X), vigilancia y control de bultos,

inspección de objetos extraños en productos envasados, radiografía industrial, entre otros.

- Fuentes radiactivas selladas en radiografía industrial, medidores de nivel y de densidad, medidores de espesor y gramaje de papel, medidores de densidad y humedad de suelos, perfilaje de pozos petroleros, etc.

En el Perú, los procesos de importación de estas fuentes de radiación ionizante requieren de una autorización específica de acuerdo con los alcances de la Ley No. 27757 [1] y su reglamento [2]. Las ventajas de controlar las importaciones de fuentes de radiación ionizante radican en:

- Tener las coordenadas de los fabricantes y poder tener enlace con ellos.
- Contacto con las entidades reguladoras de los países exportadores.
- Acceder a los certificados emitidos por el fabricante y así poder tener una descripción completa de la fuente de radiación ionizante que se importa.
- Conocimiento de la entidad importadora y

* Correspondencia autor: mticllacuri@ipen.gob.pe

así disponer de un proceso trazable durante el ciclo de vida de la fuente de radiación ionizante.

- Disponer de un sistema que permita nutrir y actualizar el Registro Nacional de Fuentes que toda entidad reguladora debe poseer.

En el caso particular de las fuentes radiactivas o equipos que los contienen, éstos se gestionan en condiciones de seguridad tecnológica y física seguras [3], y aportan también numerosos beneficios a la humanidad. En ese sentido, los procesos de importación y exportación deben tener también mecanismos seguros y ser controlados adecuadamente.

Las fuentes radiactivas suelen categorizarse en base al concepto de “peligrosidad” que se cuantifica en relación a un valor D, que es la actividad específica del radionucleido de una fuente que, de no hallarse bajo control, podría causar graves efectos determinísticos en diversas circunstancias hipotéticas como la exposición externa procedente de una fuente sin blindaje o la contaminación interna o externa producto de la dispersión del material de la fuente [4]. Bajo este contexto, no debe ser difícil entender que las fuentes radiactivas de categorías 1 y 2 deben ser controladas con estrictos requisitos desde su fabricación hasta su disposición final.

Es por ello que, apoyado en las Directrices sobre la Importación y Exportación de Fuentes Radiactivas [5], la OTAN establece mecanismos para decidir si se autoriza o no la importación o exportación de fuentes radiactivas de estas categorías, extendiéndose también a las fuentes de categorías menos relevantes.

2. Desarrollo

En el Perú, las entidades que importan fuentes de radiación ionizante son las mismas operadoras – usuarios finales – o entidades prestadoras de servicio cuyo rubro es la comercialización.

Para poder importarlas deben tener una licencia de operación, registro de instalación o autorización de servicios vigente, emitida por la Oficina Técnica de la Autoridad Nacional (OTAN). Las entidades, en concordancia con la Ley No. 27757 y su Reglamento, deben solicitar la respectiva

autorización de importación y para ello deben presentar copia de la factura y documentos donde figure una descripción de la fuente de radiación, el año de fabricación y la vida útil declarada por el fabricante.

Con la autorización de importación emitida por la OTAN, la entidad importadora podrá retirar de Aduanas la fuente de radiación para trasladarla a sus instalaciones y darle el uso correspondiente.

2.1 Procesos de importación de fuentes de radiación ionizante

Independientemente del tipo de fuente de radiación ionizante (equipo de rayos X, equipo radiactivo o fuente radiactiva abierta o sellada), el proceso de importación es el mismo.

Para la presentación de resultados y solo con fines de comparación, se tendrá en consideración los procesos de importación desde el año 2005 y teniendo en cuenta lo siguiente:

- Fuentes radiactivas abiertas y selladas usadas en medicina e investigación.
- Equipos y fuentes radiactivas usadas en la industria.
- Equipos de rayos X en uso médico, investigación e industrial.

2.2 Importación de fuentes y equipos radiactivos usados en la industria

Como se mencionó en el apartado anterior, en la presentación de resultados se tendrá en consideración las importaciones realizadas de fuentes y equipos radiactivos desde el año 2005 y teniendo en consideración las siguientes actividades industriales:

- Fuentes radiactivas y proyectores utilizados en gammagrafía industrial.
- Fuentes radiactivas, generadores de neutrones, herramientas y calibradores utilizados en perfilaje de pozos petroleros.
- Medidores portátiles para determinar densidad y humedad de suelos y para perfilamiento de columnas de destilación.
- Medidores fijos para determinar densidades y espesores, para el control de nivel.

3. Resultados y Discusión

3.1 Procesos de importación de fuentes de radiación ionizante

De acuerdo con la consideración mencionada en el ítem 2.1, en la Figura 1 se muestra las estadísticas de importación de fuentes de radiación ionizante entre el año 2005 y 2011. Las barras verticales rojas representan los procesos de importación de fuentes radiactivas abiertas usadas en medicina e investigación; un buen porcentaje de estos procesos corresponde a la práctica de

medicina nuclear. Las barras verticales amarillas representan los procesos de importación de equipos y fuentes radiactivas de uso industrial mientras que las barras verticales verdes representan los procesos de importación de equipos de rayos X para todos los usos conocidos. Por último, las barras verticales negras corresponden a los procesos de importación total en cada año. En la figura puede apreciarse un incremento anual de los procesos de importación y muy particularmente de los equipos de rayos X.

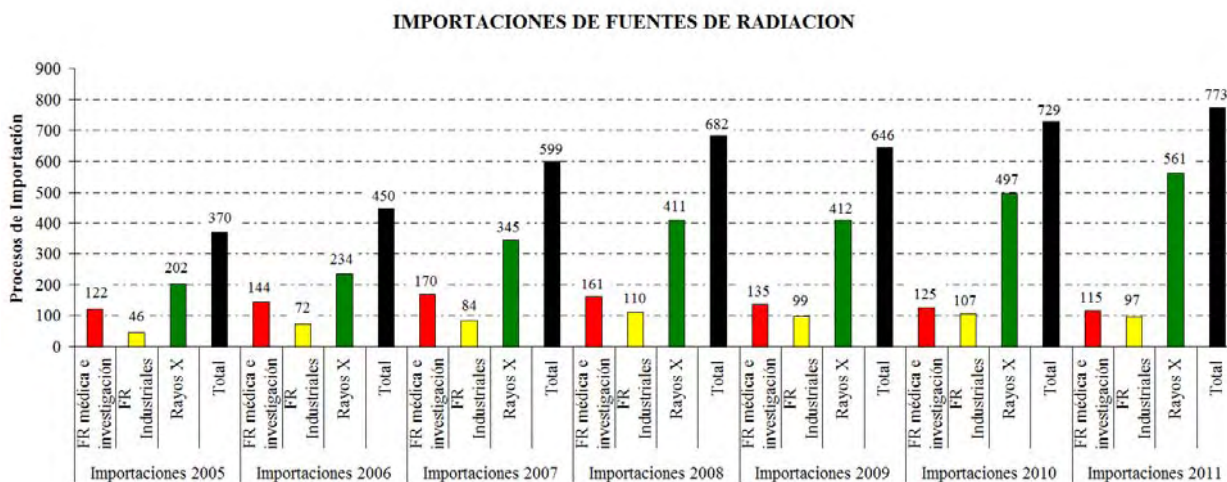


Figura 1: Evolución de los procesos de importación de fuentes de radiación ionizante.

3.2 Importación de fuentes y equipos radiactivos usados en la industria

En la Figura 1 podemos observar que la importación de fuentes o equipos radiactivos de uso industrial hasta el año 2011 se ha duplicado con relación al año 2005.

Una revisión del sistema de registros anuales de importación de fuentes o equipos radiactivos de uso industrial nos indican de la necesidad de estos en la actividad industrial, debido al crecimiento de la industria en el país, se han requerido hacer recambio de fuentes, mejoras en la seguridad o equipos que alcanzaron su vida útil, etc. El incremento de importación de fuentes o equipos radiactivos trae consigo que la OTAN incremente también sus actividades de control.

En la actividad industrial, el uso de fuentes o equipos radiactivos es amplio. Teniendo en consideración la descripción hecha en el ítem 2.2 se hizo un conteo de fuentes y equipos

radiactivos importados en el período comprendido entre los años 2005 y 2011 que se presenta en la Tabla 1; como puede apreciarse, la radiografía con ^{192}Ir , que usa fuente de categoría 2, es la técnica que más fuentes y equipos radiactivos ha importado en el período analizado. Las actividades de explotación petroleras, gasíferas y mineras fueron los que más han requerido los servicios de ensayos no destructivos con esta técnica y que finalmente mostraron este importante resultado.

Otro resultado nada despreciable es el número de medidores fijos importados por la minería y la industria petrolera, siendo el ^{137}Cs y el ^{133}Ba los radioisótopos que más se adecuan a los requerimientos de éstas actividades.

Otro resultado sorprendente es la importación de medidores portátiles. Los últimos gobiernos han priorizado la construcción de carreteras entre poblados de difícil acceso y

Tabla 1. Fuentes y equipos radiactivos importados en el Perú en el período del 2005 al 2011.**GAMMAGRAFIA INDUSTRIAL****Fuentes radiactivas y proyectores gammagráficos**

Fuente de Radiación	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	Total 2005-2011
¹⁹² Ir, ⁷⁵ Se ^a , ⁶⁰ Co ^b	24	30	47	63	70	51	61	346
Proyectores gammagráficos	1	1	9	20	12	9	5	57
Total por año	25	31	56	83	82	60	66	403

(a) 3 fuentes del total

(b) 1 fuente del total

MEDIDORES FIJOS**Medidores de densidad, de espesores y de nivel**

Fuente de Radiación	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	Total 2005-2011
¹³⁷ Cs	2	57	48	63	17	45	34	266
⁶⁰ Co	0	0	5	4	0	0	0	9
¹³³ Ba	0	2	5	4	6	7	4	28
Otros ^d (²⁴¹ Am, ⁸⁵ Kr, etc)	0	2	2	2	4	2	4	16
Total por año	2	61	60	73	27	54	42	319

(d) ²⁴¹Am: 5 del total, ⁸⁵Kr: 11 del total**MEDIDORES PORTATILES****Medidores de densidad y humedad de suelos, densidad de mezclas y perfilamiento de columnas de destilación**

Fuente de Radiación	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	Total 2005-2011
Medidores de densidad y humedad ^c	13	14	17	18	17	15	38	132
Medidores de densidad de mezclas	0	1	1	2	1	0	0	5
Medidores de perfilamiento de columnas	3	2	0	1	0	1	0	7
Total por año	16	17	18	21	18	16	38	144

(c) Humboldt: 4, CPN/InstraTek: 5, Troxler: 123

PERFILAJE DE POZOS PETROLEROS**Fuentes radiactivas, generadores de neutrones, herramientas y calibradores**

Fuente de Radiación	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	Total 2005-2011
¹³⁷ Cs (1.5 Ci ≤ A ≤ 2.5 Ci)	1	4	4	4	4	7	3	27
²⁴¹ Am-Be (15 Ci ≤ A ≤ 18 Ci)	1	1	3	3	2	7	2	19
Generador de neutrones con ³ H (1.5 Ci)	1	3	3	4	6	10	2	29
Herramientas, calibradores, pip-tags	1	2	7	8	5	13	7	43
Total por año	4	10	17	19	17	37	14	118

para este propósito se requiere del uso de equipos adecuados para el estudio y caracterización del suelo, entre los que se encuentran, los densímetros nucleares portátiles para la determinación de densidad y humedad del mismo. Usualmente, este tipo de equipos comprende fuentes de categoría 4.

Por último, las empresas transnacionales dedicadas a la industria petrolera y gasífera, hacen uso de fuentes y equipos radiactivos en el desarrollo de sus sofisticadas actividades. La alta tecnología asociada a estas actividades hace que se importen con frecuencia fuentes radiactivas y herramientas que las contienen. Las fuentes usadas en estas

actividades típicamente son de categoría 3.

4. Conclusiones

Como ya se mencionó, la práctica de gammagrafía industrial utiliza fuentes de categoría 2, la práctica de perfilaje de pozos petroleros usa fuentes de categoría 3 y los medidores fijos y portátiles comprenden fuentes de categoría 4; basados en los resultados de la Tabla 1, en la actividad industrial se han importado:

- 346 fuentes radiactivas de categoría 2
- 46 fuentes radiactivas de categoría 3, y
- 509 fuentes radiactivas de categoría 4

Estas cifras obligan a la OTAN a redoblar esfuerzos en sus mecanismos de control tales como disponer de un programa de inspecciones a una determinada frecuencia, establecer requisitos rígidos en los procesos de licenciamiento, requerir personal operador calificado y preparar normativas, todo ello en concordancia con la categoría de las fuentes. Por último, el control de las importaciones de fuentes y equipos radiactivos trae consigo lo siguiente:

- o Mejora en la calidad de las adquisiciones.
- o Reemplazo de fuentes o equipos radiactivos antiguos por equipos nuevos contribuyendo de esta manera al sostenimiento de la seguridad tecnológica y radiológica en las distintas prácticas donde se destinen.
- o Reducción de dosis en el personal operador.
- o Gestión de fuentes radiactivas declaradas en desuso en repositorios seguros en cumplimiento de la normativa.

5. Agradecimientos

Un agradecimiento muy especial a los colegas de la OTAN que, sin su colaboración, no habría sido posible el presente reporte.

6. Bibliografía

[1] Instituto Peruano de Energía Nuclear. Ley N° 27757, Ley de prohibición de la importación de bienes, maquinarias y equipos usados que utilicen fuentes radiactivas. Disponible en URL:

http://www.ipen.gob.pe/site/regulacion/normatividad/ley_27757proh_import.pdf

[2] Instituto Peruano de Energía Nuclear. Decreto Supremo No. 001-2004-EM. Aprueban Reglamento de la Ley N° 27757, Disponible en URL:

http://www.ipen.gob.pe/site/regulacion/normatividad/reglam_ley_27757.pdf

[3] International Atomic Energy Agency. Security of radioactive sources. Implementing guide. IAEA Nuclear Security Series No. 11. Vienna: IAEA; 2009.

[4] International Atomic Energy Agency. Categorization of radioactive sources. IAEA Safety Standards Series No. RS-G-1.9. Vienna: IAEA; 2005.

[5] Organismo Internacional de Energía Atómica. Directrices sobre la importación y exportación de fuentes radiactivas. Viena: OIEA; 2005.

Aspectos técnicos de seguridad en la disposición de fuentes radiactivas selladas en desuso

Mario Mallaupoma*

Dirección de Servicios, Instituto Peruano de Energía Nuclear, Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

Resumen

Las fuentes radiactivas selladas tienen un amplio uso en la industria, la medicina, la investigación científica y otras aplicaciones. Estas fuentes radiactivas cumplidas su vida útil constituyen desechos radiactivos cuya disposición deben ser gestionadas en forma segura. Teniendo en cuenta sus características peligrosas, resulta un trabajo muy especializado, desarrollar la construcción de un repositorio sobre todo para las fuentes que tienen un largo período de desintegración. Las opciones de disposición a nivel geológico, resultan ser muy costosas, teniendo en consideración el número reducido de fuentes radiactivas selladas en desuso, en los países en vías de desarrollo. En el presente trabajo se realiza el análisis de los aspectos técnicos a tener en cuenta en la disposición de las fuentes radiactivas en desuso, a nivel de superficie o a poca profundidad, considerando un repositorio de construcción simple y económica que permita cumplir con las exigencias de seguridad radiológica requeridas por las normas nacionales y recomendaciones internacionales.

Palabras claves: Fuente sellada, Accidente radiológico, Disposición, Repositorio

Abstract

Sealed radioactive sources are widely used in industry, medicine, scientific research and other applications. These radioactive sources are considered as radioactive waste, after they comply with their useful lives and they must be managed in a safely way since their origin till their final disposal. Taking into account their variable characteristics it is necessary to implement and develop a very specialized job in order to show that they will not produce an unacceptable risk for people and their environment. There are many options for their disposal, however they are very costly. In this paper, taking into account the production of a small amount of disused sealed sources, it is analyzed the option for their disposal near the surface, considering constructions of low deep repository, which are simple and inexpensive and the compliance with radiation safety requirements stated by national and international recommendations.

Keywords: Sealed radioactive source, Radiological accident, Disposal, Repository

1. Introducción

Las fuentes radiactivas selladas son dispositivos de gran valor en múltiples aplicaciones industriales, médicas, productos de consumo e investigación, es por ello que su uso sigue creciendo a nivel mundial; sin embargo, las fuentes selladas suelen tener dimensiones pequeñas, generalmente son objetos brillantes, lo cual hace que fácilmente se puedan confundir con piezas de maquinarias, que podría conllevar a un gran riesgo y generación de accidentes en personas sin conocimiento sobre su naturaleza y riesgos asociados.

Aunque no son comunes los casos de accidentes radiológicos originados con fuentes selladas, varios de ellos han causado daños materiales importantes y también produjeron, la muerte de personas expuestas [1].

Estos dispositivos tienen una vida útil que van desde pocos años hasta miles de años y en casi todos los casos, todavía mantienen radiactividad suficiente como para causar efectos perjudiciales a la salud cuando son retirados de servicio y se convierten en desechos radiactivos por lo que requieren una gestión especializada en su disposición [2].

Todo país que utiliza fuentes radiactivas selladas debe analizar las alternativas disponibles o potenciales para la disposición de las fuentes radiactivas selladas en desuso, consideradas como desechos radiactivos, teniendo en cuenta una serie de parámetros como son aspectos de seguridad, recursos financieros y otras medidas complementarias. Todo ello debe de estar considerado dentro de

* Correspondencia autor: mmallaupoma@ipen.gob.pe

la política y estrategia nacional de gestión de residuos radiactivos. En caso de accidentes radiológicos ese tipo de fuentes producirían un impacto negativo importante desde el punto de vista social, económico y ambiental.

El Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) clasifica a los repositorios como instalaciones cerca de la superficie e instalaciones subterráneas, pero no indica los criterios de clasificación en términos de profundidad. En la Figura 1 puede visualizarse una serie de fuentes radiactivas en desuso, consideradas como desechos radiactivos, producidos en el Perú.



Figura 1. Fuentes radiactivas selladas en desuso.

2. Metodología

Se realiza un análisis simplificado de seguridad, basado en conceptualizar eventos, definir factores y fenómenos a considerar en la evaluación. Luego, se representan los eventos, formulando las herramientas matemáticas para mostrar los fenómenos y factores identificados y sus correspondientes interacciones.

La hipótesis del presente trabajo también considera que el material a disponer en los repositorios son fuentes selladas en desuso que serán retiradas de sus blindajes originales y colocadas en cápsulas de acero inoxidable. De igual manera, se identifica un inventario de referencia de las fuentes radiactivas a disponer, para países en vías de desarrollo que solo cuentan con aplicaciones de fuentes selladas en las múltiples aplicaciones de la tecnología nuclear. Algunas de estas se muestran en la Tabla 1. De igual manera, se considera que los eventos que conllevan a exposición ocurren determinísticamente, con posterioridad al control institucional y que se extiende por un período entre 100 y 300 años.

Tabla 1. Inventario de fuentes selladas en desuso.

Radio nucleido	Actividad (Bq)	Nº Fuentes	Actividad Media	Actividad Modal
Co-60	7,00E+15	105	7,00E+13	1,00E+10
Sr-90	3,00E+11	41	8,00E+09	8,00E+08
Cs-137	2,00E+15	433	4,00E+12	5,00E+09
Ra-226	2,00E+12	704	2,00E+09	7,00E+07
Am-241	3,00E+13	251	1,00E+11	8,00E+07
Fe-55	3,00E+09	1	3,00E+09	

En el modelo analizado se considera que la exposición de las personas se produce principalmente por la intrusión a la instalación, por lo que las situaciones que llevan a una exposición no son afectadas por las características del terreno, de los cuerpos de agua y por las poblaciones de las especies vegetales y animales del local o de la región. La hipótesis de intrusión humana en la instalación, considera que se produce sin que sea percibido los peligros presente en la estructura invadida.

La hipótesis de que el evento ocurra luego de haber cesado el control institucional es restrictiva, ya que en este momento las actividades de las fuentes involucradas y sus posibles efectos radiológicos son máximas; por lo tanto, el sistema de disposición puede ser caracterizado únicamente por la descripción de la instalación.

La secuencia inicial del evento que conlleva a la exposición por irradiación externa es la siguiente:

- Ejecución de movimientos de tierra para construcción pública o privada.
- Destrucción de parte o todo el cubículo donde están depositados las fuentes.
- Daño o destrucción de los contenedores.

En el escenario postulado se produce irradiación por exposición externa; asimismo, contaminación del agua potable, alimentos y posterior ingestión del material radiactivo. Otro escenario posible considera una serie de eventos que produce daño al bulto, dispersión e inhalación del material radiactivo.

Aunque no es objeto de este estudio, La evaluación de las probabilidades de eventos iniciadores y las secuencias de los eventos postulados deben discutir la justificación de los escenarios propuestos en términos de

posibilidad de ocurrencia de estos eventos y su importancia en términos radiológicos.

Se excluye a los fenómenos naturales como medios que pudieran dispersar los radionucleídos en la biósfera debido a que las fuentes radiactivas se encuentran encapsuladas con materiales resistentes mecánica y químicamente.

Los escenarios de intrusión considerados guardan relación con los aspectos de seguridad, en lo que se refiere a las dosis de personal resultante de las exposiciones, teniendo en cuenta que las secuencias de eventos propuestos son consistentes con los numerosos accidentes reales que han involucrado fuentes selladas.

Si bien tales escenarios son poco probables, el exceso de rigurosidad es contrapesado por la hipótesis de duración del control institucional, que puede ser considerado en forma optimista para un valor de 300 años.

La representación matemática de los modelos de cálculo, en el caso del presente estudio, es simple debido a los escenarios de exposición.

El cálculo de la dosis absorbida, como consecuencia de la exposición externa de las fuentes, se realiza a partir de los coeficientes de exposición externa de cada radionucleído y de la actividad de las fuentes, y para los pares de valores de distancia de la persona a la fuente así como del tiempo de exposición. Los resultados se comparan con los límites de dosis y con el valor de dosis restringida [3]. Se consideraron dos escenarios para la exposición externa:

La exposición a una fuente a una distancia de 1 metro por 1 hora (escenario 1), simulando una situación en la que un individuo está trabajando en forma inadvertida en el lugar donde se encuentra el repositorio, cuando los contenedores ya han sido dañados.

La exposición a una fuente a una distancia de 5 centímetros por 8 horas (escenario 2), simulando la situación en la que una persona encuentra una fuente que ha sido retirada de su contenedor y luego se lo guarda en un bolsillo de su vestimenta.

La expresión matemática utilizada para calcular la irradiación externa es:

$$D_i^{ext}(t) = \frac{A_i}{N_i} e^{-\lambda_i t} \times \frac{\Gamma_i \times T}{d^2}$$

Donde:

$D_i^{ext}(t)$ = es la dosis absorbida por exposición a la radiación externa de una fuente con una actividad media o modal del inventario de las fuentes del radionucleído i .

A_i = es la actividad inicial del radionucleído i en el inventario de las fuentes selladas

N_i = es el número de las fuentes del inventario del radionucleído i .

λ_i = es la constante de decaimiento del radionucleído i .

t = es la fecha en que ocurre la intrusión en el repositorio, fijada en 100, 200 y 300 años, a partir del presente.

Γ_i = es la tasa de dosis, para la irradiación externa, del radionucleído i .

T = es el tiempo de exposición, y

d = es la distancia entre el individuo expuesto y la fuente.

Los cálculos de la dosis potencial por ingestión (escenario 3) y por inhalación (escenario 4) se realizan a partir de las actividades de cada radionucleído contenidos en las fuentes y de los factores dosimétricos de cada radionucleído por ingestión y por inhalación, para un grupo de individuos del público del grupo de edad pertinente, publicado por el OIEA [4].

El resultado del cálculo de la dosis potencial efectiva se compara con el valor de la dosis restringida, adoptado como criterio de protección radiológica.

Las expresiones matemáticas utilizadas para calcular las dosis potenciales tanto por ingestión como por inhalación son:

$$D_i^{ing}(t) = \frac{A_i}{N_i} e^{-\lambda_i t} \times F_i^{ing}$$

$$D_i^{inh}(t) = \frac{A_i}{N_i} e^{-\lambda_i t} \times F_i^{inh}$$

Donde :

D_i^{ing} y D_i^{inh} = Son las dosis potenciales por ingestión y por inhalación del radionucleído i .

F_i^{ing} y F_i^{inh} = Son los factores dosimétricos para la ingestión e inhalación, respectivamente para el radionucleído i .

Los factores dosimétricos utilizados resultan ser los valores de la dosis comprometida efectiva potencialmente recibidas por la persona expuesta. El adjetivo "potencial" colocada en la dosis se debe al hecho de que las dosis calculadas representan el valor que resultaría de la ingestión o inhalación de toda la actividad presente en una fuente, escenario poco probable bajo cualquier circunstancia. A continuación se muestran algunas tablas con los resultados obtenidos, para diferentes escenarios.

Tabla 2. Dosis potenciales debido a exposición externa a 1 m por 300 años.

Radionucleído	Ai (Bq)	Dosis Media (Sv)	Dosis Modal (Sv)
Co-60	7.E+15	2.14E-16	5.16E-19
Sr -90	3.E+11	0.00E+00	0.00E+00
Cs-137	2.E+15	3.29E-04	4.77E-06
Ra-226	2.E+12	4.51E-04	6.17E-05
Am-241	3.E+13	1.99E-04	1.56E-07
Fe-55	3.E+09	0.00E+00	

Tabla 3. Dosis potencial - exposición externa a 5 cm por 300 años.

Radio nucleído	Ai (Bq)	Dosis Media (Sv)	Dosis Modal (Sv)
Co-60	7.E+15	6.86E-13	1.65E-15
Sr -90	3.E+11	0.00E+00	0.00E+00
Cs-137	2.E+15	1.05E+00	1.53E-02
Ra-226	2.E+12	1.44E+00	1.97E-01
Am-241	3.E+13	6.38E-01	5.01E-04
Fe-55	3.E+09	0.00E+00	00

Tabla 4. Dosis potencial por ingestión a 300 años.

Radio nucleído	Ai (Bq)	Dosis Media (Sv)	Actividad Modal (Sv)
Co-60	7.E+15	9.99E-12	2.40E-14
Sr -90	3.E+11	1.05E-02	2.82E-03
Cs-137	2.E+15	3.55E+01	5.14E-01
Ra-226	2.E+12	1.25E+03	1.72E+02
Am-241	3.E+13	1.34E+04	1.06E+01
Fe-55	3.E+09	7.37E-34	0.00E+00

Tabla 5. Dosis potencial por inhalación a 300 años.

Radio nucleído	Ai (Bq)	Actividad media (Sv)	Actividad Modal (Sv)
Co-60	7.E+15	3.47E-11	8.33E-14
Sr -90	3.E+11	6.93E-03	1.86E-03
Cs-137	2.E+15	2.59E+02	3.75E+00
Ra-226	2.E+12	3.84E+04	5.26E+03
Am-241	3.E+13	1.34E+06	1.06E+03
Fe-55	3.E+09	8.67E-34	0.00E+00

3. Resultados y Discusión

En el caso de la dosis recibida por intrusión, en la Tabla 2 se puede apreciar que para el escenario 1 de exposición por una hora y a una distancia de 1 metro la mayor dosis se debería a la presencia del Cesio-137 a 100 y 200 años de decaimiento mientras que el cobalto-60 solo tendría una contribución a 100 años de decaimiento, comparando con los valores de dosis obtenidos con las restricciones de protección radiológica indicadas en el ICRP.

En el caso del escenario 2, exposición de 8 horas a una distancia de 5 cm. Los elementos radiactivos que no podrían disponerse en superficie serían los radionucleídos de mayor periodo de semidesintegración, como es el caso de Cesio-137, Radio-226 y Americio-241. Excederían las restricciones de dosis consideradas a 100, 200 y 300 años.

En el caso del escenario 3 dosis por ingestión se puede observar que tienen una incidencia los radioisótopos con largo periodo de semidesintegración, como son los casos de Cesio-137, Estroncio-90, Radio-226 y Americio-241. En el escenario 4, dosis por inhalación se puede observar un comportamiento similar al escenario 3.

De los resultados obtenidos, queda definido que los radioisótopos de mayor periodo de semidesintegración como el Cesio-137, Radio-226 y Americio-241 no pueden ser dispuestos a nivel de superficie por lo que se tendría que considerar quizás opciones de disposición a poca profundidad.

4. Conclusiones

Los resultados obtenidos muestran que en el caso de los radioisótopos de corto o mediano

período de semidesintegración, la disposición de las fuentes radiactivas selladas a nivel de superficie puede ser viable; sin embargo, la situación resulta discutible para el caso de los radioisótopos de largo período de semidesintegración si se tiene en cuenta los valores restrictivos de dosis recomendados por el ICRP.

La opción de disponer las fuentes radiactivas selladas en desuso en construcciones poco profundas entre 50 a 100 m, debido a la alta actividad específica de las fuentes radiactivas, sus períodos de semidesintegración y desde luego, dependiendo de las características hidrogeológicas, geofísicas, hidráulicas del lugar del posible emplazamiento, resultaría ser la práctica más adecuada, para los países en vías de desarrollo que tienen aplicaciones de la tecnología nuclear, pero que no cuentan con reactores nucleares de potencia.

Lo más probable es que el repositorio utilice el concepto multibarreras que pueda proporcionar aislamiento físico y químico además de la contención, utilizando el concepto de defensa en profundidad [5].

5. Referencias

- [1] International Atomic Energy Agency. Magnitude of the problem of spent radiation sources. IAEA-TECDOC-620. Vienna: IAEA; 2003.
- [2] Mallaupoma M, Medina E. Seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares. Serie Centro Superior de Estudios Nucleares. Lima: Editorial Heta Gráfica; 2009.
- [3] International Commission on Radiological Protection. Radiological protection policy for the disposal of radioactive waste. ICRP Publication 77. Pergamon, Oxford; 1997.
- [4] Organismo Internacional de Energía Atómica. Exposición ocupacional y factores de dosis efectivas por inhalación e ingestión de radioisótopos. Colección Seguridad No. 115. Viena: OIEA; 1997.
- [5] Instituto Peruano de Energía Nuclear. Ley N° 28028. Ley de regulación del uso de fuentes de radiación ionizante. Disponible en URL:
http://www.ipen.gob.pe/site/regulacion/normatividad/ley_27028.htm

Control operacional en instalaciones relevantes del Centro Nuclear

RACSO

Mario Mallaupoma^{1,*}, Alejandro Zapata¹, Jesús Miranda², Andrés Corahua²

¹ Dirección de Servicios, Instituto Peruano de Energía Nuclear, Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

² Dirección de Producción, Instituto Peruano de Energía Nuclear, Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

Abstract

El Centro nuclear RACSO cuenta con tres instalaciones relevantes, dos radiactivas y una nuclear, donde laboran trabajadores considerado como personal ocupacionalmente expuesto. Ellos realizan diferentes actividades con radiaciones ionizantes, siendo diversas y conllevando a diferentes niveles de dosis tanto a la radiación externa como interna. Un aspecto importante en la seguridad radiológica es analizar como ha sido la evolución de los riesgos asociados al trabajo desarrollado por ese personal. Un indicador de la misma es representado por la dosis individual en los años de actividad laboral. En el presente trabajo se muestra la evolución de las dosis recibidas por el personal en las diferentes instalaciones a fin de reducir la probabilidad de ocurrencia de efecto estocástico, y también se promueve la filosofía de cultura de seguridad y el principio de optimización.

Abstract

The Nuclear Research Center "RACSO" has three relevant facilities, two radioactive and one nuclear, where there are workers considered as exposed occupationally personnel. They perform different activities with ionizing radiation, and are exposed to external and internal radiation. In this paper the evolution of doses for exposed workers in the relevant facilities is analyzed, in order to improve actions for reducing risks of stochastic effects and also promoting the philosophy of safety culture and the optimization principle.

1. Introducción

El Centro Nuclear cuenta con instalaciones relevantes tanto radiactivas como nucleares, en donde labora personal ocupacionalmente expuesto a las radiaciones, quienes desarrollan actividades específicas y características en cada una de las instalaciones relevantes.

En forma resumida podemos indicar algunas características de las instalaciones relevantes, básicamente está formado por: el reactor nuclear, la planta de producción de radioisótopos y la planta de gestión de residuos radiactivos.

El reactor nuclear denominado RP-10, es un reactor térmico de potencia 10 MW, destinado a la investigación y producción de radioisótopos, usa combustible tipo MTR con uranio enriquecido al 20% en su isótopo U-235. El tanque del reactor contiene agua desmineralizada que cumple las funciones de moderador, refrigerante y blindaje biológico. Cuenta con las siguientes facilidades de irradiación: cuatro conductos radiales, un conducto tangencial, una columna térmica y

un sistema neumático de envío de muestras [1].

La Planta de Producción de Radioisótopos (PPR) es una instalación que fue diseñada y construida para la manipulación de material radiactivo y autorizada para la fabricación, producción, manipulación, almacenamiento, transporte y comercialización de ¹³¹I, ^{99m}Tc, ¹⁵³Sm, ¹⁹²Ir, y ¹⁷⁷Lu [2], además de producir radioisótopos de uso médico. La capacidad de producción anual en la instalación estudiada, se elevó en más de 10 veces, de 72,95 GBq en 1990 a 756.04 GBq en el 2009.

La tercera instalación relevante es la Planta de Gestión de Residuos Radiactivos (PGRR), que ha sido construida para atender los requerimientos de gestión de residuos radiactivos del Centro Nuclear, pero también como instalación centralizada nacional para procesar y almacenar los desechos radiactivos producidos en todo el país en las múltiples aplicaciones existentes. Las fuentes radiactivas, consideradas como desechos radiactivos, son de distinta naturaleza y

* Correspondencia autor: mmallaupoma@ipen.gob.pe

presentan muy variadas características. Un aspecto importante a considerar en este caso, es el hecho que en la prestación de servicios, el personal que participa está expuesto a las radiaciones ionizantes. Si bien es cierto, que la gestión de residuos radiactivos comprende todas las etapas, desde que se origina el desecho radiactivo, su segregación hasta la disposición final; en el caso de la PGRR se considera las etapas de segregación, recolección, tratamiento –en algunos casos– acondicionamiento y almacenamiento temporal. En la práctica, el mayor inventario de los desechos radiactivos se debe a las fuentes radiactivas selladas en desuso que ya cumplieron con su vida útil.

Teniendo en cuenta las actividades específicas se hace un relevamiento de los aspectos asociados al control operacional del personal, tomando en cuenta la dosis recibida por el trabajador ocupacionalmente expuesto.

2. Procedimiento experimental

El primer aspecto medular en el presente trabajo fue la de caracterizar al personal que desarrolla diferentes actividades en las instalaciones relevantes. Luego, se ha

procedido a segmentar, en lo posible, a los grupos laborales para poder realizar un análisis más específico. Posteriormente, se ha realizado el análisis comparativo dentro de una misma instalación y comprendiendo también a todas las instalaciones relevantes en forma conjunta. De esa manera se ha podido arribar a conclusiones válidas y confiables, teniendo en cuenta el horizonte de tiempo considerado para la toma de datos que es mayor a 10 años.

2.1 Reactor nuclear RP-10

En este caso se tiene identificado y clasificado al personal que desarrolla actividades específicas y que han sido agrupados en los siguientes grupos de trabajo: personal operador, personal de mantenimiento, oficial de radioprotección, personal investigador y personal auxiliar. En la Figura 1 se puede visualizar la evolución de los valores promedios de dosis para cada grupo y en la Figura 2 podemos visualizar los valores máximos reportados en cada año y la comparación con el valor de dosis promedio recibido por el trabajador ocupacionalmente expuesto (TOE).

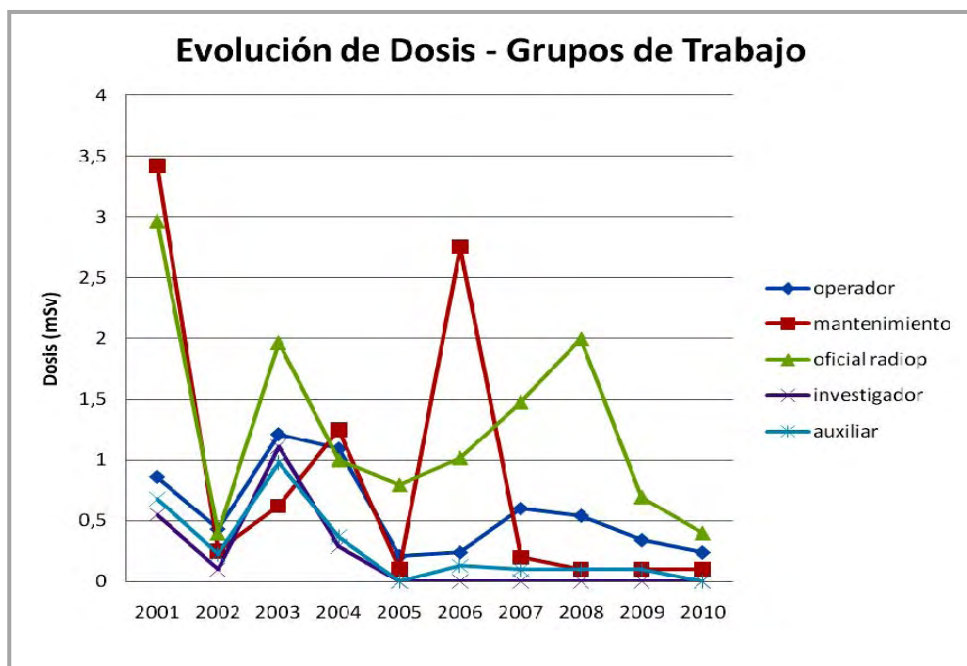


Figura 1. Dosis en los grupos de trabajo en el reactor RP-10.

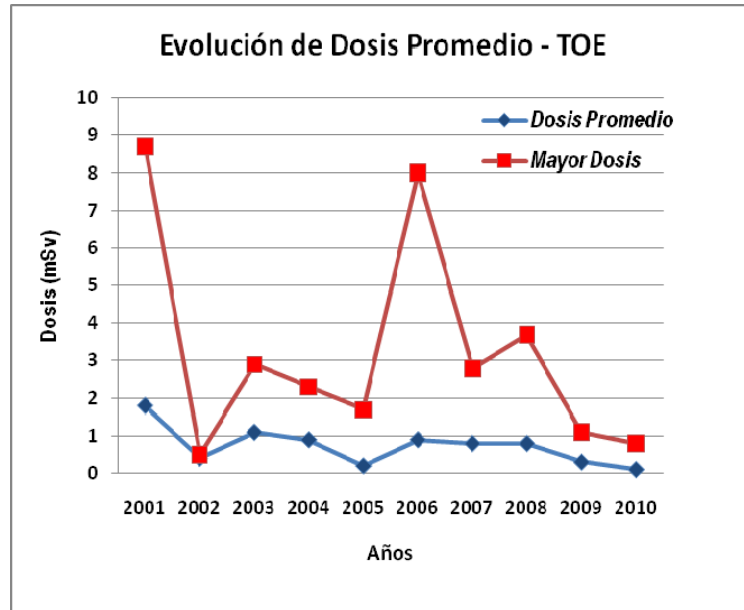


Figura 2. Dosis promedio del TOE en el RP-10 y valor máximo de dosis reportado.

2.2 Análisis de dosis en la Planta de Producción de Radioisótopos

Una parte del personal ocupacionalmente expuesto de la Planta de Producción de Radioisótopos, no solo se expone a riesgos de irradiación externa, sino también a contaminación interna. De allí que la

contribución de ambas formas de irradiación deben ser consideradas. En la Figura 3 se puede visualizar la evolución de la dosis del personal, en forma general y su comparación con los mayores valores de dosis reportados en el período 1990 al 2009.

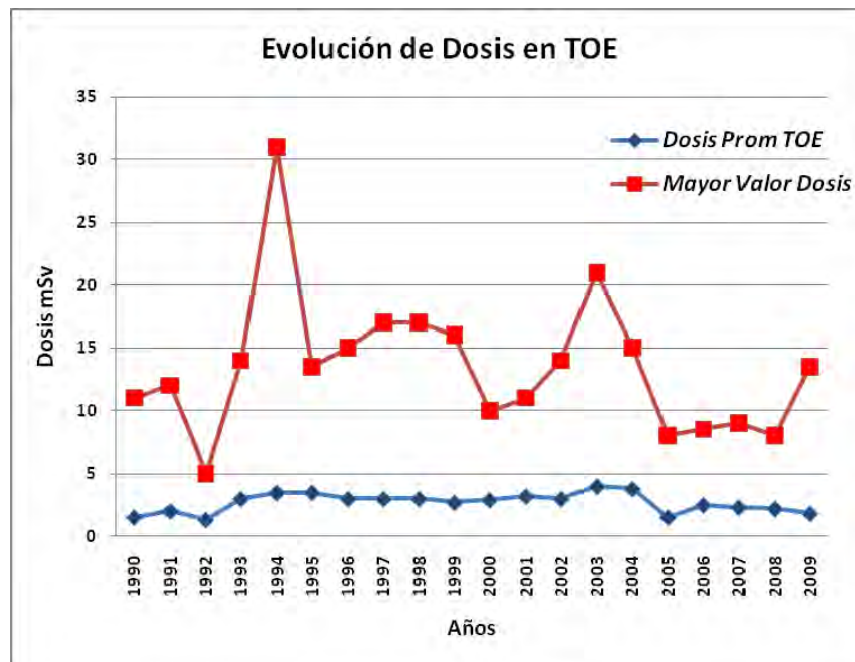


Figura 3. Dosis promedio del TOE en la PPR y máximo valor de dosis reportado.

2.3 Análisis de dosis en la Planta de Gestión de Residuos Radiactivos

El personal de esta instalación atiende los servicios requeridos en el centro nuclear, pero también la demanda a nivel nacional, por esa razón, viajan al interior del país para traer los bultos conteniendo fuentes radiactivas hasta el Centro Nuclear RACSO. En algunas oportunidades lo hace el usuario o una

empresa prestadora de servicios de protección radiológica. Un aspecto fundamental es que en ningún caso, las fuentes radiactivas son extraídas de su blindaje original. En la Figura 4 se puede visualizar la evolución de las dosis del personal ocupacionalmente expuestos de la PGR, reportados para los años 1997 al 2011 [3].

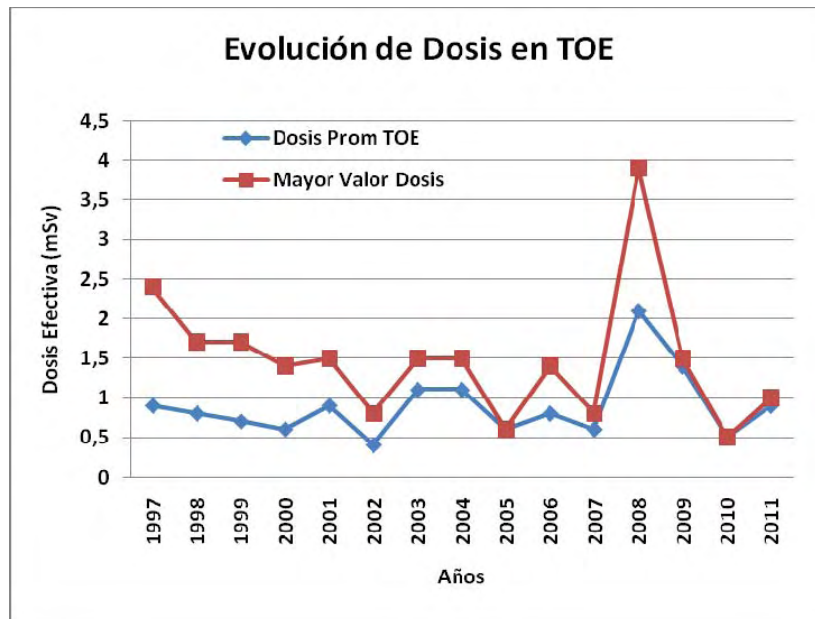


Figura 4. Dosis promedio del TOE en la PGR y máximo valor de dosis reportado.

3. Resultados y discusión

3.1 Resultados del TOE del RP-10

Teniendo en cuenta el período de tiempo de 10 años y la variación anual de las dosis de los trabajadores del reactor RP-10 mostradas en las Figuras 1 y 2, la dosis promedio general medida es de 0,65 mSv, mientras que el grupo de Oficiales de Radioprotección ha recibido una dosis promedio de 1,27 mSv.

Esta situación puede explicarse debido a que el personal perteneciente a este grupo regularmente tiene que hacer mediciones en los diferentes puntos de interés dentro del reactor. La dosis promedio general del TOE se ve reducido por los valores de dosis bajos reportados en los casos de los grupos Investigador y Auxiliar. Otro aspecto a considerar lo constituye el personal de mantenimiento que presenta las dosis más variables, por lo general debajo del promedio; sin embargo, en algunos años-presentan dosis promedio relativamente mayores, lo cual se

puede deber a que las mismas se producen cuando han tenido que participar en mantenimiento correctivo que representa una labor ocasional. Los otros grupos ocupacionales muestran valores por debajo del promedio de dosis del TOE.

Los máximos valores reportados de dosis individual fueron de 8,55 mSv y 8,05 mSv correspondiente a los años 2001 y 2006, respectivamente, dentro del grupo mantenimiento. Si comparamos estos valores de dosis con el valor de dosis reglamentario para TOE, podemos señalar que las dosis mayores obtenidas no alcanzan el 50 % del promedio de dosis efectiva anual reglamentario que es de 20 mSv al año en promedio [4].

3.2 Resultados del TOE de la PPR

Para el caso del TOE de la PPR se puede visualizar, en la Figura 3, que el valor promedio de dosis en un horizonte de tiempo de 20 años ha fluctuado entre 1 y 3 mSv

anual; sin embargo, los valores mayores de dosis individual reportados son bastante diferenciados con respecto al promedio general. En este caso, el promedio se ve reducido en su valor debido a los reportes de grupos de trabajo que reciben dosis bajas. El mayor valor de dosis reportado es de 17 mSv. En los últimos años se observa una disminución de los mayores valores de dosis reportados.

3.3 Resultados del TOE de la PGRR

En el caso del TOE de la PGRR los valores promedios se han mantenido en el tiempo, considerando un horizonte de 15 años consecutivos. Para los valores promedios anuales también se ha considerado a todos los practicantes y tesis que desarrollaron sus prácticas o trabajos de investigación en su oportunidad. Los valores promedios han fluctuado entre 0,4 y 2,1 mSv anual. Los valores de dosis individual máxima reportada fueron de 2,3 mSv y 3,9 mSv en los años 1997 y 2008, respectivamente. En este caso, para mantener dosis bajas ha sido fundamental aplicar el principio de optimización de la protección radiológica, evitando el retiro de las fuentes radiactivas recolectadas de su blindaje original.

Con el mismo propósito –optimizar la dosis– se acondicionaron la mayoría de fuentes radiactivas selladas en desuso, colocándolas dentro de matrices cementadas. De esa manera, también se logró aplicar el concepto de defensa en profundidad a fin de crear barreras adicionales para mejorar las condiciones de seguridad física.

4. Conclusiones

De los resultados obtenidos se pueden tener varias conclusiones:

En ninguna de las instalaciones relevantes se ha superado los valores reglamentarios que consideran que el TOE no debe de superar los 100 mSv en un período de 5 años, dando un valor promedio de 20 mSv al año. Esta situación se puede visualizar, considerando un período de operación de 20 años.

Los esfuerzos del personal de Radioprotección ha sido importante a fin de reducir dosis, ya sea implementando mecanismos complementarios de control operacional, mejorando procedimientos de

trabajo y acciones de optimización que son medidas permanentes.

En el caso del grupo perteneciente al RP-10 se logró mejorar los sistemas de control operacional que han permitido mantener las dosis bajas en promedio en el personal considerado como TOE. De igual manera, se han implementado sistemas de monitoreo automático y semiautomático, en los puntos de interés radiosanitario. Las dosis reportadas consideran solo a irradiación gamma, pero no se considera el aporte de las dosis recibidas por radiación neutrónica. Teniendo en cuenta los registros y reportes de dosis de 20 años, es conveniente fijar niveles de dosis de referencia a los diferentes grupos ocupacionales para condiciones normales de trabajo, así como para situaciones accidentales.

En el caso de la PPR, también a fin de reducir dosis en el personal se han aplicado acciones de optimización orientadas a un mejor seguimiento de las actividades que podrían generar las mayores dosis, promover la modificación de métodos de producción e implementación de sistemas de calidad con elaboración y revisión de los procedimientos de las actividades que pudieran haber generado los máximos de dosis individual reportados.

Considerando las marcadas diferencias entre los valores promedios y los valores máximos de dosis individual reportados es necesario hacer una clasificación interna de los grupos ocupacionales y focalizar el seguimiento en el grupo operacional que haya recibido las mayores dosis. En base a los valores estadísticos es necesario también fijar niveles de referencia de dosis para los diferentes grupos de trabajo identificados dentro de la PPR.

En el caso de la PGRR se debe seguir manteniendo el concepto de no retirar ninguna fuente de su blindaje en tanto no se cuente con la infraestructura necesaria para ese tipo de operaciones. Debido a que en el Perú los volúmenes y actividades de los desechos radiactivos son muy variables se debe promover en primera instancia la repatriación de las fuentes radiactivas [5]. Asimismo, el personal expuesto laboralmente a los diferentes tipos de radiaciones

ionizantes debería contar con el control radiológico correspondiente.

5. Agradecimientos

Nuestro agradecimiento al personal que trabaja como Oficial de Radioprotección, en las diferentes instalaciones que apoyaron la elaboración del presente trabajo y cuya labor altruista muchas veces no es reconocida en su verdadera dimensión.

6. Bibliografía

- [1] Zapata A, Ramos F, Arrieta R, Vela M. Veinte años de protección radiológica en el reactor nuclear RP-10. En: Instituto Peruano de Energía Nuclear. Informe Científico tecnológico 2011. [En prensa]. Lima, 2012.
- [2] Miranda J, Corahua A. Optimización de la radioprotección en una instalación para

Producción de Radioisótopos y Radiofármacos. Informe Técnico PPR 2011. [Informe interno].

- [3] Instituto Peruano de Energía Nuclear. Dirección de Servicios, División de Gestión de Residuos Radiactivos. Planillas de radiación externa 1997-2011. [Informe interno].
- [4] Instituto Peruano de Energía Nuclear. Reglamento de Seguridad Radiológica. D.S. N° 009-97-EM. Disponible en: http://www.ipen.gob.pe/site/regulacion/leyes_normatividad.htm
- [5] Instituto Peruano de Energía Nuclear. Ley N° 28028. Ley de regulación del uso de fuentes de radiación ionizante. Disponible en URL: http://www.ipen.gob.pe/site/regulacion/normatividad/ley_27028.htm

VII. Instrumentación Científica

Desarrollo de un prototipo económico para monitorear radón en instalaciones industriales y viviendas

Oscar Baltuano^{1,*}, Marco Munive², Jorge Martínez³, Susana Gonzáles³, Yuri Hernández¹, José Solís^{1,4}

¹ División de Materiales, Dirección de Investigación y Desarrollo, Instituto Peruano de Energía Nuclear, Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

² Oficina Técnica de la Autoridad Nacional, Instituto Peruano de Energía Nuclear, Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

³ Dirección de Servicios, Instituto Peruano de Energía Nuclear, Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

⁴ Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Ingeniería, Av. Túpac Amaru 210, Lima 25, Perú

Resumen

El ^{222}Rn se forma por la desintegración del ^{226}Ra y luego se desintegra en ^{218}Po y ^{214}Po . Los iones de Po producidos se pueden coleccionar electrostáticamente usando una cámara polarizada con una fuente de alta tensión, luego el ^{218}Po decae a ^{214}Pb emitiendo partículas α de 6.003 keV y posteriormente el ^{214}Po decae a ^{210}Pb emitiendo partículas α de 7.687 keV. Al medir la concentración de estas partículas α en la cámara se puede determinar la concentración del radón en el aire de una forma indirecta. El prototipo que se ha desarrollado utiliza una cámara de medida de acero inoxidable de 2 L con un diodo PIN S3204-09 (Hamamatsu) de cuerpo desnudo como detector de partículas alfa. La cámara y el diodo están polarizados con una fuente de alta tensión (+500 V) para coleccionar los iones de Po y detectar las partículas alfas que se producen luego en la cadena de decaimiento. Las operaciones y funciones digitales son implementadas sobre un microcontrolador PIC18F4550 y este dispositivo cuenta con un módulo de comunicación USB interno para realizar la transferencia de los datos a una PC. La configuración de los parámetros básicos de operación se realiza a través de una laptop por medio del puerto USB. Se ha realizado la calibración del sistema usando un equipo comercial Alfaguard y una zona en donde se ha enterrado uranio para tener una fuente de radón y se han realizado las medidas en distintos puntos con diferentes concentraciones de radón. Se ha logrado monitorear el radón en oficinas cerradas y ventiladas observándose cómo es la variación de radón a lo largo de varios días.

Development of an economic system to radon monitor in industrial and housing environments

Abstract

The ^{222}Rn is formed by the desintegration of ^{226}Ra , then it desintegrated in ^{218}Po and ^{214}Po . The produced Po ions were electrostatically collected using a polarized chamber conected to a high tension power supply, then the ^{218}Po decay to ^{214}Pb emitting α particles of 6.003 keV and later the ^{214}Po decay to ^{210}Pb emitting α particles of 7.687 keV. When the concentration of the α particles is measured in the chamber, it is possible to indirectly determine the radon concentration in the air. The prototipe was developed using a 2 L stainless steel chamber and a bare PIN diode S3204-09 (Hamamatsu) as an alpha particles detector. The chamber and diode were polarized with a HV power supply (+500 V) to collect Po ions and detect the alpha particles that are produced during the decay process. The operation and digital functions were implemented in a PIC18F4550 microcontroller and this device has an internal USB communication module to transfer data to a PC. The configuration of the operation basic parameters is done by a laptop using the USB port. The system was calibrated using an Alfaguard® commercial equipment, applied to an area where uranium was buried, in order to have a radon source; the measurements were done in different points with different radon concentrations. The radon concentration in close and ventilated offices was monitored and was observed how the radon concentration varies during several days.

1. Introducción

Inicialmente en la mayoría de los países, los científicos pensaban que la radiación natural no afectaba significativamente a la salud de la

población; sin embargo, ese punto de vista comenzó a cambiar a mediados del siglo

* Correspondencia autor: obaltuano@ipen.gob.pe

XX. El cambio fue dramático en los años 70 y 80 cuando se descubrió que en algunos países de Europa, tenían concentraciones significativas de radón al interior de algunas viviendas.

El radón es un gas radioactivo natural que no tiene olor ni color y que pertenece a la cadena de desintegración natural del ^{238}U presente en pequeñas cantidades en todos los suelos y rocas [1]. El ^{222}Rn se forma en la desintegración del ^{226}Ra , debido a que el radón tiene una vida media de 3,82 días se puede difundir en el suelo antes de decaer. Si escapa del suelo al aire se diluye rápidamente, pero con bajas concentraciones; sin embargo, las concentraciones de radón en ambientes cerrados pueden alcanzar niveles altos [2]. En la Figura 1 se muestra contribución del radón y otras fuentes radioactivas a la dosis que recibe la población.

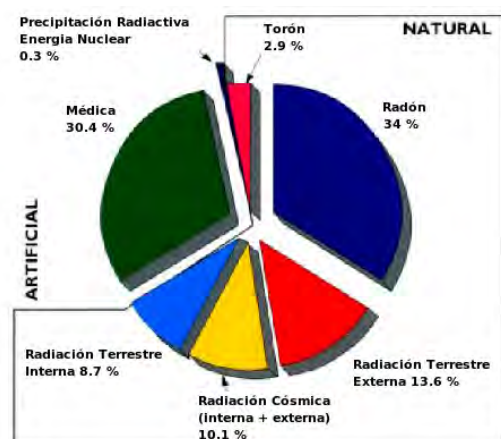


Figura 1. Diagrama de porcentaje de radiación natural y artificial que está expuesta la población [4].

La existencia de una relación entre el riesgo a desarrollar un cáncer de pulmón y la exposición al radón y sus partículas descendientes presentes en el aire se puso de manifiesto hace ya bastante tiempo en la población minera. El riesgo de la exposición de 100 Bq m^{-3} por 30 años de radón incrementa el riesgo de cáncer al pulmón entre 5 y 31 % [5]. Entonces, medir la concentración de radón en ambientes industriales y de vivienda cerrados es muy importante para prevenir la exposición del personal a altas concentraciones de radón.

Debido a la problemática por la presencia de radón en el medioambiente y de su incidencia en los casos de cáncer pulmonar, la medida y

detección de la concentración de radón en el aire es de suma importancia; sin embargo, tal medición no es de práctica rutinaria y no se desarrolla en el país con continuidad debido al alto costo de los equipos necesarios. Por esta razón, se ha desarrollado el prototipo de un espectrómetro alfa de bajo costo que puede ser utilizado para cuantificar la concentración de radón función del tiempo.

2. Prototipo desarrollado

El prototipo desarrollado para detectar radón utiliza un diodo PIN, que es un semiconductor tipo fotodiodo sensible a las partículas alfa. Durante el decaimiento del radón se producen iones de ^{218}Po y ^{214}Po , estos se colectan cerca del diodo con un campo eléctrico y posteriormente decaen emitiendo partículas α . Esto se realiza porque las partículas alfa tienen un recorrido libre medio muy corto (entre 2 y 4 cm en el aire) y pierden rápidamente su energía cinética a poca distancia de la fuente. La detección de estas partículas nos da indirectamente la concentración de radón [7]. El prototipo desarrollado (RadonGuard) para medir la concentración de radón se basa en la medición de la radiación alfa producida y la determinación de la distribución de energías (espectrometría) de dicha radiación.

En la Figura 2 se muestra el diagrama de bloques del prototipo y está basado en el microcontrolador PIC18F4550, el diodo PIN S3204-09 (Hamamatsu) y la electrónica asociada.

Las características específicas de este tipo de medición son: muy bajas tasas de conteo y señales de buena amplitud debido al elevado poder de ionización de las partículas alfa. Los iones de polonio son recolectados sobre la cara sensible del diodo PIN de ventana descubierta de tal forma que la energía de la radiación alfa emitida por estos isótopos no se ve afectada por la atenuación del aire. El polonio se deposita sobre el diodo PIN mediante colección electrostática producida por un potencial eléctrico positivo de +500 V sobre la carcasa de la cámara de medición respecto de la cara sensible del diodo PIN. Es conocido que los iones de Po producidos por la desintegración de radón quedan cargados positivamente durante un tiempo por lo cual pueden ser arrastrados por un campo eléctrico [8].

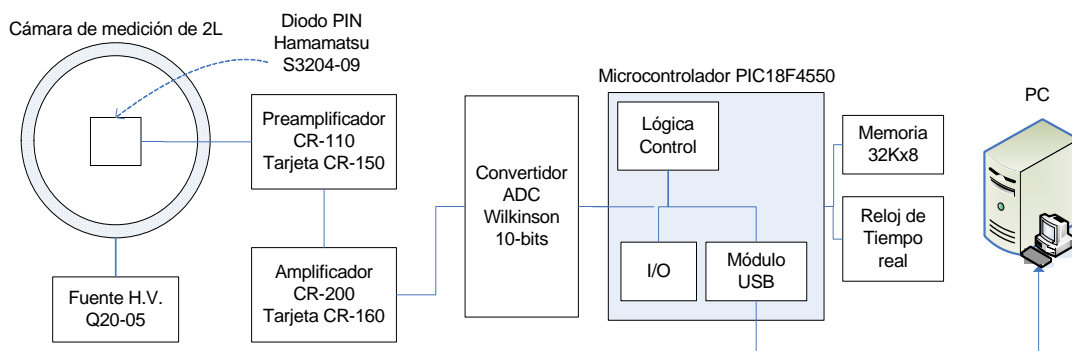


Figura 2. Diagrama de bloques general del prototipo RadonGuard desarrollado.

La instrumentación desarrollada es básicamente una cadena de espectroscopía alfa, adaptada a las condiciones que la aplicación impone. Un microcontrolador PIC18F4550 ha sido programado para operar en modo multicanal (MCA), construyendo el espectro de energías de la radiación alfa detectada con la información entregada por el convertidor analógico digital (ADC) de 10-bits. Los espectros y la información de la fecha y hora correspondiente son almacenados en una memoria externa de 32k bytes de capacidad, lo cual permite que el equipo pueda funcionar en modo stand-alone y con una capacidad de almacenamiento de hasta 15 espectros.

2.1 Cámara de detección

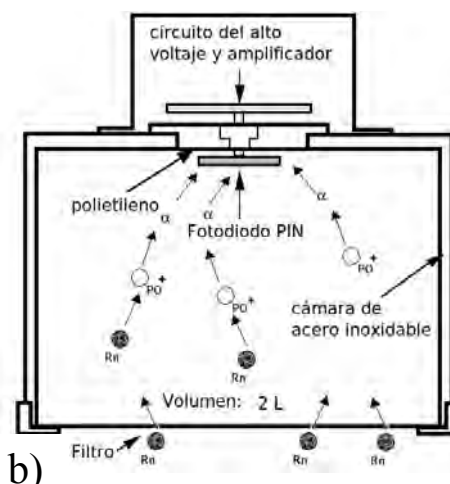
El diodo PIN Hamamatsu S3204-09 de 18 x 18 mm ha sido montado sobre la cámara de medición de acero inoxidable de 2L con la cara sensible del detector al interior de la cámara (Figura 3a).

Se ha fabricado el asiento correspondiente en polietileno negro de alta densidad, el cual además de proporcionar el soporte para el diodo, mantiene el aislamiento galvánico con el cuerpo de la cámara que debe ser mantenido con un potencial positivo mucho mayor respecto del diodo PIN para generar el campo eléctrico que se requiere. Ha sido necesario prestar especial atención en el diseño del blindaje y la forma de montaje de todas las partes interiores con la finalidad de mantener el alto voltaje de la cámara fuera del alcance del operador. Para permitir el intercambio de aire dentro de la cámara por difusión natural, se ha dejado una ranura de 4 mm en la parte externa del blindaje y que corre alrededor de la circunferencia de la misma (Figura 3b). Esta ranura permite la

entrada y salida de aire al interior del volumen sensible de la cámara además de evitar que el diodo PIN quede expuesto a la luz visible para la cual tiene una elevada sensibilidad.



a)



b)

Figura 3. (a) Diagrama panorámico de la cámara de medición. (b) Primer plano lateral del blindaje. Se observa la ranura de 4 mm para el ingreso de aire al interior de la cámara de medición.

2.2 Preamplificador

Se ha utilizado como primera etapa de procesamiento electrónico un preamplificador marca Cremat, modelo CR-110. Este es un preamplificador de alta ganancia sensible a carga el cual funciona sobre una tarjeta de montaje Cremat, modelo CR-150.

La tarjeta de montaje contiene los reguladores de voltaje necesarios para el funcionamiento del preamplificador; además de los componentes adicionales para la polarización adecuada del diodo PIN y los condensadores para desacoplar en AC la corriente de offset de operación del diodo. El diodo opera con una tensión inversa de +12V.



Figura 4. Fotografía del módulo preamplificador CR-110 y tarjeta de montaje CR-150 instalados en el soporte de polietileno sobre la cámara de medición.

La tarjeta de montaje CR-150 ha sido cortada y adaptada para ser instalada muy cerca del diodo PIN (Figura 4) y dentro de la tapa del blindaje de la cámara de medición para reducir al mínimo el ruido electrónico.

Sobre la tapa del blindaje del detector ha sido necesario montar los 3 conectores para el funcionamiento de la cámara de medición. Un conector Amphenol tipo SHV para proporcionar los +500V a la carcasa de la cámara de medición. Un conector BNC para la señal de salida del preamplificador (pulso exponenciales) y un conector DB9 para proporcionar el voltaje de operación de preamplificador y el voltaje de polarización inverso del diodo (Figura 4).

2.3 Amplificador

Como amplificador de espectrometría se ha utilizado un módulo conformador gaussiano CR-200-2 μ s marca Cremat montado sobre una tarjeta CR-160 que incluye las etapas de

ganancia fina, ganancia gruesa y cancelación de polos y ceros (P/Z). La ganancia de este amplificador ha sido calibrada utilizando como referencia un amplificador marca Canberra, modelo 2015A.

La constante de conformación de 2 τ s ha sido elegida como valor de compromiso entre el tiempo de duración del pulso y la relación señal a ruido (S/N) asociada con el ancho de banda para la constante de conformación utilizada. Debido a las bajas tasas de conteo obtenidas durante la medición, no ha sido necesario implementar los sistemas de corrección por altas tasas de conteo: restaurador de línea de base (BLR) y rechazador de pulsos apilados (PUR).

2.4 Convertidor ADC del MCA

Un convertidor ADC tipo Wilkinson de 11 bits máximo de resolución (2048 canales) ha sido construido para realizar la conversión de la altura de los pulsos provenientes del amplificador. Este ADC opera a una frecuencia de 4 MHz y tiene un tiempo de conversión máximo de 100 τ s. Este tiempo de conversión garantiza un tiempo muerto del ADC muy pequeño considerando que la medición de la progenie de ^{222}Rn se realiza con tasas de conteo muy bajas.

La palabra digital obtenida tras la conversión es enviada al módulo digital del MCA para el almacenamiento correspondiente y la elaboración del espectro de energía requerido. Este ADC puede operar en modo *stand-alone*, por lo que no necesita de ninguna señal de control proveniente del módulo digital del MCA. Esto permite reducir la carga de procesamiento del módulo digital, reduciendo al mínimo el tiempo muerto de almacenamiento en memoria.

De las pruebas de laboratorio se ha determinado que una resolución de 10-bits (1024 canales) es suficiente para los requerimientos. Esta resolución permite diferenciar perfectamente los dos picos de polonio que son de interés. El uso de una menor resolución que la máxima permitida por el MCA permite ahorrar espacio de memoria con la finalidad de almacenar mayor cantidad de espectros.

El microcontrolador es conectado a la computadora (PC) a través de un puerto USB y es programado para operación en modo

stand-alone o en modo esclavo. Un software de control (*RadonGuard*) ha sido desarrollado para ser utilizado en la PC y realizar las tareas de configuración, control y transferencia de información entre la PC y el microcontrolador.

Otro programa para la PC (*RadPlot*) ha sido desarrollado para la visualización y análisis gráfico de los espectros obtenidos con la finalidad de hacer la correlación entre los espectros obtenidos y la concentración de ^{222}Rn . La Figura 5 muestra el espectro típico de las partículas alfa medido con el prototipo desarrollado.

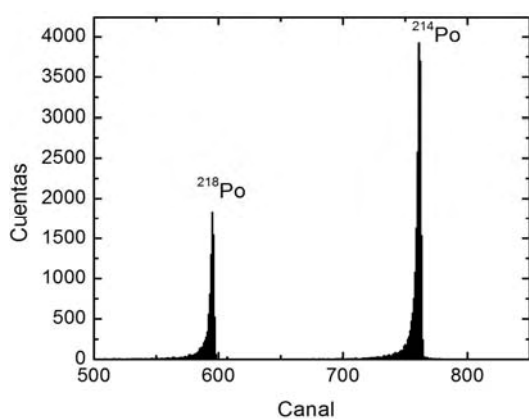


Figura 5. Espectro típico de las partículas alfa medidas con el prototipo desarrollado que son producidas por los productos de la desintegración del radón.

3. Calibración del prototipo

Para la prueba del prototipo se utilizó un área donde se enterró una muestra de uranio, muy cerca del lugar donde está el mineral, la emanación de radón era alrededor de 400 kBq m^{-3} , por lo que representa una fuente intensa de radón. Esto dará una buena estadística de medida en el prototipo desarrollado en poco tiempo. Para medir la emanación de radón se colocó la cámara de medida cubierta de una bolsa plástica para evitar que el radón se diluya en el aire.

Se programó al equipo para que registre un espectro cada media hora. En la Figura 6 se presentan los primeros 6 espectros obtenidos, en el que se observa que el pico correspondiente al ^{218}Po aparece ni bien se inicia la medición; sin embargo, el pico correspondiente al ^{214}Po aparece claramente después de 1 h.

Se puede observar que después de 3 h la concentración en la cámara alcanza un equilibrio, por tanto el tiempo mínimo para tener una medida representativa es de 4 h. Como el equipo se utilizará en zonas con poca concentración de radón se procedió a realizar la calibración usando un ambiente con bajos niveles de radón usando el AlfaGuard y el prototipo.

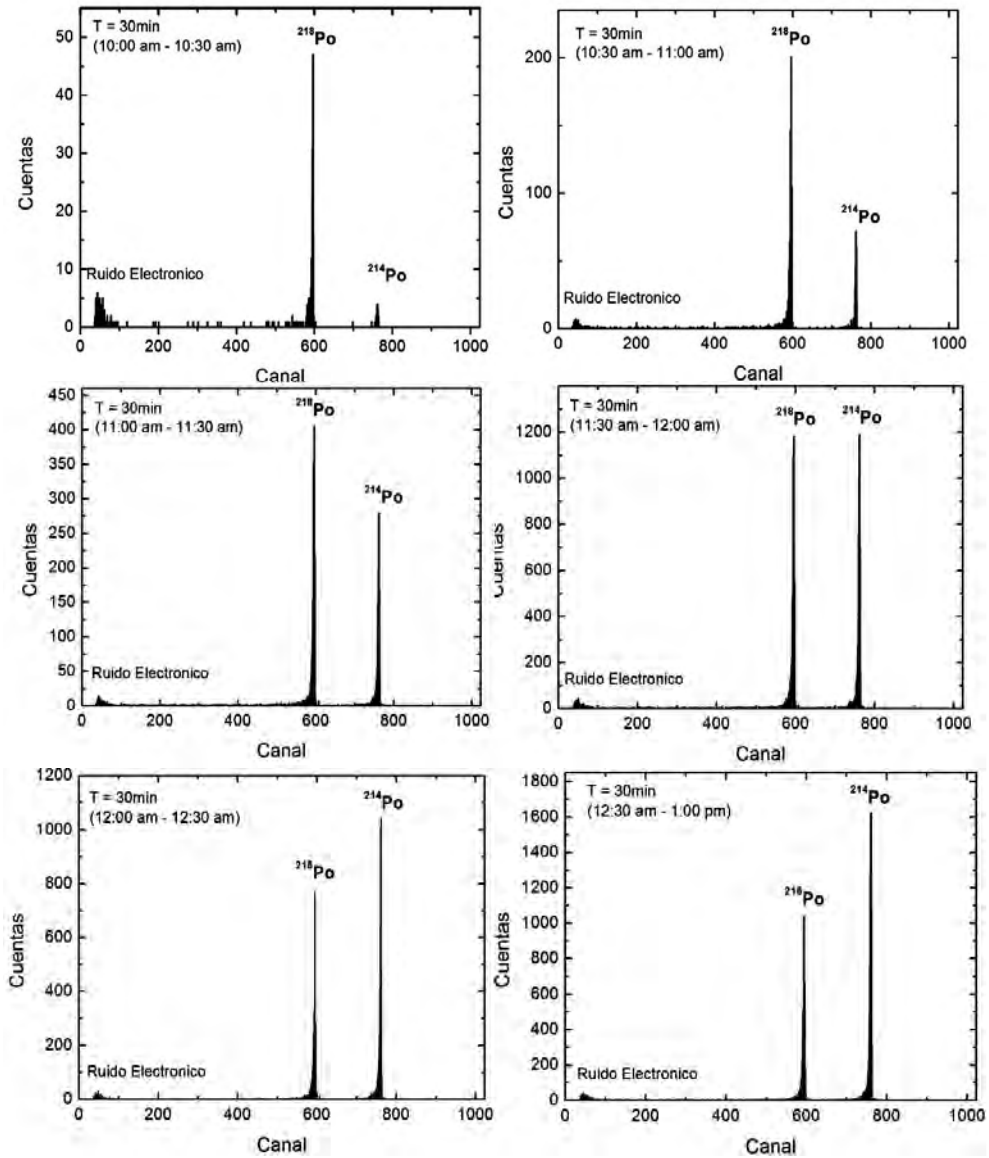


Figura 6. Espectro típico de las partículas alfa medidas con el prototipo desarrollado que son producidas por los productos de la desintegración del radón en función del tiempo tomadas cada 30 min.

4. Resultados

El prototipo fue sometido a pruebas en cuatro ambientes diferentes (A, B, C y D) todos ventilados en forma natural y con volúmenes diferentes. En todos los casos, se realizaron medidas simultáneas utilizando el prototipo desarrollado (RadonGuard) y el equipo comercial AlfaGuard. Las Figuras 7, 8, 9 y 10 muestran las lecturas de concentración de radón en estos ambientes.

Se tomaron espectros cada 4 h, tiempo con el que se obtiene una buena estadística de conteo. En todos los casos se ha observado una correlación entre la concentración de

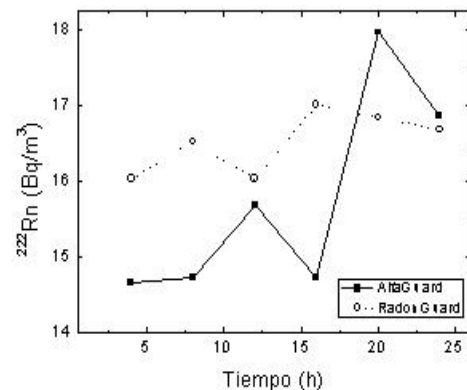


Figura 7. Monitoreo de radón durante un día en el ambiente ventilado A usando el equipo AlfaGuard y el prototipo RadonGuard.

radón y la temperatura ambiente dependiente de la hora del día. Se ha demostrado que la concentración de radón se incrementa durante la noche cuando la temperatura decae y se reduce el movimiento de aire por convección natural.

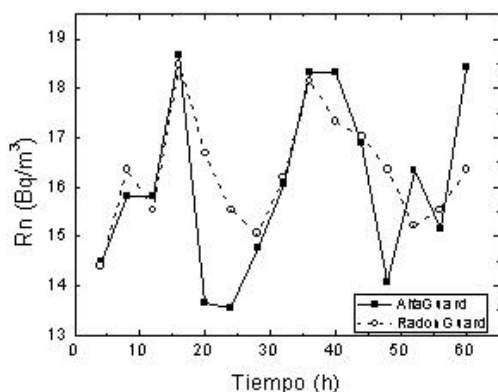


Figura 8. Monitoreo de radón durante dos días y medio en el ambiente ventilado B usando el equipo AlfaGuard y el prototipo RadonGuard.

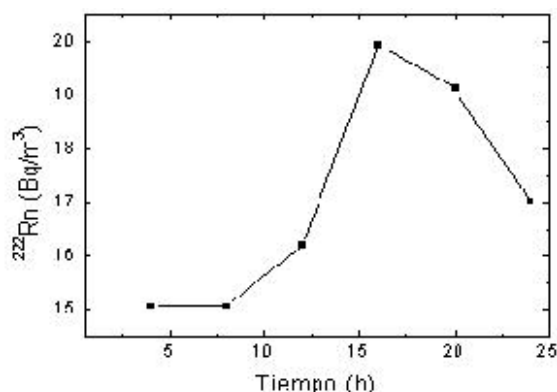


Figura 9. Monitoreo de radón durante un día en un ambiente ventilado usando nuestro prototipo RadonGuard.

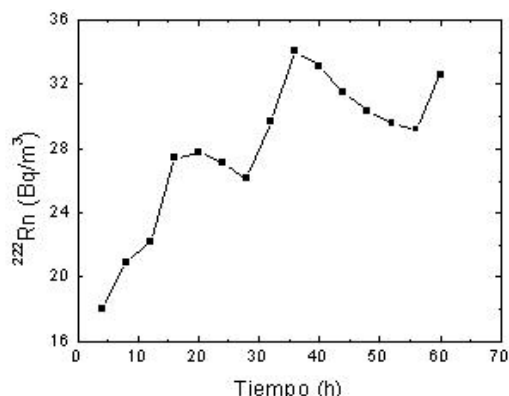


Figura 10. Monitoreo de radón durante 60 horas en un ambiente ventilado usando nuestro prototipo RadonGuard.

5. Conclusiones

El prototipo ha sido probado satisfactoriamente y proporciona la concertación de radón con razonable exactitud si se obtiene una buena estadística de conteo, situación que de acuerdo con el volumen de medición de la cámara se logra después de 3 horas de medición.

Exceptuando el sensor o diodo PIN S3204-09 y debido al uso de componentes comerciales comunes, la instrumentación construida es de bajo costo. La medición de las partículas alfa emitidas por la progenie del radón ($Po-218$) es mucho más sencilla que la medición del isótopo mismo de $Ra-222$; sin embargo, se ha observado una correlación directa entre las concentraciones de ambos durante las mediciones. La calibración realizada utilizando el equipo comercial AlfaGuard como referencia ha demostrado que dentro de rangos bajos de concentración existe una buena linealidad; que sin embargo debe ser corregida para concentraciones inusualmente elevadas de $Ra-222$. Las mediciones realizadas han permitido comprobar algunos de los parámetros que influyen en la concentración de radón en ambientes cerrados, como son: la temperatura, la ventilación del ambiente, el nivel respecto del suelo, los materiales de construcción, etc.

Con las adaptaciones y mejoras respectivas, el prototipo desarrollado puede constituirse en una buena alternativa, económica y confiable a la de los equipos comerciales bastante más costosos. Esto permitiría masificar la medición de concentración de $Ra-222$ en diversos ambiente de vivienda y/o oficinas y tomar las acciones correctivas para reducir el riesgo de una exposición elevada de la población.

6. Agradecimientos

Deseamos agradecer al CONCYTEC por el financiamiento del presente proyecto.

7. Bibliografía

- [1] International Commission on Radiological Protection (ICRP). ICRP Publication 39. Principles for limiting exposure of the public to natural sources of radiation. Oxford, Pergamon; 1984.
- [2] Steck D. J, Field R. W, Lynch C. F. Exposure to atmospheric radon ^{222}Rn .

- Environmental Health Perspectives. 1999; 107:123-127.
- [3] Health Protection Agency (HPA). Radon and Public Health: Report of the independent Advisory Group on Ionising Radiation. June 2009.
- [4] Quindos Poncela Luis. Radón: Un gas radioactivo de origen natural en su casa. Universidad de Cantabria, 1995.
- [5] Kaiser J, Heidenreich W, Monchaux G, Morlier JP, Collier C. Lung tumour risk in radon-exposed rats from different experiments: comparative analysis with biologically based models. Radiation Environment Biophysics. 2004; 43(3):189-201.
- [6] Durrani S, Ilic R, Editors. Radon measurements by etched track detectors. Applications in Radiation Protection, Earth Sciences and the Environment. World scientific Publishing Co., Singapore, 1997.
- [7] Takeuchi Y, Okumura K, Kajita T, Tasaka S, *et al.* Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A. Development of high sensitivity radon detectors. 1999; 421(1-2):334-341.
- [8] Kotrappa P, Dua SK, Gupta PC, Mayya YS. Electret - A new tool for measuring concentrations of radon and thoron in air Health Physics. 1981; 41(1):35-46.

Desarrollo de una extrusora de laboratorio para compuestos poliméricos basado en residuos de fibras naturales y polietileno

Javier Gago^{1,*}, Víctor Ramos¹, Kety León¹, Alcides López¹, Yuri Hernández¹, Luis Huatay², Julio Santiago¹, José Solís¹

¹Dirección de Investigación y Desarrollo. Instituto Peruano de Energía Nuclear. Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

²Planta de Producción de Radioisótopos. Instituto Peruano de Energía Nuclear. Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

Resumen

Para la obtención de compuestos basados en polímeros para aplicación industrial y doméstico se requiere de una extrusora, este equipo disponible comercialmente es costoso. Para trabajos de investigación se requiere un equipo de menor capacidad y de preferencia portátil, por eso se ha desarrollado una extrusora de laboratorio portable y de bajo costo con parámetros básicos controlables, se ha probado mediante la extrusión en polietileno de alta densidad (PEAD) y polipropileno (PP). Este equipo se ha adaptado para la fabricación de probetas del compuesto polimérico usando residuos de madera Capiroña (*Calycophyllum spruceanum* Be) y PEAD. Los compuestos posteriormente fueron irradiados con radiación gamma en un equipo Gammacell 220-Excel a una dosis de 100 kGy para luego someterlos a pruebas y ensayos de tracción, flexión, dureza y biodegradación. Los resultados fueron satisfactorios y servirán como base para el diseño de una extrusora industrial.

Abstract

To obtain a polymer based composite for industrial and domestic applications requires an extruder, but this commercial equipment is expensive. The equipment for research requires small capacity and preferable should be portable. It has therefore been developed a cheap and portable laboratory extruder, it was tested by extrusion of high density polyethylene (HDPE) and polypropylene (PP). The equipment has been adapted to fabricate polymer based composite probes using wood waste Capiroña (*Calycophyllum spruceanum* Be) and HDPE. The composites were gamma irradiated in the Gammacell 220-Excel with a dose of 100 kGy, then were tested the tensile, bending, hardness, and biodegradation properties. The results were satisfactory and will serve as the basis for a design of an industrial extruder.

1. Introducción

La obtención de compuestos a partir de elementos reciclados es un tema que se viene desarrollando en estas últimas décadas con gran atención. Para ello se ha desarrollado diferentes fases de investigación y posterior aplicación obteniendo buenos resultados.

En el proceso de elaboración de compuestos se emplea un equipo denominado extrusora, que es un sistema mecánico que tiene funciones de transformar, transportar, fusionar y homogenizar la mezcla de los componentes a emplearse. Las partes principales de una extrusora son: ducto de alimentación (tolva), cámara cilíndrica, tornillo extrusor, boquilla y sistema de accionamiento (motoreductor) [1].

El aparato está constituido principalmente por un tornillo Sin Fin que se ajusta con precisión dentro de la camisa cilíndrica, apenas con un

espacio suficiente para rotar. El polímero sólido se alimenta en un extremo a través de una tolva y por el otro sale el material sometido a extrusión ya perfilado [2].

Durante la primera etapa de los materiales compuestos, el refuerzo más común utilizado ha sido la fibra de vidrio en sus diferentes presentaciones, dando lugar a unos materiales versátiles con excelentes presentaciones y a un costo razonable. Pero, desde el 16 de junio del 2001 el vertido de materiales compuestos basados en polímeros y refuerzo de fibras de vidrio ha quedado prohibido en todos los países de la Unión Europea, por lo que la única alternativa claramente viable para la eliminación de dichos materiales es la recuperación energética, pero la presencia de fibra de vidrio como refuerzo hace incluso limitada esta posibilidad [4]. La necesidad de

* Correspondencia autor: jgago@ipen.gob.pe

emplear fibras naturales recicladas como los residuos de madera es una alternativa que busca atenuar la contaminación mediante un producto que pueda ser rehusado varias veces. Se han desarrollado innumerables tipos de extrusoras para plásticos y

compuestos, pero mayormente están diseñados para la producción a grandes volúmenes y con costos elevados. El diseño y construcción de la extrusora tiene como parte principal un tornillo que lo hace económico y funcional.

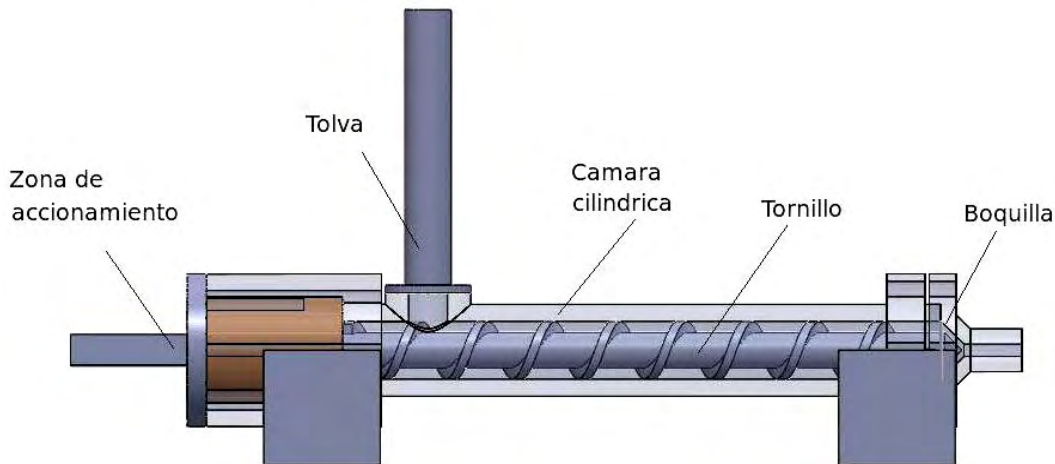


Figura 1. Corte esquemático de la extrusora.

2. Desarrollo Experimental

Para el desarrollo y construcción de la extrusora se ha empleado materiales según las norma AISI y SAE, de tal forma que en la construcción del tornillo extrusor, boquilla y el cilindro se ha usado acero AISI 4140 (VCL), en la tolva y soportes se ha empleado acero SAE 1020.

2.1 Diseño y construcción del tornillo o husillo central

El componente más importante de la extrusora es el tornillo Sin Fin, el cual consta de características definidas en función del material a extruir y de la capacidad de la extrusora. En este caso, el diámetro del cilindro da el parámetro de la maquina al igual que la relación entre la longitud del tornillo y el diámetro de la camisa (L/D).

La relación (L/D) varía entre 5 y 30, siendo las más usuales las que están en un rango entre 20 y 25. Esta relación está en función del tipo de material empleado ya que los materiales fácilmente degradables requieren relaciones bajas de (L/D), lo contrario para los materiales que requieren una mejor homogenización, necesitan relaciones altas de (L/D) [4].

Para nuestro caso se establecieron las siguientes referencias geométricas:

Relación L/D= 10,33

Diámetro 15 mm y Longitud 155 mm.

En la Tabla 1 [5] se establecen las relaciones geométricas del tornillo extrusor (Figura 2) y en base a ella podemos estimar la viscosidad del compuesto. Aplicándose una velocidad angular (N) apropiada y empleando las fórmulas de la Tabla 1 se obtienen los resultados que se muestran en la Tabla 2.

Experimentalmente se ha aplicado una potencia de 20 W a 100 W. Con este dato utilizando las ecuaciones (10) y (11) podemos estimar la viscosidad del compuesto resultando los siguientes valores de 113705 Pa.s y 568526 Pa.s, respectivamente. Lógicamente que el sistema funciona mejor cuando las viscosidades son bajas, esto se debe que estamos en una fase de experimentación y los procesos que son manuales arrojan este rango de viscosidades.

Tabla 1. Parámetros de un tornillo extrusor.

Ancho del canal	$b = (p - t) \cdot \cos \phi \dots (1)$
Longitud de la hélice	$dz = \frac{p \cdot \pi}{\cos \phi} \dots (2)$
Velocidad longitudinal	$W = \pi \cdot D \cdot N \cdot \cos \phi \dots (3)$
Flujo de arrastre	$Q_d = \frac{W}{2} \cdot b \cdot h \dots (4)$
Razón de la cortante del Flujo de arrastre	$\gamma_D = \frac{W}{h} \dots (5)$
Ancho normal del filete	$t_N = t \cdot \cos \phi \dots (6)$
Ancho tangencial del filete	$t_T = \frac{t}{\tan \phi} \dots (7)$
Velocidad tangencial	$v_T = \pi \cdot D \cdot N \dots (8)$
Razón de la cortante del filete	$\gamma_{fl} = \frac{v_T}{\delta} \dots (9)$
Potencia del canal	$E_{canal} = \frac{\eta \cdot W^2 \cdot b \cdot dz}{h} \left[4 \cdot (1 + \tan^2 \phi) - \frac{6 \cdot Q_D}{W \cdot b \cdot h} \right] \dots (10)$
Potencia del filete	$E_{filete} = \frac{\eta \cdot W^2 \cdot t \cdot dz}{\delta \cdot \cos \phi} \dots (11)$

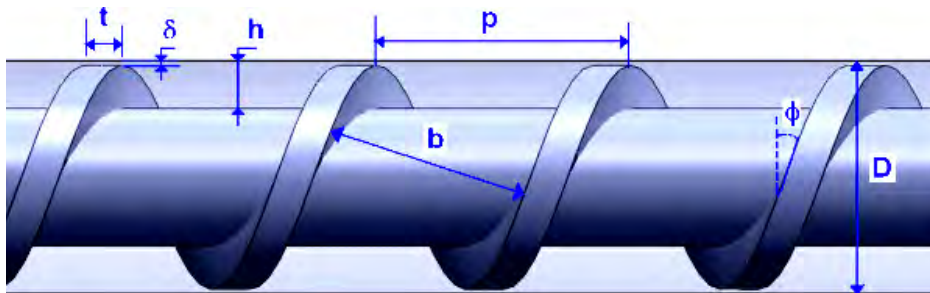


Figura 2. Perfil del tornillo sin fin de la extrusora.

Tabla 2. Datos procesados.

Ancho del canal	b	13.3	mm
Longitud de hélice	dz	57.3	mm
Velocidad longitudinal	W	14.8	mm/s
Flujo de arrastre	Q_d	294	mm ³ /s
Razón cortante del Flujo de arrastre	γ_D	4.92	Hz
Ancho normal del filete	t_N	2.82	mm
Ancho tangencial filete	t_T	8.24	mm
Velocidad tangencial	v_T	15.7	mm/s
Razón cortante del filete	γ_{ϕ}	15.7	Hz

2.2 Diseño y construcción de la boquilla

El comportamiento global de la extrusora está relacionado por la interacción entre el comportamiento de la boquilla y el tornillo mediante las ecuaciones (12) y (6):

$$Q = K \cdot \frac{\Delta P}{\eta} \dots (12)$$

Donde

η = viscosidad

ΔP = diferencia de presión

K = constante geométrica de la boquilla

En nuestro caso, estamos escogiendo una boquilla con orificio circular, tal como se muestra la Figura 3, donde el factor K se expresa de la siguiente forma [6].

$$K = \frac{\pi \cdot R^4}{9 \cdot L} \dots (13)$$

Donde R es el radio de salida de la boquilla y L su longitud. Se trabajó con dos boquillas intercambiables con radios de 1,6 y 3,2 mm observándose que se mejora el caudal con el radio mayor, pero la compactación del compuesto es uniforme cuando se utiliza la boquilla de menor radio. Con ello se comprueba la disminución de la diferencia de presión al aumentar la abertura [6], la extrusora completamente armada puede ser apreciada en la Figura 4.

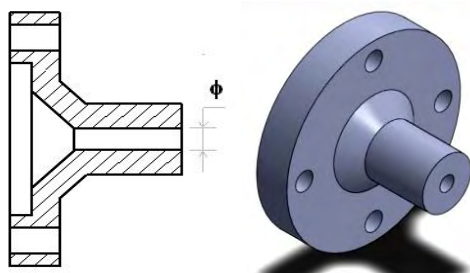


Figura 3. Diagrama de la boquilla extrusora (dado).

3. Resultados

3.1 Operación del equipo

Se prepararon mezclas de polvo de Capirona (Aserrín) tamizado a 400 μm con pellets de polietileno de alta densidad en proporciones iguales, al lograr una mezcla homogénea se va alimentando a la extrusora, luego se somete a un horno hasta alcanzar una temperatura de 150 $^{\circ}\text{C}$ manteniéndolo en esas condiciones por 30 minutos, se retira del horno para inmediatamente aplicarle un torque al extremo opuesto de la boquilla. El resultado son tiras de sección circular que se adecuan en forma de pellets, tal como se observa en la parte baja de la Figura 5.

El polietileno empleado tiene la siguiente composición: (Al 69 \pm 3, Cl 28 \pm 3, Mg 12 \pm 3, Zn 22 \pm 3 mg/kg) caracterizado mediante análisis de activación neutrónica [7].

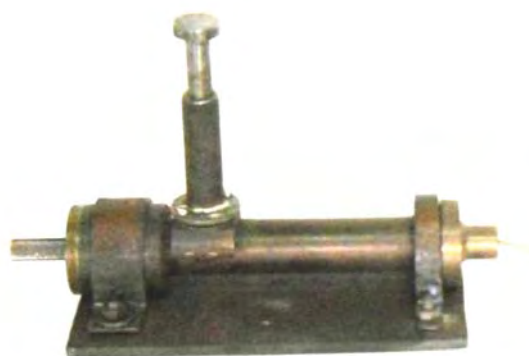


Figura 4. La extrusora con la salida del compuesto en forma lineal.



Figura 5. En la parte superior se muestra los residuos de aserrín, en el medio los pellets de polietileno y abajo están los pellets del compuesto obtenidos de la extrusora.

Los pellets obtenidos son introducidos en una matriz de probeta, para someterlo a presión en una prensa hidráulica obteniéndose muestras como se observa en la Figura 6. Las probetas están basadas en la norma ASTM 638-10 [8].



Figura 6. Probetas para ensayos mecánicos

3.2 Pruebas realizadas a los productos obtenidos en la extrusora

A las muestras obtenidas en el equipo se le practicaron ensayos de flexión y tracción en la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Los resultados se presentan en la Tabla 3, donde se muestra que en el ensayo de flexión del Compuesto Madera Polímetro (CMP) irradiado sufre una leve disminución de sus propiedades mecánicas (cálculo del MOE y MOR); en cambio, el compuesto CMP al ser irradiado en el ensayo de tracción se incrementa en un 18,5 % aproximadamente. Igual efecto se produce en la probeta solo PEAD donde se incrementa en un 16,4 %. Respecto a los ensayos de tracción los resultados que se muestran son la carga máxima en donde la probeta deja de ser totalmente elástico.

Tabla 3. Resultados del ensayo mecánico.

Ensayo	Muestra	No irradiado (MPa)	Irradiado (MPa)
Flexión	CMP - MOE	731.38	578.97
	CMP- MOR	12.74	11,7
Tracción	CMP	5.95	7.05
	PEAD	12.11	14.09

CMP: Compuesto Madera Polímetro

MOE: Modulo de Elasticidad

MOR: Modulo de Rotura

PEAD: Polietileno de Alta densidad

También se hicieron pruebas de biodegradación, para lo cual se prepararon muestras de polvo de madera irradiado a 5 kGy, muestras sin irradiar y de madera sola. Luego, se procedió realizar el ensayo de biodegradación siguiendo metodología IRAM N° 9518 aplicados en trabajos anteriores [10-11].



Figura 7. Probeta puesta en el cultivo de hongos.

Tabla 4. Resultados del ensayo de biodegradación.

Descripción		Pérdida de Peso (%)
Muestra 1	CMP	0,53
Muestra 2	Madera	22,38
Muestra 3	CMP 25kGy	0,42

De acuerdo con lo representado en la Tabla 4 se determina que la biodegradación no afecta al compuesto madera-polímero tanto el irradiado y no irradiado, mientras que en la madera sí se produce una pérdida de peso apreciable.

3.3 Aplicaciones

El desarrollo de estos compuestos presentan diversas aplicaciones del producto obtenido y pueden ser maquinados, torneados y taladrados con facilidad (Figura 8), como también ser moldeable según la matriz que se diseñe como se aprecia (Figura 9) en un recipiente hecho con este material.



Figura 8. Maquinado del compuesto.



Figura 9. Recipiente a base del CMP.

4. Conclusiones

Se ha diseñado y fabricado un extrusor prototipo de gran utilidad para ensayos experimentales, muy económico en comparación con una comercial y tiene una capacidad de producción de 294 mm³/s.

El acero inoxidable empleado en la construcción del prototipo, según las normas AISI y SAE, es adecuado en la función que desempeña la tolva, boquilla, eje principal o cubierta, respondiendo a las diferentes variables de experimentación en laboratorio.

Las probetas obtenidas en el extrusor de laboratorio del Compuesto Madera Polímetro (CMP), al ser irradiadas y luego sometidas a ensayos mecánicos preliminares sufren algunas variaciones. Se observa una mejora en su resistencia mecánica a la tracción, pero hay un leve decaimiento en su flexión. Este comportamiento es similar a otros estudios [12]. Lo que se busca es que ambos parámetros mejoren.

Con relación a los ensayos de biodegradación, hay una mejora respecto a la madera Capirona en un 22 % contra un 0,5 % de pérdida de peso en el CMP.

5. Agradecimientos

A los Ingenieros Moisés Acevedo de la Facultad de Ciencias Forestales de la UNALM y Max Medina de la Planta de Producción de Radioisótopos. A los Técnicos Luis Cavero, Alberto Ramos de la Planta de Producción de Radioisótopos. Al Ing. Jorge Condori, Lic. Johnny Vargas y Lic. Mónica Vivancop por los servicios de irradiación.

6. Bibliografía

- [1]. Bouza Padin Rebeca. Diseño y caracterización de nuevos materiales compuestos polipropileno y madera: Estudio del viniltrimetoxisilano como agente de acoplamiento. [Tesis Ph.D.]. La Coruña, España: Universidad da Coruña. Departamento de Física; 2008.
- [2]. Gómez Gómez J, Gutiérrez Bedoya J. Diseño de una extrusora para plásticos. [Tesis Tecnólogo en Mecánica]. Risaralda, Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira. Escuela de Tecnología Mecánica; 2007.
- [3]. Ochoa Mendoza Almudena. Reciclado

mecánico de materiales compuestos con fibras de celulosa. [Tesis Ph.D.]. Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales; 2005.

[4]. Cortés Muñoz Jorge. Diseño y automatización de máquina extrusora para reciclaje plástico. [Tesis]. Cali, Colombia: Universidad Autónoma de Occidente; 2008.

[5]. Tello Carrera V. Diseño de una máquina de soplado automática para hacer botellas de polietileno de alta densidad (HDPE), con una capacidad máxima de 1 litro y un ciclo máximo de 12 segundos. [Tesis]. Puebla, México: Universidad de las Américas Puebla; 2005.

[6]. Beltrán Maribel Marcilla. Curso. Tema4. Tecnología de los polímeros. Departamento de Ingeniería Química. Universidad de Alicante. España 2012. Disponible en: <http://diq.ua.es/es/materiales.html>.

[7]. Bedregal Patricia. Informe de análisis N° 1402. División de Técnicas Analíticas Nucleares. INDE-IPEN. 2012. [Informe interno].

[8]. American Society for Testing and Materials (ASTM). ASTM D638-10. Standard test method for tensile properties of plastics. New York; 2011.

[9]. Pontón P, Guerrero VH. Obtención de materiales compuestos de matriz poliéster reforzados con fibra de abacá mediante estratificación manual. Revista Tecnológica ESPOL-RTE. 2010; 23(3):47-54.

[10]. Gago J, *et al.* Desarrollo de un material compuesto a base de residuos de madera Capirona (*Calycophyllum spruceanum*) y polietileno. En: Instituto Peruano de Energía Nuclear. Informe Científico Tecnológico 2008. Lima: IPEN. 2009. p. 43-48.

[11]. Gago J, *et al.* Incremento de la durabilidad decompuestos madera-polímero procesadas por radiación gamma frente al hongo *Polyporussanguineus*. En: Instituto Peruano de Energía Nuclear. Informe Científico Tecnológico 2008. Lima: IPEN 2009.p. 108-113.

[12]. Raouf O. Aly. Influence of gamma irradiation on mechanical and thermal properties of waste polyethylene/nitrile butadiene rubber blend. Department of Polymer Chemistry, National Center for Radiation Research and Technology, Nasr City, Cairo, Egypt 2012.

VIII. Aspectos Generales

The need of a Member State's Commitment to prevent denial of shipments of radioactive material worldwide

Mario Mallaupoma^{1,*}, Ulric Schwela²

¹ Dirección de Servicios, Instituto Peruano de Energía Nuclear, Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

² Tantalum-Niobium International Study Center (TIC), Lasne, Belgium

Abstract

Radioactive sources are used globally in a wide range of beneficial applications in the health care industry, in industrial applications, manufacturing, exploration and development, as well as in basic scientific research. In fact, some 45 % of the world's medical disposable products are gamma sterilized using cobalt-60, in processing plants located around the world. Other vital applications such as cancer treatment, nuclear medicine, oil exploration and industrial radiography routinely and extensively use radioactive sources. In addition, radionuclides and radiopharmaceuticals are used tens of millions of times every year in the diagnosis and treatment of disease in patients globally, or even for everyday uses in smoke detectors and some types of lighting. The ability to use such radioactive materials in these sectors is dependent on their safeness and secure transport, both within and between countries, to ensure that all countries have access to this technology in a timely and cost effective manner. This paper analyzes the issue of denial of shipment and the need of a Member State's commitment, to facilitate the transportation of radioactive material for society's benefit.

Resumen

Las fuentes radiactivas se utilizan ampliamente en múltiples aplicaciones benéficas en el mundo, en el cuidado de la salud, en las aplicaciones industriales, en la fabricación de materiales, en procesos de exploración y desarrollo así como en la investigación científica básica. Por ejemplo, más del 45 % de los productos utilizados en medicina son esterilizados con una fuente radiactiva de cobalto-60 en muchas plantas localizadas en todo el mundo. Otras aplicaciones vitales, tales como el tratamiento del cáncer, la medicina nuclear, la exploración de petróleo y la radiografía industrial requieren un uso intensivo de fuentes radiactivas. Adicionalmente, diversos radionucleídos y radiofármacos son utilizados por decenas de millones de casos cada año, en el diagnóstico y tratamiento de enfermedades de pacientes a nivel mundial e inclusive en el uso diario en detectores de humo y en iluminación. La capacidad de utilizar tales materiales en los diferentes sectores depende de la seguridad de su transporte tanto dentro como entre países, para asegurar que todos los países tengan acceso a esta tecnología de una manera oportuna y rentable. Este artículo analiza los casos de rechazos de expediciones de material radiactivo y la necesidad de un mayor compromiso de los Estados Miembros para facilitar su transporte para beneficio de la sociedad.

1. Introduction

Radioactive material is used throughout the world for many applications that benefit human kind, encompassing agriculture, industry, medicine, electric power generation and research purposes. In almost all cases, the materials are generated in locations other than those where they are needed and so require transport. Most transport is one-way, from producer to user, however some applications require the return transport of disused sources at the end of their useful life e.g. from sterilization plants, medical radiotherapy or industrial applications.

1.1 Societal needs

- Radioactive materials (RAM) are used in many applications in our modern societies, mostly medical and industrial applications.
- Medical applications are mostly tracers for diagnosis of a disease; less so for medical treatment and sources for radiotherapy.
- International transport of RAM is vital for the medical diagnosis and treatment of cancers and other humanitarian needs.
- For some people the safe and secure delivery of radioactive material for diagnostic and treatment procedures can mean the difference between life or death.

* Correspondencia autor: mmallaupoma@ipen.gob.pe

– According to statistics of developing countries: 4 million of the 6 million deaths due to cancer in the year 2000 occurred in developing countries lacking radiotherapy machines, in fact some parts of Africa and Asia cannot carry out any diagnosis. Globally, deaths from cancer are expected to rise from 6 million in 2000, to 9 million in 2015, to 12 million in 2030[1].

– Industrial applications include gauges for quality control and equipment maintenance, where other solutions are not possible.

– A number of consumer products are treated with radiation to improve their properties, such as computer hard disks and non-stick frying pans [2]– obviously this does not make them radioactive.

– Some consumer products contain small amounts of radioactive material for their function such as some types of smoke detectors, photocopiers and lamps.

– Some industrial sources are used for sterilizing a variety of items, including food such as grain, fruit or spices, as well as medical equipment and cosmetics.

– Despite forming a minority of RAM transport, often radioactive material is regarded as nuclear fuel material associated with the civil nuclear power programs in many Member States.

-. Radioactive sources are also used in research for agriculture and the environment, in studying plants and understanding soil and water dynamics.

-. Some naturally radioactive minerals are transported to extract non-radioactive elements for everyday applications, in consumer electronics, optics, aerospace engineering and medical implants [3].

2. Methodology

2.1 Transport regulation

The transportation of radioactive material places it outside of controlled facilities, in the public domain, and often entails movement between countries. As the peaceful uses of radioactive material grew, the international community recognized early on that rigid and uniform standards were needed to ensure the safety of handlers, the public and the environment.

Transport of radioactive material is governed by national and international regulations

which are based on the International Atomic Energy Agency (IAEA) Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material (Publication Safety Standards Series No. TS-R-1 (2009), to be replaced by Specific Safety Requirement SSR-6 (2012). The Regulations are developed by a committee of experts from dozens of Member States of the IAEA and ensure high standards of safety.

The IAEA transport regulations form the basis for the United Nations (UN) Model Regulations (commonly referred to as the ‘orange book’) which covers all types of dangerous goods (*i.e.* all Classes from 1 to 9) and by all modes of transport. Separate UN agencies for modal transport, *e.g.* the International Maritime Organization for transport by sea, issue modal regulations that cover all dangerous goods. These modal regulations for air, sea or land apply to international transport. For regulation of domestic transport, individual countries generally implement the IAEA transport regulations directly, some without any modification but unfortunately most countries apply some form of variation or additional regulation, which means that the transport regulations in each country are different and not harmonized. Further levels of administration within a country in the form of regions, municipalities or port authorities sometimes add further proscriptions or requirements that serve to hinder the transport of radioactive materials. Countries that add this multiplicity of requirements do this despite that they have experts involved in the development of the common set of IAEA Transport Regulations.

2.2 Denial and delay of shipments

Despite this careful regulation, there are increasing numbers of instances of denial and delay of shipment of radioactive material even when complying with regulations. This problem is due to a variety of factors such as:

- Apprehension and negative perception on the part of carriers and public authorities about radiation. This is due, in part, to lack of information, awareness and understanding.
- A misunderstanding that radioactive materials are nuclear fuel waste; much less than 5 % of transports [4] are part of the nuclear fuel cycle and only a part of these are waste. Most radioactive material transports

are for urgent medical treatment.

- Concerns about extent and cost of training. This is because the carriers have been under the impression that extensive training had to be given to those involved in transport, in particular, their personnel who manage and handle radioactive material. It is not necessarily so. For this purpose, expert consultants have devised a half day training program each for cargo personnel, handlers and managers and for public officials.
- Multiplicity of regulations and regulators within a State and lack of harmonization between nations. There is limited interaction among the various regulatory authorities within a given State. This situation can cause duplicative, overlapping or even contradictory regulatory requirements and actions.
- Additionally, some ports (or even countries) apply an outright ban on transit or transshipment of Class 7, or an application procedure or practical requirements so onerous that they are tantamount to a ban.
- Carriers of goods, particularly maritime carriers whose ships call at multiple ports of different countries along their routes, often find it impossible to comply with the different and potentially conflicting regulations that apply in the various countries; consequently they have no choice but to turn down bookings for Class 7 transport.
- Lack of awareness and public outreach about (a) the need to use and transport radioactive material and (b) the safety standards that exist in practice.

2.3 Consequences of denial and delay of shipments

In particular, delays in and denials of shipments of radioactive material for medical use can result in hardships to patients undergoing diagnosis and treatment with radioactive material and to others, who rely on products sterilized by radiation. We can say that the growing problem of refusal by carriers, ports and handling facilities to transport radioactive material are generating both social and economic problems and not only needs to be addressed with a lot of attention but also requires a quick solution[5].

The issue of denial of shipments is not just

for specialists but affects the lives of millions of people around the world. The majority of the radioactive material shipped every day is used in hospitals for diagnostics and treatment of several illnesses. Any delay or denial of shipment may render the isotopes useless for their intended application. Because of their short half-lives, denial and delay of transport of radionuclides like fluorine-18 or iodine-131 has a strong and negative impact on health care.

Unfortunately delay and denial of shipments of radioactive material occur in all modes of transport, whether air, land or sea. For that reason, the transport of radioactive materials is vital to the use of such materials in medicine, general industry and in the nuclear fuel cycle.

2.4 International Steering Committee (ISC)

An International Steering Committee on Denials of Shipments of Radioactive Material was constituted in November 2006 to tackle the issue of denial of shipment. In the IAEA's 51st General Conference Resolution GC(51)/RES/11 operative paragraph 14, the 2007 General Conference welcomed the formation of the International Steering Committee and urged the IAEA Secretariat to actively facilitate the Steering Committee's work including the further development of the action plan and a database on incidents of denials and encourages Member States to cooperate with the Steering Committee and its work, and further called upon Member States to facilitate transport of such radioactive material when it is carried in compliance with the IAEA's Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material (the transport regulations) and get National Focal Points nominated by the end of 2007. Since then recurrent IAEA General Conference resolutions have continued to urge the IAEA Secretariat to actively facilitate the Steering Committee's work and encouraged Member States to cooperate with the Steering Committee and its work.

At its first meeting the Steering Committee developed and adopted an Action Plan, which includes the actions to be taken, the member who would take the action and the date by which the action would be accomplished.

The Action Plan is based on six areas of work and can be seen in Table 1 [6].

Table 1. Action Plan of the ISC.

No.	Area of work	Description
1	Awareness	Institute a database to record all denials (all modes and all geographies)
2	Training	Improve awareness and understanding of transportation supply chain and stakeholders regarding transport safety regulations and experience
3	Communication	Improve the integration and transparency between producers, shippers, users, carriers, authorities, regulators and the public
4	Promotion/ Lobbying	For marketing, outreach and promotion of industries shipping radioactive materials and for promoting a positive image regarding these materials
5	Economics	Mitigate deleterious and burdensome costs associated with shipping denials and delays
6	Harmonisation	International and national regulations and standards, of Port and Port Authority requirements, of carrier requirements and of denial report process

2.5 Awareness - Database

An analysis has been made taking as a reference a database of the past cases of denial. Based on this, the actions developed at an international level by the IAEA and international organizations involved in the transportation of radioactive material continue to evolve.

2.5 The new organizational structure

In its 5th meeting in February 2010, the International Steering Committee (ISC) was challenged to decide who should be the committee members, how the ISC should be managed and to “accept working toward a goal of making sure denials and delays of shipment of radioactive material would be reduced to a level not worthy of reporting by 2013” [5].

The structure including the ISC, regional networks and national groups was reviewed and a more cohesive approach was agreed. A body was created composed of national, regional and international government nominated representatives, to which other representatives from transport industry, suppliers and other relevant associations would be added [7].

The need for continuous cooperation between all involved parts was recognized. The diversity of participants was understood as essential to fulfill all of the required actions. In this regard, the relationship among the various actors and stakeholders must be optimized. Communication has proven to be a key factor in this process and the most valuable tool in solving Denials and Delays problems.

Facilitation rather than coordination is the main role of the ISC. The identification of the need, scope and expected products of meetings is the responsibility of the Management Team. Regional Coordinators and members of the Management Team will work closely in guiding and supporting National Focal Points.

National Focal Points and Regional Coordinators are entrusted to initiate and maintain respectively their national and regional networks, and to share knowledge, to facilitate the solving of instances of denials/delays of shipment and to encourage reporting.

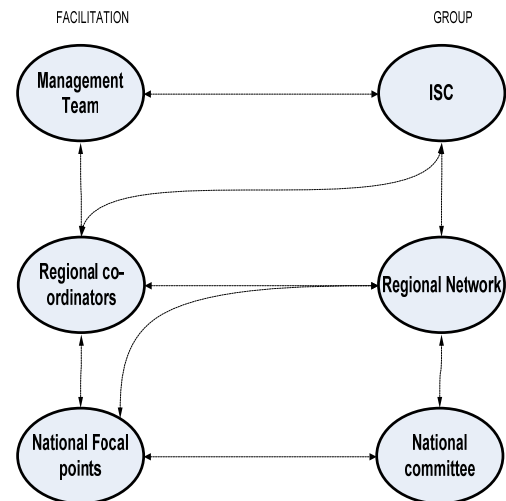


Figure 1. New organizational structure.

In this new organizational structure, individuals (National Focal Point, Regional Coordinator and member of the Management Team) are supported by groups (National network/committee, regional network and International Steering Committee) in their facilitation action, as described in the figure

1, respectively at national, regional and global levels.

The Denial Secretariat, which includes secretariats of IMO, ICAO and IAEA, serves as the interface between all individuals and networks to support the global structure, to maintain the new organizational structure and to provide tools such as the database, handbook and communication tool kit. The individuals of the new organizational structure are the National Focal Points, the Regional Coordinators and the members of the Management Team, respectively for the national, regional and global levels respectively.

In order to facilitate the ease of communication between the Steering Committee and Member States, the Steering Committee identified the need for a National Focal Point (NFP) to be nominated by each Member State. Most of NFPs that have been nominated by Member States belong to competent authorities.

Five regions have been identified:

- America (as a whole), including North America, Latin and South America, and Caribbean region);
- Mediterranean region;
- Europe;
- Asia Pacific;
- Africa.

The ISC is headed by the members of the Management Team, i.e. a Chair and two Deputy Chairs, one IAEA representative and the former ISC Chairs. Each ISC Chair will serve a term of one year, at which point the person will become a 'former' ISC Chair and be replaced by the Deputy Chair. At the same time, a new Deputy Chair will be elected from the ISC membership. The Management Team has for task of driving and coordinating the complete process of facilitation.

3. Results and discussions

We can mention some results taking in account the seventh International Steering Committee meeting:

A working group developed, for air and marine modes, a matrix which would allow reporting without concern over confidentiality.

The IAEA is developing a Self Assessment Tool (SAT) to assist Member States in carrying out self assessments. Twelve modules have been developed thus far to cover transport and it has been suggested that a further module be developed to cover transport in the area of denial of shipment. It was developed a draft set of questions for further review within the IAEA. Includes questions on ports / carriers that accept Class 7 [8].

It has been developed a better strategy to improve a communication action plan. These actions should consider different stakeholders and segments of population. It is necessary to emphasize the concept that a denial or delay case can make the difference between life or death.

IAEA has requested all Member States (MS) to nominate a National Focal Point (NFP). As of February 2011 there were approximately 80 MS which have made their respective designation. In this case, it is necessary a higher commitment of MS through the designation and participation of NFP to prevent denial and delay cases of shipments of RM. At the IAEA's 56th General Conference held in Vienna, a number of the MS attending were engaged in discussion regarding the existence of DOS in their country or region and the need to appoint an NFP if this had not already been done.

For sustaining the work of ISC, International Civil Aviation Organization (ICAO) has suggested an Inter-Agency Committee for Transport (IACT) with UN bodies (International Atomic Energy Agency (IAEA), International Maritime Organization (IMO), International Civil Aviation Organization (ICAO), World Health Organization (WHO), and United Nations Economic Commission for Europe (UNECE)/Economic and Social Council (ECOSOC)) comprising the core team. Primary focus would be transportation of all Dangerous Goods and Denials and Delays would be an ongoing topic of involvement.

4. Conclusions

A regional network allows participants to share their experiences and lessons learned as well as identify and disseminate best practice. It is essential for resolving problems. The

regional work permits the exchange of information among senior specialists and this has already led to important findings that can be submitted to the IAEA's policy-making.

Successful communication and strong cooperation between a range of partners is another essential activity for avoiding or reducing denials. There is a need for better communication among carriers, consignors, competent authorities and local and World organizations like International Maritime Organization, International Civil Aviation Organization, International Air Transport Association and International Federation of Airline Pilots Association. In that sense, it is a key action to implement communication in regional and national networks.

It is essential that all stakeholders related to the transportation of dangerous goods in a Member State, are integrated into a national network to identify strengths and weaknesses of the respective strategy against denials. For instance, Brazil has created a National Committee on Denial of Shipments where stakeholders have contributed to solve many problems.

IAEA should support in a short time, as soon as possible, a new meeting for NFP of the region to analyze and discuss the results obtained in the implementation of an updated action plan according to the recommendations of the ISC and Management Team.

The MS regulators should identify the additional regulations in their country and advise the IAEA, with the aim of either integrating them into the common IAEA transport regulations or eliminating the mal together. Industry should continue to report instances of DOS in a timely fashion submit reports to their NFP (or RC if there is no NFP) or the IAEA directly. In order to sustain the safe and secure transport of radioactive materials, transport regulations should be harmonized [9].

5. Acknowledgements

Our special thanks go to those Member States which have designated NFPs and all the stakeholders who every day, contribute to the facilitation of the transportation of radioactive material. Also, our gratitude goes to the members of the ISC for their feedback and collaboration.

6. Bibliography

- [1]Whittingham S. Regional Coordination and Cooperation-The Future Regulatory Model. In: 7th International Steering Committee Meeting. Vienna, Austria. 2011.
- [2]International Atomic Energy Agency. Cyclotron produced radionuclides. Principles and practice. Technical Reports Series 465. Vienna: Austria; 2008.
- [3]International Atomic Energy Agency. Transport saves lives – Call for action to sustain the transport of radioactive material. Vienna: Austria; 2012.
- [4]Whittingham S. Safety and security in the transport of radioactive materials. IRPA 13 Refresher Course (RC13) 13th International Radiation Protection Association Congress. Glasgow, United Kingdom; 2012.
- [5]Mallapoma M. The denial of shipments of radioactive material: A worldwide social problem. International Radiation Protection Association Congress (IRPA). Buenos Aires, Argentina; 2010.
- [6]Gray P. Denial of shipment of radioactive material. PATRAM 2010. London, United Kingdom; 2010.
- [7]International Atomic Energy Agency. The handbook for addressing instances of denials/delays of shipment of radioactive material. Vienna: Austria; 2010.
- [8]Gorlin S. ISC-DOS Update; TRANSSEC 24; Vienna, Austria. 2012.
- [9] Schwela U. Overcoming denial of shipment of NORM – Addressing the implementation of transport regulations. EU-NORM International Symposium. Tallinn, Estonia; 2012.

Estimación de riesgo de desastres en el Centro Nuclear Óscar Miró Quesada de la Guerra (RACSO)

Rolando Arrieta*, Mariano Vela

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

Resumen

Se presenta la metodología desarrollada para sistematizar el proceso de estimación de riesgos de desastres al que se encuentra expuesto el Centro Nuclear "RACSO" del Instituto Peruano de Energía Nuclear. Para este propósito, se han identificado los peligros y analizado las vulnerabilidades, lo cual ha servido de base para plantear el actual Plan de Contingencias de "RACSO", permitiendo racionalizar los recursos humanos y financieros en la prevención y atención de los desastres. La estimación de riesgo ha constituido un elemento de juicio para la preparación/educación de los trabajadores para una respuesta adecuada durante un desastre y crear una cultura de prevención, con lo cual se garantiza la inversión efectuada en este complejo científico tecnológico a la vez de cumplir con la normativa vigente sobre este rubro.

Abstract

We present a methodology developed to systematize the process of disaster risk assessment to which the RACSO Nuclear Center of the Peruvian Institute of Nuclear Energy, are exposed. For this purpose, we have identified and analyzed the hazards and vulnerabilities, which has served as the basis for raising the current "RACSO" Contingency Plan, allowing rationalize human and financial resources, in the prevention and disaster response. The risk estimate has been an element of trial preparation/education of workers for an adequate response during a disaster and create a culture of prevention, thereby ensuring that the investment in scientific and technological complex meet current regulations on coverage.

1. Introducción

A nivel mundial se ha tomado conciencia acerca de la importancia del desarrollo sostenible y del impacto que tendría un desastre, ya sea causado por fenómenos naturales o de origen antropogénico. Este escenario ha ocasionado que en el Perú, desde 1995, se fortalezca el Sistema Nacional de Defensa Civil (SINADECI) [1], y se desarrolle un plan sectorial de prevención y atención de desastres [2] del sector Energía y Minas (MEM) soportado por normas específicas del Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN) [3, 4, 5] en temas de su competencia. En concordancia con lo señalado, el IPEN, conformó un Comité de Prevención de Desastres Naturales y Antrópicos (COPREDE) que tuvo, entre otras tareas, la estimación de riesgos para el Centro Nuclear "RACSO" con el fin de definir las estrategias de prevención, control y protección a las personas, instalaciones, infraestructura y el medioambiente con un adecuado planeamiento.

El año 2011 se crea el Sistema Nacional de Gestión de Riesgo de Desastres

(SINAGERD) [6, 7], que recomienda a todas las entidades públicas identificar y priorizar el riesgo en la infraestructura, en los procesos económicos sociales y ambientales en el ámbito de sus atribuciones y con ello establecer un Plan de Gestión correctivo.

En este documento se plantea una adecuación de un trabajo realizado el año 2007 [8] a los nuevos lineamientos de la Ley y Reglamento del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD). Para ello se contó con la participación de un equipo multidisciplinario que integra el COPREDE con los que se identificó los peligros inherentes al escenario natural que cubija al Centro Nuclear y de sus diversas instalaciones para luego realizar el análisis de su exposición a cada uno de los peligros identificados.

2. Desarrollo

Teniendo en cuenta que el término "riesgo" es una de las palabras que no tiene definición

* Correspondencia autor: rarieta@ipen.gob.pe

única [9, 10, 11,12] y que para el caso de este trabajo está circunscrito a un desastre. La metodología empleada es la planteada por INDECI [13] complementada por otras propuestas [14, 15, 16] para lo cual se parte de la definición de riesgo de desastre: “Probabilidad de que el IPEN y sus trabajadores sufran daños y pérdidas catastróficas a consecuencia de su condición de vulnerabilidad y el impacto de un peligro”.

2.1 Identificación de peligros

El peligro es la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno natural o inducido por la actividad del hombre, potencialmente catastrófico en una zona o localidad conocida, que puede afectar un área ocupada, infraestructura física o el medioambiente.

Existen numerosas técnicas para identificar peligros, para nuestro caso se usó el análisis preliminar identificándose los siguientes peligros:

2.1.1 De origen natural

2.1.1.1 Sismos: Terremoto

Debido a la ubicación del Centro Nuclear (zona de actividad sísmica), el reactor nuclear RP-10 representa un peligro latente por cuanto un terremoto de gran intensidad con epicentro cerca de Lima podría desencadenar en un accidente nuclear y radiológico [17].

2.1.1.2 Huaycos o Llocllas

Este es un peligro emergente, debido al cambio climático adverso. Este peligro está en constante evaluación y estudio.

2.1.2 De origen antrópico:

2.1.2.1 Incendios

Por el uso intensivo de energía eléctrica para diversos fines. Este tipo de peligro también puede ser consecuencia de sismos severos.

2.1.2.2 Contaminación ambiental

Por las características del CN siendo el caso más resaltante el del reactor RP-10 [18, 19, 20] que genera productos de fisión, los mismos que deberán quedar confinados en su interior. En otras dependencias el impacto sobre sus trabajadores y público es mínimo.

2.2 Ponderación de peligros identificados

Para fines de estimación del riesgo se ha estratificado en cuatro niveles, que se detallan en Tablas 1, 2, 3 y 4.

Tabla 1. Estratificación: Terremotos.

Nivel	Características	Valor
Peligro Bajo (PB)	Terreno con poca pendiente, roca y suelo compacto y seco, alta capacidad portante.	1 < 25 %
Peligro Medio (PM)	Suelo de calidad intermedia con aceleraciones sísmicas moderadas	2 de 26 % a 50 %
Peligro Alto (PA)	Sector donde se espera altas aceleraciones sísmica por sus características geológicas	3 de 51 % a 75 %
Peligro muy Alto (PMA)	Suelos con alta probabilidad de ocurrencia, de licuación generalizada o colápsales	4 de 76 % a 100 %

Tabla 2. Estratificación: Huaycos.

Nivel	Características	Valor
Peligro Bajo (PB)	Terrenos altos no inundables, alejados de barrancos o cerros deleznales.	1 < 25 %
Peligro Medio (PM)	Suelo con inundaciones muy esporádicas, con bajo tirante y velocidad.	2 de 26 % a 50 %
Peligro Alto (PA)	Sector que son inundados a baja velocidad y permanecen bajo agua por varios días.	3 de 51 % a 75 %
Peligro muy Alto (PMA)	Sectores amenazados por deslizamiento repentino de piedra y lodo “lloclla”.	4 de 76 % a 100 %

Tabla 3. Estratificación: Incendios.

Nivel	Características	Valor
Peligro Bajo (PB)	Instalaciones con los debidos sistemas de alarmas, protección y apagado	1 < 25 %
Peligro Medio (PM)	Instalaciones con medianos sistemas de alarma, protección y apagado	2 de 26 % a 50 %
Peligro Alto (PA)	Instalaciones con precarios sistemas de alarmas, protección y apagado.	3 de 51 % a 75 %
Peligro muy Alto (PMA)	Instalaciones sin los debidos sistemas de alarmas, protección y apagado.	4 de 76 % a 100 %

Tabla 4. Estratificación: Contaminación

Nivel	Características	Valor
Peligro Bajo (PB)	Distancia mayor a 500 m del peligro antrópico (reactor).	1 < 25 %
Peligro Medio (PM)	Distancia entre 300 a 500 m del peligro antrópico (reactor).	2 de 26 % a 50 %
Peligro Alto (PA)	Distancia entre 150 a 300 m del peligro antrópico (reactor).	3 de 51 % a 75 %
Peligro muy Alto (PMA)	Distancia menor a 150 m del peligro antrópico (reactor).	4 de 76 % a 100 %

2.3 Análisis de Vulnerabilidad

Vulnerabilidad es el grado de debilidad o exposición de un elemento o conjunto de elementos frente a la ocurrencia de un peligro natural o antrópico de una magnitud dada. Es la facilidad como un elemento pueda sufrir daños humanos y materiales.

La vulnerabilidad del CN es el reflejo del estado individual y colectivo de sus elementos en el aspecto ecológico-ambiental, físico, económico, social, científico y tecnológico, entre otros; los cuales cambian continuamente con el tiempo según el nivel de preparación, condiciones socio-económicas, normas, políticas, actitud y comportamiento de sus trabajadores, grupos directivos y de la institución en su conjunto.

Para el análisis de vulnerabilidad del CN se utilizó los conceptos de riesgo desarrollados por INDECI [13], elaborados de acuerdo con las diferentes variables y características, en los cuales se identifica la característica indicada más próxima y se buscará el valor de cada vulnerabilidad ($V = x \% - \text{Grado}$).

2.3.1 Vulnerabilidad Ambiental y Ecológica (VEA)

Es el grado de resistencia del medio natural y los seres vivos que conforman el ecosistema del CN ante la presencia de la variabilidad climática. La valoración, de acuerdo con [3] es:

- Condiciones atmosféricas: Niveles de temperatura promedio normal: 25 %
- Composición y calidad del aire y agua: Nivel moderado de contaminación: 50 %
- Condiciones Ecológicas: Conservación de los recursos naturales: 25 %.

$$\text{Total VEA: } (25 + 50 + 25) / 3 = 34 \%$$

2.3.2 Vulnerabilidad Física (VFI)

Está relacionada con la calidad o tipo de material utilizado y el tipo de construcción de las instalaciones de trabajo, de servicios e infraestructura socioeconómica para asimilar los efectos del peligro.

Para el respectivo análisis, se tiene:

- Material de construcción utilizado en Instalaciones: Estructura con adecuada técnica constructiva: 25 %.
- Localización de las instalaciones: Muy alejada ($> 5 \text{ km}$) para todos menos para el peligro de contaminación radiactiva en accidente Nuclear (Muy cercana: 0 km): 100 % (por el reactor) y 25 % para otros peligros.
- Características geológicas, calidad y tipo de suelo: Zonas sin fallas ni fracturas, suelos con buenas características: 25 %
- Leyes estrictamente cumplidas: 100 %

$$\text{Total VFI1: } (25 + 100 + 25 + 25) / 4 = 44 \%$$

$$\text{Total VFI2: } (25 + 25 + 25 + 25) / 4 = 25 \%$$

2.3.3 Vulnerabilidad Económica (VEC)

Constituye el acceso que se tiene a los activos económicos (Tierra, infraestructura, servicios, entre otros), que se refleja en la capacidad para hacer frente a un desastre.

Esta situación, se da también entre instituciones; tal es el caso que instituciones con mayores ingresos económicos, tienen menor cantidad de víctimas frente a un mismo tipo de peligro, con relación a instituciones con menores ingresos. Para este análisis se ha preparado:

- Actividad Económica: Moderadamente productiva y distribución regular: 50 %.
- Acceso al mercado laboral: Oferta laboral igual a Demanda: 50 %.
- Nivel de ingresos: Suficiente nivel de ingresos: 50 %.
- Situación de pobreza o Desarrollo Humano: Sin pobreza: 25 %.

$$\text{Total VEC: } (50 + 50 + 50 + 25) / 4 = 44$$

2.3.4 Vulnerabilidad Social (VSO)

Se analiza a partir del nivel de organización y participación que tiene una colectividad para prevenir y responder ante situaciones de emergencia, sintetizando en:

- Nivel de Organización: Institución totalmente organizada: 25 %.
- Participación en trabajos institucionales: Participación de la mayoría: 50 %.
- Grado de relación entre Instalaciones: Medianamente relacionadas: 50 %.
- Tipo de integración institucional: Integración parcial: 50 %.

$$\text{Total VSO: } (25 + 50 + 50 + 50) / 4 = 44$$

2.3.5 Vulnerabilidad Educativa (VED)

Se refiere a una adecuada implementación de las estructuras curriculares en los diferentes niveles de la educación formal, con la inclusión de temas relacionados con la prevención y atención de desastres, orientado a preparar (para las emergencias) y educar (crear una cultura de prevención) a los estudiantes con un efecto multiplicador en la sociedad.

Igualmente, la educación y capacitación de los trabajadores en dichos temas contribuye a una mejor organización y, por tanto, a una mayor y efectiva participación para mitigar o reducir los efectos de un desastre.

- Programas educativos formales: Desarrollo regular de temas relacionados con la prevención de desastres: 50 %.
- Programas de capacitación: La mayoría está capacitado: 50 %.
- Campañas de difusión: Difusión masiva y poco frecuente: 50 %.
- Programas educativos a grupos estratégicos: Cobertura mayoritaria: 50 %.

$$\text{Total VED: } (50 + 50 + 50 + 50) / 4 = 50$$

2.3.6 Vulnerabilidad Cultural e Ideológica (VCI)

Está referida a la percepción que tiene el individuo o grupo humano sobre sí mismo, como sociedad o colectividad, el cual determina sus reacciones ante la ocurrencia de un peligro de origen natural o tecnológico y estará influenciado según su nivel de conocimiento, creencia, costumbre, actitud, temor, mitos, etc.

- Conocimiento sobre la ocurrencia de desastres: Conocimiento total: 25 %.
- Percepción sobre los desastres: La mayoría lo percibe: 50 %.
- Actitud frente a ocurrencia de desastres: Previsora: 25 %

$$\text{Total VCI: } (25 + 50 + 25) / 3 = 34$$

2.3.7 Vulnerabilidad Política e Institucional (VPI)

Define el grado de autonomía y el nivel de decisión política que pueden tener las instituciones públicas para una mejor gestión de los desastres. Está ligada con el fortalecimiento y la capacidad institucional para cumplir en forma eficiente con sus funciones, entre los cuales está el de prevención y atención de desastres o defensa civil.

- Autonomía local: Parcial: 50 %.
- Liderazgo político: Aceptación y respaldo parcial: 50 %.
- Participación ciudadana: Participación mayoritaria: 50 %.
- Coordinación de acciones con los CDC: Coordinaciones esporádicas: 50 %.

$$\text{Total VPI: } (50 + 50 + 50 + 50) / 4 = 50$$

2.3.8 Vulnerabilidad Científica y Tecnológica (VCT)

Es el nivel de conocimiento científico y tecnológico que se debe tener sobre los peligros de origen natural y tecnológico, especialmente los existentes en el Centro Nuclear. Al igual que casos anteriores:

- Existencia de trabajos sobre desastres locales: Mayoría estudiados: 50 %.
- Existencia de instrumentos medidores: Parcialmente instrumentada: 50 %.
- Conocimiento sobre estudios existentes: Conocimiento parcial: 50 %.
- Cumplimiento de conclusiones y recomendaciones: La mayoría: 50 %.

$$\text{Total VCT: } (50 + 50 + 50 + 50) / 4 = 50$$

2.3.9 Vulnerabilidad Total (VT)

Determinación general de la vulnerabilidad total, aplicando el criterio de igualdad de ponderación para los distintos tipos de vulnerabilidades analizadas, esto es factible por tener una baja vulnerabilidad física, que es un factor primordial cuando se analiza otro tipo de instalaciones:

Aplicando la fórmula:

$$VT = \sum \text{vulnerabilidades} / N$$

Tenemos:

$$VT = (VAE + VFI + VEC + VSO + VED + VCI + VPI + VCT) / 8$$

Reemplazando datos:

$$(34 + 44 + 44 + 44 + 50 + 34 + 50 + 50) / 8 = 350 / 8 = 43.75 \%$$

$$VT = 43.75, \quad \text{si: } 25\% < 43.75 < 50\%$$

Tenemos Vulnerabilidad Media.

2.4 Cálculo del riesgo

Una vez identificado los peligros (P) y el análisis de vulnerabilidad (V) se procede a realizar una evaluación conjunta para calcular el riesgo (R); es decir, la estimación de la probabilidad de pérdidas y daños esperados (personas, bienes materiales, recursos económicos) ante la ocurrencia de un fenómeno de origen natural o antrópico.

El cálculo del riesgo corresponde a un análisis y combinación de datos teóricos y empíricos, respecto a la probabilidad del peligro identificado; es decir, la fuerza e intensidad de ocurrencia así como el análisis de vulnerabilidad o la capacidad de resistencia de los elementos expuestos al peligro (población, viviendas, infraestructura), dentro de una determinada área geográfica.

Se emplea el criterio descriptivo mediante una matriz de doble entrada: "Matriz de Peligro y Vulnerabilidad"; para eso, se requiere que previamente se hayan determinado los niveles de probabilidad (porcentajes) de ocurrencia del peligro identificado y del análisis de vulnerabilidad, respectivamente.

Con ambos porcentajes se interrelaciona, por un lado (vertical) el valor y nivel estimado del peligro y por otro (horizontal) el nivel de vulnerabilidad promedio determinado en el respectivo cuadro general (Tabla 5). En la intersección de ambos valores se podrá estimar el nivel de riesgo esperado. Para el caso estudiado tendremos:

Tabla 5. Matriz: Peligros y vulnerabilidades.

Peligro	Riesgo			
	Muy Alto	Alto	Alto	Muy Alto
Alto	Medio	Medio	Alto	Muy Alto
Medio	Bajo	Medio	Medio	Alto
Bajo	Bajo	Bajo	Medio	Alto
Vulnerabilidad	Baja	Media	Alta	Muy Alta

3. Resultados y Discusión

Analizando el riesgo, de acuerdo con la Tabla 5, deducimos lo siguiente:

- Peligro de Sismo: PA x VM = Riesgo Medio
- Peligro de Huayco: PB x VM = Riesgo Bajo
- Incendio: PA x VM = Riesgo Medio
- Contaminación Ambiental PMA x VB = Riesgo Medio

De la evaluación de riesgos realizada encontramos que:

- El Centro Nuclear se encuentra en un nivel de riesgo medio ante los peligros de un accidente nuclear (escape de productos de fisión), en una situación de sismos severos o incendios producidos en sus instalaciones. A pesar que el huayco es de Riesgo Bajo no debe perderse de vista y tomar previsiones ante lluvias intensas.
- La explotación segura de su instalación más relevante (RP-10) se realiza de acuerdo con la documentación mandatoria y con personal calificado y bien entrenado que hace disminuir considerablemente, los riesgos de un accidente nuclear.
- La disminución de los riesgos está directamente relacionado con la minimización de las vulnerabilidades y esto se realiza con los diferentes sistemas de seguridad de las instalaciones con las que cuenta el CN para su funcionamiento.

4. Conclusiones y Recomendaciones

El presente estudio ha servido para la implementación del Plan de Contingencias ante desastres y se tiene vinculado con los planes de seguridad y salud ocupacional y el

plan de manejo ambiental generando un sistema integrado de gestión.

El IPEN deberá exigir a sus unidades orgánicas que quieran construir ceñirse estrictamente a las disposiciones del Reglamento Nacional de Construcciones (RNC) en cuanto a las especificaciones técnicas, condiciones urbanísticas, adecuado planeamiento y diseño de estructuras de acuerdo con el tipo de suelo de la zona.

Las recomendaciones se cumplen:

- De orden estructural:
 - a. Realizar trabajos de infraestructura mediante un planeamiento de calidad, para lograr un crecimiento equilibrado, sustentable y equitativo del Centro Nuclear.
 - b. Realizar trabajos de encauzamiento, similares a los iniciados en la cabecera del CN, con sus respectivos sistemas de confinamiento tipo muros de contención o similares.
- De orden no estructural:
 - a. Realizar un estudio de suelos con la finalidad de determinar los parámetros de diseño para futuras construcciones.
 - b. Identificar las zonas de seguridad dentro del CN y elaborar un plan de evacuación general.
 - c. Hacer cumplir las medidas preventivas recomendadas en el presente trabajo y realizar simulacros y simulaciones para los casos estudiados.

5. Agradecimientos

A los integrantes del Comité de Prevención de Desastres del IPEN creado el año 2007.

6. Referencias

- [1] Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI). Plan nacional de prevención y atención de desastres. D.S. N° 005-88 SGMD). Lima, mayo 1988.
- [2] Ministerio de Energía y Minas del Perú. Plan sectorial de prevención y atención de desastres. (R.S. N° 047-2004-EM). Lima, Setiembre 2004.
- [1][3] Instituto Peruano de Energía Nuclear. Reglamento de Seguridad Radiológica. D.S. No. 009-97-EM. Disponible en URL:

http://www.ipen.gob.pe/site/regulacion/leyes_normatividad.htm

- [4] Instituto Peruano de Energía Nuclear. Reglamento de Protección Física de Instalaciones y Materiales Nucleares. D. S. N° 014-2002-EM. Lima, abril 2002.
- [5] Instituto Peruano de Energía Nuclear. Reglamento de autorizaciones, fiscalización, control, infracciones y sanciones de la Ley N° 28028 Ley de Regulación del Uso de Fuentes de Radiaciones Ionizantes. 2008. Disponible en URL: http://www.ipen.gob.pe/site/publicaciones/ley_28028/reglamento_ley28028.pdf.
- [6] Ley N° 29664 Sistema Nacional de Gestión de Riesgo de Desastres (SINAGERD). Lima, febrero 2011.
- [7] D.S. N° 048-2011-PCM. Reglamento la Ley N° 29664. Sistema Nacional de Gestión de Riesgo de Desastres (SINAGERD). Lima, mayo 2011.
- [8] Instituto Peruano de Energía Nuclear. Comité de Prevención de Desastres: Estimación de Riesgo en el Centro Nuclear Oscar Miroquesada de la Guerra RACSO. [Informe interno]. Lima, marzo 2007.
- [9] Fischhoffet Baruch, *et al.* Weighing the risks. In: Kates RW, *et al.* Perilous Progress: Technology as Hazard. 1985.
- [10] Jardine CG, Hrudey SE. Mixed messages in risk communication. *Risk Analysis*. 1997; 17(4):489-498.
- [11] Renn O. Three decades of risk research: Accomplishments and new challenges. *Journal of Risk Research*. 1998; 1(1):49-71.
- [12] Slovic P. Trust, emotion, sex, politics, and science: Surveying the risk assessment battlefield. *Risk Analysis*. 1999; 19(4):689-701.
- [13] Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI). Manual básico para la estimación del riesgo. Lima, julio 2006.
- [14] United Nations Environment Programme (UNEP). Hazard identification and evaluation in a local community. Technical Report N° 12. Paris: UNEP; 1994.
- [15] Compañía de Tecnología de Saneamiento Ambiental (CETESB). Manual de orientación para elaboración de estudios de análisis de riesgo. Sao Paulo, Brasil, 1994.

[16] Lees FP. Loss prevention in the process industries: hazard identification assessment and control. 2nd Edition. Oxford: Butterworth-Heinemann Publishing; 1996.

[17] Kuroiwa Julio. Disaster reduction: living in harmony with nature. Lima: World Perú S.A.; 2002.

[18] Instituto Peruano de Energía Nuclear. Informe de Seguridad del RP-10. Capítulo II: Emplazamiento. [Informe Interno]. Lima, agosto 1992.

[19] Instituto Peruano de Energía Nuclear. Plan de Emergencia Radiológica del RP-10. [Informe Interno]. Lima, agosto 1992.

[20] Instituto Peruano de Energía Nuclear. Informe de Seguridad del RP-10. Capítulo XVI: Análisis de Seguridad [Informe Interno]. Lima, agosto 1992.

Tratamiento de residuos radiactivos líquidos en el accidente nuclear de Fukushima

Mario Mallaupoma*

Dirección de Servicios, Instituto Peruano de Energía Nuclear, Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

Resumen

Todo accidente radiológico o nuclear genera desechos radiactivos con características muy diferentes en cuanto a actividad, actividad específica, volúmenes, tasas de dosis, nivel de toxicidad, entre otros. Existen muchos métodos de tratamiento, pero se busca utilizar aquel con los cuales se puedan obtener altos factores de descontaminación. En el presente trabajo se reporta y analiza el sistema de tratamiento de los líquidos radiactivos altamente radiactivos y salinos que se produjeron en el accidente nuclear de Fukushima (Japón), ocurrido el 11 de marzo del 2011. De acuerdo con los reportes técnicos elaborados por el OIEA se estimó en 110000 toneladas de agua con niveles de contaminación de 1 Ci/L.

Abstract

All radiological or nuclear accident produce radioactive wastes with very different characteristics in terms of activity, specific activity, volumes, dose rates, level of toxicity, among others. In this paper the system for the treatment of highly radioactive liquid waste, generated by the Fukushima nuclear accident, which occurred on March 11th, 2011, in Japan, is analyzed. The overall water inventory was estimated at around 110000 tons of water, with contamination levels up to the order of 1 Ci/L.

1. Introducción

Toda actividad donde se trabaja con material radiactivo genera desechos radiactivos con diferentes características. Cuando se producen accidentes radiológicos o nucleares con liberación de material radiactivo, las cantidades y volúmenes de desechos radiactivos resultan ser mucho mayores, presentando un problema técnico cuando se deben realizar las acciones de remediación y descontaminación, los volúmenes pueden ser muy significativos si no se adoptan medidas técnicas que puedan contrapesar una definición conservadora sobre nivel de contaminación. En ese sentido, el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) ha realizado algunas publicaciones a fin de clarificar principios y criterios para poder aislar el material que realmente constituye un desecho radiactivo, definiendo conceptos como “material exento” (material que no requiere estar sometido a control radiológico) y “clearance level” (material que puede ser liberado o aceptado como material que pudiera ser recuperado o reutilizado, sin considerarlo como desecho radiactivo, debido a que su nivel de concentración de actividad es bajo y no representa riesgos inaceptables para la población). En este caso se debe de

tener en cuenta que todos los materiales existentes en la naturaleza tienen un contenido de material radiactivo en forma natural, por lo tanto sería imposible considerar que el nivel de descontaminación de los residuos radiactivos líquidos pueda llegar a tener nivel cero de radiación.

También en el proceso de descontaminación se debe de tener en cuenta las características específicas de los desechos radiactivos líquidos producidos, contaminantes radiactivos existentes, actividad específica, niveles de tasas de dosis, entre otros. En el caso del accidente nuclear de Fukushima Dai-Ichi, algunas consideraciones asociadas con las características de los desechos radiactivos permiten identificar algunas acciones a realizar: El tipo de residuos líquidos presentes con un alto contenido salino, resultante del agua de mar que inundó las instalaciones. De igual manera, la presencia de líquidos contaminados con alta actividad específica debido a que parte de los líquidos estuvo en contacto con elementos combustibles gastados y que se encontraban almacenados al interior de la instalación. También se identificó que los volúmenes de

* Correspondencia autor: mmallaupoma@ipen.gob.pe

residuos líquidos podían incrementarse en forma significativa debido a que se avecinaba la época de lluvias. Estas consideraciones iban a complicar los aspectos de descontaminación de los residuos líquidos radiactivos, siendo el cesio-137 el principal contaminante identificado, elemento químico que no resulta fácil de separar [1].

Las técnicas de tratamiento disponibles para residuos líquidos consideran la precipitación química, la separación por intercambio iónico y el de evaporación. Cada uno de ellos presenta diferentes factores de descontaminación (FD), el cual se define como la relación de la concentración de los contaminantes presentes en los residuos líquidos antes del tratamiento entre la concentración de actividad después del correspondiente tratamiento. De allí que se prefiera las técnicas que presentan mayor FD. En forma gradual se puede decir, que el FD de la evaporación es mayor que la de intercambio iónico y ésta a su vez es mayor que en el caso de la precipitación química; sin embargo, existen algunas restricciones que afectan la aplicación de una de las técnicas, como son el contenido salino, presencia de aceites o la necesidad de lograr la descontaminación de un elemento radiactivo específico. También están los costos asociados y la disponibilidad para su mejor utilización; por eso, —generalmente— se utilizan los tres métodos indicados, tratamiento químico, intercambio iónico y evaporación, aunque en una secuencia que permita obtener los mejores factores de descontaminación [2]. La primera técnica a utilizar es el tratamiento químico, sobre todo cuando los desechos radiactivos líquidos presentan alto contenido salino y sólidos en suspensión. El 27 de marzo la empresa Tokyo Electric Power Company (TEPCO) y el gobierno japonés solicitaron el apoyo internacional para atender el requerimiento de tratamiento inicial de los desechos radiactivos líquidos. La empresa AREVA con su socio VEOLIA respondieron al pedido.

2. Metodología

En el presente trabajo se hace un análisis de las técnicas de tratamiento utilizadas para lograr la descontaminación de los desechos radiactivos líquidos y la reutilización de las

aguas descontaminadas en el enfriamiento de las centrales nucleares y del almacén de elementos combustibles gastados. Previamente se hace una descripción de los residuos líquidos generados [3].

2.1 Características de los desechos radiactivos líquidos

- Alto contenido salino.
- Contenido alto de sólidos en suspensión.
- Concentración de actividad bastante diferenciada.
- El concepto usado con las aguas descontaminadas fue que estas pudieran ser reutilizadas para continuar con el enfriamiento de los reactores nucleares.

2.2 Técnica de tratamiento utilizada

La técnica de tratamiento empleado convocó a la comunidad científica tecnológica internacional para resolver este problema que resultaba ser un elemento clave para reducir los impactos.

La empresa japonesa TEPCO diseñó un sistema de tratamiento de varias etapas que comprendió:

- Extracción de aceite (empresa TOSHIBA)
- Pre tratamiento (empresa KURION)
- Descontaminación (empresa AREVA – VEOLIA)
- Desalinización (HITACHI, AREVA-VEOLIA y TOSHIBA).

Las etapas y secuencia del tratamiento de los residuos líquidos altamente radiactivos, producidos en la central Fukushima Dai-Ichi, se muestra en la Figura 1.

Desde el punto de vista de la ingeniería química, todo el diseño del sistema de descontaminación debe tener en cuenta, como aspecto medular, la identificación de los aspectos técnicos de la química que permitan orientar de mejor manera la favorabilidad de determinadas reacciones químicas de interés. En el caso de la química, se debe de establecer los mecanismos de reacción que permitan una separación adecuada de los contaminantes.

Está claro que en estas condiciones resulta fundamental contar con los conocimientos, habilidades y experiencia que permita obtener los resultados esperados.

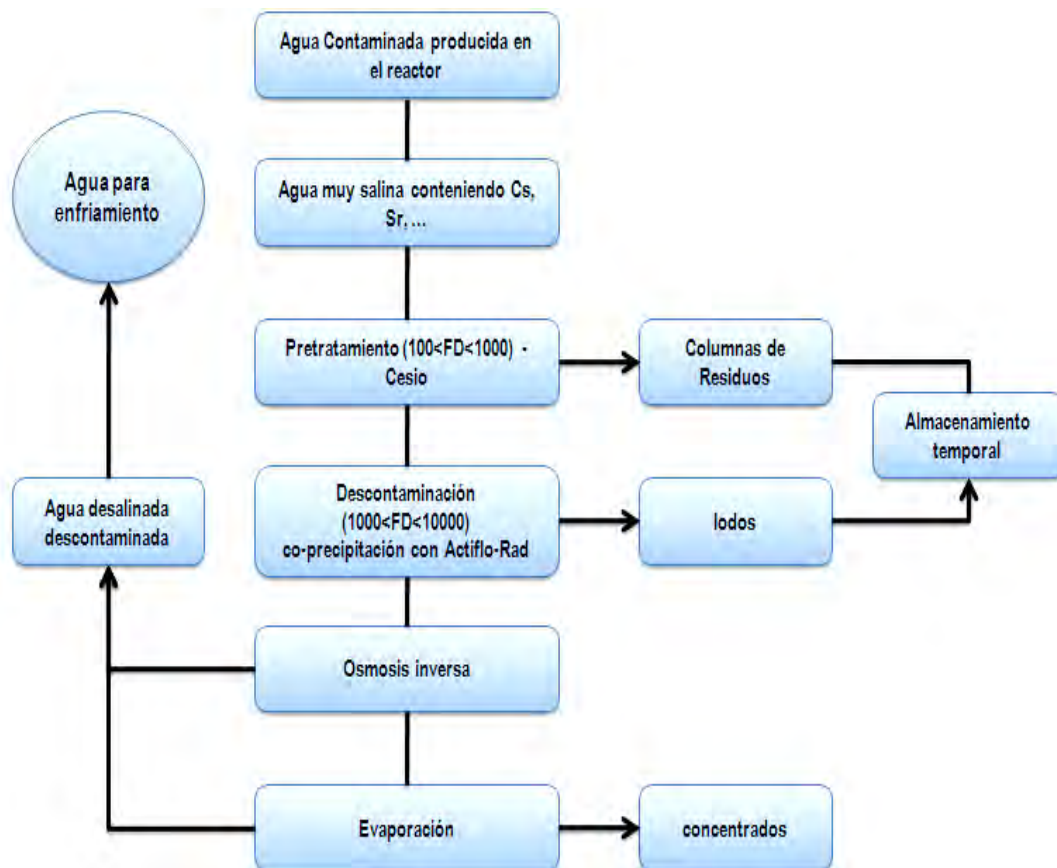


Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de descontaminación de residuos radiactivos líquidos.

El accidente de la central nuclear de Fukushima Dai Ichi movilizó la alta tecnología disponible en los países abanderados del desarrollo tecnológico nuclear, como Francia y Alemania, con equipos técnicos trabajando las 24 horas y con un alto compromiso para lograr el objetivo medular, que era instalar en tiempo record, las unidades de descontaminación de residuos líquidos, cuya composición era muy heterogénea y con actividad alta, para evitar que se desbordaran hacia el océano, originando descargas muy altas de actividad con múltiples contaminantes. El otro objetivo era el de reutilizar las aguas descontaminadas para continuar con el enfriamiento de las unidades nucleares.

2.3 Proceso químico

Las etapas del procesamiento de los líquidos contaminados siguieron una secuencia química lógica y coherente. Las etapas que se consideraron fueron las siguientes:

Separación de material aceitoso. En esta

primera etapa no era relevante realizar la separación de los múltiples radioisótopos presentes, sino adecuar a los líquidos para los tratamientos químicos posteriores donde la presencia de material aceitoso resulta ser un material indeseable ya que no facilita el proceso de descontaminación.

Pre-tratamiento, donde se hace una separación química y fisicoquímica utilizando como reactivos químicos el ferrocianuro de níquel, para separar el cesio radiactivo que es un elemento muy importante desde el punto de vista radiosanitario porque es uno de los elementos radiactivos que se produce en mayor cantidad como producto de fisión, además de su período de semidesintegración considerable y sus características químicas que no hacen fácil su separación. En este tipo de tratamiento se busca su separación a través del proceso de adsorción, donde resulta relevante la superficie activa que pudieran tener las macromoléculas que se forman. Otro reactivo químico utilizado es el sulfato de bario que permite separar el estroncio, en

empresas AREVA y VEOLIA.

Se logró un FD de 10^4 para el isótopo cesio, lo cual permitió que su actividad en las aguas tratadas estuviera por debajo del límite de detección. También se hallaron valores de FD para otros radioisótopos: 10 para el Ru; 10 para el Rh; 100 para el Eu; 10 para el Ce; 20 para el Am; 2 para el Cm y 10 para el Ba-140.

Al 20 de setiembre se logró tratar más de 77400 toneladas de aguas residuales altamente contaminadas, haciendo uso de la técnica ACTIFLOTM-RAD y posteriormente fue utilizada en un circuito cerrado para el enfriamiento de los reactores Fukushima Dai-Ichi y de las piscinas que contenían elementos combustibles.

4. Conclusión

El accidente de las centrales nucleares movilizó a la comunidad internacional que actuaron en forma bastante rápida y comprometida. El trabajo conjunto de los expertos técnicos de Francia, Alemania y Japón permitió desarrollar las actividades sin que interfiriera las diferencias culturales y en un tiempo record de solo tres meses.

El tratamiento con ACTIFLOTM-RAD fue excelente; sin embargo, la comunidad internacional considera que la acción exitosa es el resultado de varios elementos claves: El conocimiento y experiencia de AREVA para el tratamiento de residuos radiactivos líquidos con alta contaminación, el *know how* de la

empresa VEOLIA en equipos de tratamiento de aguas residuales contaminadas en ambientes de crisis y la creatividad de los equipos técnicos de ambas empresas, que trabajaron en forma conjunta con los especialistas japoneses. La gestión global del proyecto por parte de TEPCO también resultó ser muy eficiente.

El reúso de las aguas altamente contaminadas y con alto contenido salino (previo tratamiento de descontaminación) en el enfriamiento de las centrales nucleares en Fukushima Dai-Ichi, resultó ser un elemento clave en la hoja de ruta de restauración de la central nuclear luego del accidente natural, acción que evitó de manera importante, el incremento negativo del impacto ambiental.

5. Bibliografía

- [1] International Atomic Energy Agency. Chemical precipitation processes for the treatment of aqueous radioactive wastes. TRS No. 337. Vienna: IAEA; 1992.
- [2] International Atomic Energy Agency. Combined method for liquid radioactive waste treatment. IAEA-TECDOC-1336. Vienna: IAEA; 2003.
- [3] Gay A, Ytournel B, Gillet P, Prevost T, Piot G, Jouaville S, *et al.* Multi-phased, post-accident support of the Fukushima Dai-Ichi Nuclear Power Plant. RGN – Revue Generale Nucleaire. 2012; 1:45-60.

A model for minimizing denial of shipments in the America Region

Natanael Bruno¹, Mario Mallaupoma^{2,*}

¹ Comissao Nacional de Energia Nuclear, Rua Gral Severiano No. 90, Botafogo, Rio de Janeiro, Brazil

² Dirección de Servicios, Instituto Peruano de Energía Nuclear, Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

Abstract

Denials and delays of radioactive shipment have occurred and probably will always do. Reducing instances of denials to acceptable levels may be a tangible goal that consignors and consignees should envisage and pursue. The basis for solving denials and delays includes the participation of not only the nuclear national competent authorities but other authorities too. Shippers, consignors, carriers and consignees should include in their consultations the whole range of those authorities which apparently have no role to play but actually do. This paper describes the experience developed in Brazil and provides the basis of a Model which would be useful for other regions to adopt and adapt, to reduce the instances of denials and delays of radioactive shipment, by developing similar models appropriate to their conditions. The Model consists in the creation of a National Committee on denial of shipments with the participation of all stakeholders involved in the transport of dangerous goods.

Resumen

Los rechazos y retrasos de expediciones de material radiactivo ocurren y probablemente seguirán produciéndose. La reducción de las mismas a niveles aceptables puede ser una meta tangible que los remitentes y destinatarios pueden prever y conseguir. La base para resolver los casos de los rechazos y retrasos debe considerar no solo la participación de las autoridades nucleares competentes nacionales, sino también de otras autoridades gubernamentales. Los transportistas, remitentes, empresas de transporte y destinatarios deberían considerar en sus consultas a todo el amplio rango de autoridades que aparentemente no tendrían participación alguna, pero que en la actualidad la tienen. El presente trabajo describe la experiencia desarrollada en Brasil y provee la base de un Modelo que podría resultar ser útil a otros países y regiones si lo adoptan y adaptan, para reducir los casos de rechazos y retrasos de expediciones de material radiactivo, según sus propias condiciones y características. El Modelo consiste en la creación de un Comité Nacional sobre rechazos de expediciones de material radiactivo con la participación de todos los grupos de interés involucrados en el transporte de mercancías peligrosas.

1. Introduction

Radioactive material is used throughout the world for many applications that benefit humankind, encompassing agriculture, industry, medicine, electric power generation and research purposes. In almost all cases, the materials are generated in locations other than those where used.

The transportation of the radioactive material places it outside of controlled facilities, in the public domain, and often entails movement between countries. As the peaceful uses of radioactive material grew, the international community recognized early on that rigid and uniform standards were needed to ensure the safety of handlers, the public and the environment. Because of their short half-lives, denial and delay of transport of

radionuclides like fluorine-18 or Iodine-131 has a strong and negative impact on health care.

The issue of denial of shipments is not just for specialists but affects the lives of millions of people around the world. The majority of the radioactive material shipped every day is used in hospitals for non-invasive diagnostics and treatment of several illnesses. Any delay or denial of shipment may render the isotopes useless for their intended application. Delay and denial of shipments of radioactive material occur in all modes of transport. Then the transport of radioactive materials is vital to the use of such materials in medicine, general industry and in the nuclear fuel cycle.

* Correspondencia autor: mmallaupoma@ipen.gob.pe

We can say that the growing problem of refusal by carriers, ports and handling facilities to transport radioactive material are generating both social and economic problems and not only needs to be addressed with a lot of attention but also requires a quick solution.

Considering the problem of denial and delay of shipments of radioactive material and in response to the General Conference resolution, the IAEA Director General created a senior level Steering Committee including representatives from IAEA Member States, International Governmental and nongovernmental organizations and industry.

A strategy and an action plan were developed to significantly reduce cases of denial of shipment and alleviate the hardships due to denial and delay by reaching out to the concerned organizations and increasing awareness about the uses of radioactive material in public health, industry and power production; harmonizing national and international regulations; ensuring coordination among regulators within a State to minimize duplicative, overlapping and sometimes contradictory requirements; providing training and other educational program for cargo handlers and public officials on safety of transport of radioactive material.

A strategy for how the International Steering Committee (ISC) is to operate has been determined and includes the principles: promote education; make a collective effort to share information and experience; report of denials and delay of shipments. The strategy embraces notification, investigation, facilitation or mediation and reporting cases of delays and denials. The ISC developed and adopted an action plan, which is based on six areas of work: awareness, training, communication, promotion, economic and harmonization [1].

2. Methodology

One successful action in the America region has been the implementation of the Brazilian Model of minimizing denials and delays (D&D). Brazil has more than 3500 licensed facilities handling radioactive material. About

150.000 shipments per year, mostly radiopharmaceuticals are carried by air/land. [2].

These numbers reflect the quantum of transport activities in the country. The transport of radioactive material used in the nuclear fuel cycle (ores, yellowcake, UF₆, fresh fuel) which are intended for peaceful purposes are significant in quantities and involve considerable revenue to the transporters. Transport of sources for therapy, remarkably Co-60 are relevant due to the social impact, namely, health care.

Over the last 10 years sustainability problems in transport of radioactive material have been documented and addressed on case-by-case basis. Records show that instances of denials and delays have occurred in all transport modes, but mostly in transport by air. Reasons for refusals refer mostly to lack of information and/or mainly associated to risk perception [3].

Up to 2003 the instances of denials were brought to the attention of the Competent Authority (CA) and recorded but were not used as basis for a systematic solution. Specific cases requiring actions from the national competent authority for transport safety were addressed as being due to communication inefficiency. Difficulties in transport continued to be reported. When D&D do not constitute a regulatory issue, the Competent Authority would not be of much help.

Due to actions developed by the IAEA, the engagement of the Brazilian industry in providing relevant reports on D&D and proactively working with the international community, the CA reviewed its position and decided to join the international efforts in minimizing the problem. The nomination of a National Focal Point allowed a series of actions to be started [4]. A national committee was established and a domestic action was outlined. The thrust of the approach adopted by Brazil was to take all stakeholders on board. A broad-based committee was formed by the national competent authority. The committee included modal transport agencies, port/airport authorities, service providers, shipping lines, airport administration, isotope producers,

nuclear fuel suppliers, carriers and other relevant stakeholders joined the committee. Apparently each member of this committee has his own interest in the transport of radioactive material and could not be expected to “surrender” their claims. At the same time the economic and social impact of the delay and denial of shipment had to be appreciated by all the members.

It was necessary for each member of the committee to be informed about the need for transporting radioactive material and the positives of such transport. With that knowledge it was easy to see the negatives of delay and denial. The next logical step was to examine the reasons for such denials. It was appreciated by the committee that with improved coordination among the members of the committee it would be possible to address the issue more effectively. For example, instances of delay or denial due to procedural requirements were sorted out by informing the concerned stake holders, e.g., the carrier, about such requirements which led to compliance thereby eliminating delays and denials due to non-compliance with procedural requirements. There were instances where the concerned agencies were brought together to facilitate transport of radioactive material without any agency compromising or surrendering its position.

3. Results and discussions

The success of the Brazilian Model stems from the fact that an objective and coordinated effort among all stake holders with proper communication based on correct information could drastically reduce instances of delay and denial to insignificant levels.

The simplicity of this approach recommends itself to easy adoption in different regions with the necessary adjustments to take into consideration the local situations. The efficacy of this approach is evident from the fact the number of delays and denials has reduced considerably in Brazil. The cooperation among the members of the committee has to be continued. It is an ongoing process which may have to be tweaked periodically to incorporate the changing situations [5].

It is evident from the above that a concerted

effort aimed at addressing the issue objectively without compromising the standards of safety or any regulatory requirements could well lead to a way out of the problem.

4. Conclusions

Some conclusions of the Brazilian Model may be drawn:

Denials and delays of shipment of radioactive material are no longer a single business issue or problem. It needs to be addressed in a holistic view/approach and by a wide range of authorities.

A national competent authority for transport safety may or not recognize the existence of difficulties in accepting class 7 cargos for transport. However, a national competent authority should be concerned if a shipment which is deemed to be in compliance with its regulations for the safe transport of radioactive material is denied on grounds of safety.

It is up to a national competent authority to decide as to whether or not to take part in actions aiming to eliminate or minimize denials problems. However, it may wish to help/advise other authorities in addressing D&D problems by using the attributes and expertise it has accumulated.

Other authorities may benefit from the variety of resources available to the CA.

By discussing D&D issues in their modal forum, other competent authorities may perform a relevant role on D&D issues as potential problems are identified and reported to International Steering Committee, International Atomic Energy Agency, National Focal Point and Regional Coordinator.

A competent authority taking part in actions aiming to minimize sustainability problems but wishing not to prolong its participation may define strategy and deadline to move out from the activity, but in this case it should prepare a replacement to it.

5. Acknowledgements

Our special thanks to all stakeholders who collaborate everyday to reduce cases of denial and delay of shipments of radioactive

material which make possible the peaceful use of nuclear energy for saving life of a lot of medical patients worldwide and collaborate with the sustainable development of Member States.

6. Bibliography

- [1] International Atomic Energy Agency. International Steering Committee on Denials of Shipment of Radioactive Material; Action Plan 2009. Vienna: Austria; January 2009.
- [2] Bruno, N.; 3rd Meeting of the Brazilian National Committee on Denials and Delays of Shipments of Radioactive Material, Rio de Janeiro, 2011
- [3] International Atomic Energy Agency. Safety of transport of Radioactive Material, Proceedings of an International Conference, Vienna, 7-11 July, 2003.
- [4] International Atomic Energy Agency. Roles and responsibilities of national focal point on denials of shipment. IAEA CS-169/WP03. Vienna: Austria; December 2008.
- [5] PATRAM 2010. The role of national authorities in minimizing denials of shipments. 16th International Symposium on the Packaging and Transport of Radioactive Materials. London, United Kingdom, 3-8 October 2010.

ANEXOS

A. Publicaciones en revistas internacionales indexadas	179
B. Publicaciones en revistas nacionales	179
C. Otras publicaciones especializadas	179
D. Presentación y disertación de trabajos en congresos, seminarios, simposios, talleres y publicación en actas	179
E. Tesis	179
F. Cursos y otros eventos organizados por el IPEN	179
F.1 Cursos desarrollados en el Centro Superior de Estudios Nucleares (CSEN)	179
F.2 Cursos y eventos descentralizados	184
F.3 Conferencias desarrolladas en el Centro Superior de Estudios Nucleares (CSEN)	189
G. Programa nacional de entrenamiento, talleres, cursos y becas en el extranjero	195
H. Programa nacional de entrenamiento y cursos organizados por el IPEN-OIEA en el Perú	199
I. Estancias y pasantías a investigadores extranjeros en el país	201
J. Proyectos financiados por el Organismo Internacional de Energía Atómica a través del Acuerdo Regional para la Cooperación en América Latina (ARCAL)	202
J.1 Proyectos nacionales para el bienio 2009-2011	202
J.2 Proyectos regionales	202
J.3 Proyectos regionales ARCAL	202
K. Misiones de expertos	203
K.1 Expertos nacionales en misión	203
K.2 Expertos extranjeros en Perú	203
L. Proyectos de investigación concursados	205

A. Publicaciones en Revistas Internacionales Indexadas

Vela Mariano, Gallardo Alberto, Castro José, Terremoto Luis. **Nondestructive burnup measurements by gamma-ray spectroscopy on spent fuel elements of the RP-10 research reactor.** Progress in Nuclear Energy. 2011 May; 53(4):344-353.

B. Publicaciones en Revistas Nacionales

Gino Picasso, María del Rosario Sun Kou, Ivonne Salazar, Alcides López. **Síntesis de catalizadores nanoestructurados basados en óxido de Mn para la eliminación de n-hexano.** Revista de la Sociedad Química del Perú. 2011 Ene-Mar; 77(1):11-26.

Garay Zoila, López Alcides, Acha de la Cruz Otilia, Souza Amanda, Collantes Ingrit, Olivera Paula, Santiago Julio. **Caracterización microestructural de cenizas de *Morinda citrifolia* Linneo (Noni).** Revista de la Sociedad Química del Perú. 2011 Abr-Jun; 77(2):109-116.

Morales Guzmán-Barrón Rosanna. **El cine como herramienta de motivación y educación del médico en bioética.** Revista de la Sociedad Peruana de Medicina Interna. 2011 Abr-Jun; 24(2):103-107.

Modesto Montoya, Carlos Romero, Justo Rojas. **Influencia de la emisión de neutrones en la medición por el método de la doble energía de la distribución de masa y energía cinética de los fragmentos de la fisión espontánea del ^{252}Cf .** Revista ECIPerú. 2011 enero; 8(1):15-19.

C. Otras Publicaciones Especializadas

Olivera P, López A, Bedregal P, Santiago J, Petrick S, Bravo J, Alcalde J, Isla J, Vetter L, Baca E. **Applications of nuclear analytical techniques to investigate the authenticity of art objects.** In: International Atomic Energy Agency. Nuclear Techniques for Cultural Heritage Research. Chapter 11 IAEA Radiation Technology Series No. 2. Vienna: IAEA; 2011. p. 191-202.

Vetter Luisa, Vega Rafael, Olivera Paula, Petrick Susana, Eds. **II Congreso Latinoamericano de Arqueometría.** Lima: Perú, 2011. (ISBN 978-612-4072-12-3).

Prado Antonio, Santiago Julio, Solís José, López Edith, Eds. **Informe Científico Tecnológico 2010.** Instituto Peruano de Energía Nuclear. Lima: Perú, 2011.

D. Presentación y disertación de trabajos en congresos, seminarios, simposios, talleres y publicación en actas

Vela Mariano, Gallardo Alberto, Castro José, Terremoto Luis. **Burnup measurements on spent fuel elements of the RP-10 research reactor.** 2011, 16 p. INAC 2011: International Nuclear Atlantic Conference. Nuclear energy: New jobs for a better life, 17. ENFIR: Meeting on nuclear reactor physics and thermal hydraulics, 10. ENAN: Meeting on nuclear applications, 2. ENIN: Meeting on nuclear industry,

Belo Horizonte, MG (Brazil), Belo Horizonte, MG (Brazil), Belo Horizonte, MG (Brazil), Belo Horizonte, MG, Brasil, 24-28 October 2011.

Paula Olivera. **Técnicas no destructivas en la caracterización de objetos arqueológicos mediante el análisis por Fluorescencia de Rayos.** XVIII Encuentro Científico Internacional 2011 de Verano (ECI2011v). Lima, Perú, 4-7 enero 2011.

Johnny Vargas. **Dosimetría química ASTM 1026 en el irradiador Gammacell 220 Excel.** Encuentro Científico Internacional de Invierno (ECI2011i). Lima, Perú, 3 agosto 2011.

Johnny Vargas. **Plantas de irradiación: Tipos, operación, seguridad y dosimetría.** Encuentro Científico Internacional de Invierno 2011 (ECI2011i). Lima, Perú, 3 agosto 2011.

E. Tesis

Gago Campusano, Javier Jorge. **Fabricación y caracterización de compuestos madera - (Metacrilato de metilo, Resina Poliester) por irradiación Gamma empleando maderas nativas del Perú (*Hura crepitans L*, *Aniba amazónica Mez y Calycophy sprecuanum Be*).** Tesis Maestría en Ciencias con mención en Energía Nuclear. Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de Ciencias. 2011, Lima, Perú.

Quispe Lima Guido. **Análisis espectral de *Lemna spp* "Lenteja de agua" por el método de fluorescencia de rayos X.** Tesis Lic. en Ciencias Físico Matemáticas. Universidad Nacional del Altiplano. Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura, Escuela Profesional de Ciencias Físico Matemáticas. 2011, Puno, Perú.

F. Cursos y otros eventos organizados por el IPEN

F.1 Cursos desarrollados en el Centro Superior de Estudios Nucleares (CSEN)

Actualización sobre seguridad radiológica en medicina nuclear

Fecha: 8.01.2011

Docente: L. Defilippi

Actualización sobre protección radiológica en radiología dental

Fecha: 8.01.2011

Docente: G. Maghella

Protección radiológica en radiología dental

Fecha: 8-9.01.2011

Docente: G. Maghella

Física nuclear básica para docentes

Fecha: 10-14.01.2011

Docentes: M. Vela, E. Medina F., J. Avila, A. Urcia, P. Bedregal, A. Lopez, R. Arrieta

Protección radiológica en radiología dental

Fecha: 8,15.01.2011

Docentes: G. Maghella, R. Visurraga

Protección radiológica en radiodiagnóstico médico

Fecha: 10-15.01.2011

Docentes: L. Defilippi, R. Visurraga

- Actualización sobre protección radiológica en radiodiagnóstico médico**
Fecha: 15.01.2011
Docente: M. Ticllacuri
- Seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)**
Fecha: 17–20.01.2011
Docente: G. Maghella, E. Medina F.
- Radioquímica básica para docentes**
Fecha: 17–21.01.2011
Docente: P. Olivera
- Actualización sobre seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)**
Fecha: 22.01.2011
Docente: G. Maghella
- Actualización sobre seguridad radiológica en radiografía y gammagrafía industrial**
Fecha: 22.01.2011
Docente: M. Ticllacuri
- Consideraciones de ingeniería de blindajes para instalaciones radiactivas en radiodiagnóstico, radioterapia y medicina nuclear**
Fecha: 22.01.2011
Docentes: M. Mallaupoma, G. Lázaro
- Seguridad radiológica en el uso de equipos de rayos X no médico**
Fecha: 24–26.01.2011
Docente: M. Ticllacuri
- Capacitación sobre aplicación del código de cálculo Citation**
Fecha: 10–28.01.2011
Docente: M. Madariaga
- Seguridad radiológica en radiografía y gammagrafía industrial**
Fecha: 31.01–4.02.2011
Docente: M. Ticllacuri
- Actualización sobre protección radiológica en radiodiagnóstico médico**
Fecha: 5.02.2011
Docente: M. Ticllacuri
- Actualización sobre protección radiológica en radiología dental**
Fecha: 5.02.2011
Docente: G. Maghella
- Protección radiológica en radiología dental**
Fecha: 5–6.02.2011
Docentes: G. Maghella, R. Visurraga
- Radiobiología básica para docentes**
Fecha: 7–11.02.211
Docentes: M. Vela, E. Ovalle, J. Osores, C. del Valle
- Actualización sobre protección radiológica en el mantenimiento de equipos de rayos X y medicina nuclear**
Fecha: 5,12.02.2011
Docentes: M. Ticllacuri, L. Defilippi
- Protección radiológica en radiodiagnóstico médico**
Fecha: 7–12.02.2011
Docente: L. Defilippi
- Actualización sobre seguridad radiológica en radiografía y gammagrafía industrial**
Fecha: 12.02.2011
Docente: M. Ticllacuri
- Seguridad radiológica en el uso de fuentes radiactivas**
Fecha: 14–16.02.2011
Docente: J. Condori
- Actualización sobre seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)**
Fecha: 19.02.2011
Docente: G. Maghella
- Seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)**
Fecha: 21–24.02.2011
Docentes: M. Ticllacuri, E. Medina F.
- Fluorescencia de rayos X**
Fecha: 21–25.02.2011
Docente: P. Olivera
- Tarifación e incentivos a la eficiencia energética y energías renovables**
Fecha: 17,18,21,23,25,28.02.2011
Docente: Curso virtual a cargo de la Organización Latinoamericana de Energía - OLADE
- Seguridad radiológica en el uso de equipos de rayos X no médico**
Fecha: 28.02–2.03.2011
Docente: M. Ticllacuri
- Actualización sobre seguridad radiológica en el uso de equipos de rayos X no médico**
Fecha: 1–2.03.2011
Docente: M. Ticllacuri
- Protección radiológica en radiología dental**
Fecha: 5.03.2011
Docentes: M. Ticllacuri, L. Defilippi
- Actualización sobre protección radiológica en radiología dental**
Fecha: 5.03.2011
Docente: M. Ticllacuri
- Actualización sobre protección radiológica en radiodiagnóstico médico**
Fecha: 5.03.2011
Docente: J. Condori
- Física de radioterapia**
Fecha: 28.02–11.03.2011
Docente: V. Boruel
- Ensayos No Destructivos (Básico)**
Fecha: 7–11.03.2011
Docente: R. Visurraga
- Protección radiológica en radiología dental**
Fecha: 5,12.03.2011
Docentes: M. Ticllacuri, L. Defilippi
- Protección radiológica en radiodiagnóstico médico**
Fecha: 7–12.03.2011
Docentes: M. Ticllacuri, R. Visurraga
- Transporte seguro de materiales radiactivos**
Fecha: 12.03.2011
Docente: M. Mallaupoma
- Actualización sobre seguridad radiológica en medicina nuclear**
Fecha: 16–17.03.2011
Docente: L. Defilippi
- Seguridad radiológica en medicina nuclear**
Fecha: 14–18.03.2011
Docente: L. Defilippi

- Seguridad radiológica en radiografía y gammagrafía industrial**
Fecha: 21–24.03.2011
Docente: J. Condori
- Actualización sobre seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)**
Fecha: 26.03.2011
Docente: M. Ticllacuri
- Inspección de soldadura módulo 1: Metalurgia de la soldadura**
Fecha: 21.03–4.04.2011
Docente: V. Falconi
- Líquidos penetrantes Nivel II**
Fecha: 4–8.04.2011
Docente: R. Visurraga
- Actualización sobre seguridad radiológica en medicina nuclear**
Fecha: 9.04.2011
Docente: J. Condori
- Actualización sobre protección radiológica en radiología dental**
Fecha: 9.04.2011
Docente: G. Maghella
- Protección radiológica en radiología dental**
Fecha: 9.04.2011
Docente: G. Maghella
- Seguridad radiológica en el uso de equipos de rayos X no médico (Control de bultos o equipajes)**
Fecha: 15.04.2011
Docente: M. Mallaupoma
- Protección radiológica en radiología dental**
Fecha: 9,16.04.2011
Docentes: G. Maghella, R. Visurraga
- Protección radiológica en radiodiagnóstico médico**
Fecha: 11–16.04.2011
Docentes: L. Defilippi, R. Visurraga
- Actualización sobre seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)**
Fecha: 16.04.2011
Docente: G. Maghella
- Actualización sobre seguridad radiológica en radiografía y gammagrafía industrial**
Fecha: 16.04.2011
Docente: M. Ticllacuri
- Actualización sobre protección radiológica en radiodiagnóstico médico**
Fecha: 16.04.2011
Docente: L. Defilippi
- Actualización sobre protección radiológica en el mantenimiento de equipos de rayos X**
Fecha: 16.04.2011
Docente: L. Defilippi
- Seguridad radiológica en el uso de equipos de rayos X no médico (Control de bultos o equipajes)**
Fecha: 25.04.2011
Docente: E. Medina F.
- Seguridad radiológica en el uso de equipos de rayos X no médico**
Fecha: 25–27.04.2011
Docente: M. Ticllacuri
- Actualización sobre seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)**
Fecha: 25–27.04.2011
Docente: G. Maghella
- Seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)**
Fecha: 25–28.04.2011
Docentes: G. Maghella, E. Medina F.
- Inspección de soldadura módulo 2: Procesos de soldadura y simbolización**
Fecha: 11–29.04.2011
Docentes: J. Tenorio, F. Calderón
- Actualización sobre protección radiológica en radiología dental**
Fecha: 7.05.2011
Docente: G. Maghella
- Transporte seguro de materiales radiactivos**
Fecha: 7.05.2011
Docente: M. Mallaupoma
- Actualización sobre protección radiológica en radiodiagnóstico médico**
Fecha: 7.05.2011
Docente: L. Defilippi
- Protección radiológica en radiología dental**
Fecha: 7.05.2011
Docente: G. Maghella
- Partículas magnéticas Nivel II**
Fecha: 3–9.05.2011
Docentes: R. Visurraga, H. Villacorta
- Protección radiológica en radiología dental**
Fecha: 7,14.05.2011
Docentes: G. Maghella, R. Visurraga
- Protección radiológica en radiodiagnóstico médico**
Fecha: 9–14.05.2011
Docentes: L. Defilippi, R. Visurraga
- Actualización sobre seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)**
Fecha: 14.05.2011
Docente: G. Maghella
- Inspección de soldadura módulo 3: Defectología, Ensayos No Destructivos**
Fecha: 16–23.05.2011
Docente: R. Visurraga
- Seguridad radiológica en el uso de equipos de rayos X no médico**
Fecha: 23–25.05.2011
Docente: M. Ticllacuri
- Seguridad radiológica en radiografía y gammagrafía industrial**
Fecha: 23–27.05.2011
Docente: M. Ticllacuri
- Actualización sobre seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)**
Fecha: 31.05–1.06.2011
Docente: G. Maghella
- Seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)**
Fecha: 30,05–2.06.2011
Docentes: G. Maghella, E. Medina F.
- Actualización sobre protección radiológica en radiología dental**
Fecha: 4.06.2011
Docente: G. Maghella

Protección radiológica en radiología dental

Fecha: 4.06.2011

Docente: G. Maghella

Actualización sobre protección radiológica en radiodiagnóstico médico

Fecha: 4.06.2011

Docente: M. Ticllacuri

Protección radiológica en radiodiagnóstico médico

Fecha: 6–11.06.2011

Docentes: L. Defilippi, R. Visurraga

Protección radiológica en radiología dental

Fecha: 4,11.06.2011

Docente: G. Maghella

Actualización sobre seguridad radiológica en medicina nuclear

Fecha: 15–16.06.2011

Docente: L. Defilippi

Radiografía industrial Nivel I

Fecha: 6–17.06.2011

Docentes: H. Villacorta, R. Visurraga

Seguridad radiológica en medicina nuclear

Fecha: 13–17.06.2011

Docente: L. Defilippi

Seguridad radiológica en el uso de fuentes radiactivas

Fecha: 13–17.06.2011

Docentes: E. Medina, L. Defilippi

Actualización sobre seguridad radiológica en medicina nuclear

Fecha: 15–16.06.2011

Docente: L. Defilippi

Actualización sobre seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)

Fecha: 18.06.2011

Docentes: R. Visurraga, G. Lázaro

Taller sobre regulaciones en seguridad física de fuentes radiactivas

Fecha: 20.06.2011

Docente: L. Livingston

Seguridad radiológica en radiografía y gammagrafía industrial

Fecha: 20–24.06.2011

Docente: M. Ticllacuri

Actualización sobre seguridad radiológica en radiografía y gammagrafía industrial

Fecha: 20–24.06.2011

Docente: M. Ticllacuri

Actualización sobre seguridad radiológica en radiografía y gammagrafía industrial

Fecha: 25.06.2011

Docente: M. Ticllacuri

Inspección de soldadura módulo 4: Ensayos destructivos, calificación de soldadores

Fecha: 20–30.06.2011

Docente: F. Calderón

Actualización sobre protección radiológica en radiología dental

Fecha: 2.07.2011

Docente: G. Maghella

Protección radiológica en radiología dental

Fecha: 2–3.07.2011

Docentes: G. Maghella, R. Visurraga

Protección radiológica en radiología dental

Fecha: 2–9.07.2011

Docentes: G. Maghella, J. Condori

Protección radiológica en radiodiagnóstico médico

Fecha: 4–9.07.2011

Docentes: L. Defilippi, R. Visurraga

Actualización sobre protección radiológica en radiodiagnóstico médico

Fecha: 9.07.2011

Docente: M. Ticllacuri

Seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)

Fecha: 11–14.07.2011

Docente: M. Ticllacuri

Seguridad radiológica en radioterapia

Fecha: 4–15.07.2011

Docente: B. García

Actualización sobre seguridad radiológica en radiografía y gammagrafía industrial

Fecha: 16.07.2011

Docente: J. Condori

Actualización sobre seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares

Fecha: 16.07.2011

Docente: G. Maghella

Radiografía industrial Nivel II

Fecha: 5–20.07.2011

Docentes: H. Villacorta, R. Visurraga

Control de calidad de rayos X de diagnóstico médico y dental

Fecha: 18–22.07.2011

Docente: L. Defilippi

Curso para oficiales de protección radiológica en radiografía industrial

Fecha: 18–23.07.2011

Docente: M. Ticllacuri

Actualización sobre seguridad radiológica en medicina nuclear

Fecha: 23.07.2011

Docente: M. Velásquez

Seguridad radiológica en el uso de equipos de rayos X no médico

Fecha: 25–27.07.2011

Docente: J. Condori

Seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)

Fecha: 1–4.07.2011

Docentes: G. Maghella, E. Medina F.

Inspección de soldadura módulo 5: Códigos, normas, especificaciones, inspección de uniones soldadas, estudios de casos

Fecha: 19.07–5.08.2011

Docentes: R. Visurraga, F. Calderón, A. Acosta

Seguridad radiológica en medicina nuclear

Fecha: 1–5.08.2011

Docentes: L. Defilippi, E. Medina F.

Seguridad radiológica en medicina nuclear

Fecha: 5–6.08.2011

Docente: J. Condori

- Actualización sobre seguridad radiológica en medicina nuclear**
Fecha: 5-6.08.2011
Docente: J. Condori
- Actualización sobre seguridad radiológica en medicina nuclear**
Fecha: 6.08.2011
Docente: J. Condori
- Actualización sobre protección radiológica en radiología dental**
Fecha: 6.08.2011
Docente: G. Maghella
- Protección radiológica en radiología dental (OP 2)**
Fecha: 6.08.2011
Docente: G. Maghella
- Protección radiológica en radiología dental (OP 1)**
Fecha: 6,13.08.2011
Docentes: G. Maghella, L. Defilippi, R. Visurraga
- Protección radiológica en radiodiagnóstico médico**
Fecha: 8-13.08.2011
Docentes: L. Defilippi, R. Visurraga
- Actualización sobre protección radiológica en radiodiagnóstico médico**
Fecha: 13.08.2011
Docente: M. Ticllacuri
- Seguridad radiológica en radioterapia**
Fecha: 13-18.08.2011
Docente: B. García
- Ultrasonido Nivel I**
Fecha: 8-19.08.2011
Docentes: R. Visurraga, H. Villacorta
- Actualización sobre seguridad radiológica en radiografía y gammagrafía industrial**
Fecha: 20.08.2011
Docente: M. Ticllacuri
- Actualización sobre seguridad radiológica en medidores nucleares (Densímetros)**
Fecha: 20.08.2011
Docente: M. Ticllacuri
- Seguridad radiológica en el uso de equipos de rayos X no médico**
Fecha: 22 - 24 Ago
Docente: M. Ticllacuri
- Interpretación de radiografías**
Fecha: 22-26.08.2011
Docente: R. Visurraga
- Ultrasonido Nivel I**
Fecha: 27 Ago - 7 Set
Docente: F. Calderón
- Actualización sobre seguridad radiológica en radioterapia**
Fecha: 1.09.2011
Docente: B. García
- Actualización sobre protección radiológica en radiología dental**
Fecha: 3.09.2011
Docente: G. Maghella
- Protección radiológica en radiología dental**
Fecha: 3-4.09.2011
Docentes: G. Maghella, R. Visurraga
- Seguridad radiológica en radiografía y gammagrafía industrial**
Fecha: 5-9.09.2011
Docente: M. Ticllacuri
- Protección radiológica en radiología dental**
Fecha: 3-10.09.2011
Docentes: G. Maghella, R. Visurraga
- Actualización sobre protección radiológica en radiología dental**
Fecha: 10.09.2011
Docente: L. Defilippi
- Actualización sobre protección radiológica en radiodiagnóstico médico**
Fecha: 10.09.2011
Docente: L. Defilippi
- Actualización sobre seguridad radiológica en radioterapia**
Fecha: 15.09.2011
Docente: B. García
- Protección radiológica en radiodiagnóstico médico**
Fecha: 12-17.09.2011
Docentes: L. Defilippi, M. Ticllacuri, R. Visurraga
- Actualización sobre seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)**
Fecha: 24.09.2011
Docente: G. Maghella
- Seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)**
Fecha: 19-22.09.2011
Docentes: G. Maghella, R. Visurraga
- Ultrasonido Nivel II**
Fecha: 12-26.09.2011
Docentes: H. Villacorta, R. Visurraga, F. Calderón
- Manejo e interpretación de códigos y normas**
Fecha: 26-30.09.2011
Docente: H. Villacorta
- Actualización sobre seguridad radiológica en radiografía y gammagrafía industrial**
Fecha: 1.10.2011
Docente: M. Ticllacuri
- Seguridad radiológica en el uso de equipos de rayos X no médico (Fluorescencia de rayos X)**
Fecha: 3-5.10.2011
Docentes: J. Condori, E. Medina F.
- Curso de inspección visual**
Fecha: 3-7.10.2011
Docentes: F. Calderón, R. Visurraga
- Seguridad radiológica en el uso de fuentes radiactivas**
Fecha: 10-14.10.2011
Docentes: J. Condori, M. Mallaupoma
- Seguridad radiológica en radioterapia**
Fecha: 10-14.10.2011
Docente: B. García
- Actualización sobre seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)**
Fecha: 15.10.2011
Docente: M. Ticllacuri
- Actualización sobre protección radiológica en radiología dental**
Fecha: 15.10.2011
Docente: G. Maghella

Protección radiológica en radiología dental

Fecha: 15.10.2011

Docente: G. Maghella

Seguridad radiológica en radioterapia

Fecha: 10–19.10.2011

Docente: B. García

Actualización sobre protección radiológica en radiodiagnóstico médico

Fecha: 19–21.10.2011

Docente: L. Defilippi

Protección radiológica en radiología dental

Fecha: 15,22.10.2011

Docentes: G. Maghella, R. Visurraga

Protección radiológica en radiodiagnóstico médico

Fecha: 17–22.10.2011

Docentes: L. Defilippi, R. Visurraga

Actualización sobre protección radiológica en radiodiagnóstico médico y mantenimiento en rayos X

Fecha: 22.10.2011

Docente: M. Ticllacuri

Seguridad radiológica en radioterapia

Fecha: 10–26.10.2011

Docente: B. García

Metalurgia, tratamientos térmicos, tecnología de materiales para no metalurgistas

Fecha: 24–28.10.2011

Docente: F. Calderón

Actualización sobre seguridad radiológica en radioterapia

Fecha: 4.11.2011

Docente: B. García

Actualización sobre protección radiológica en radiología dental

Fecha: 5.11.2011

Docente: G. Maghella

Protección radiológica en radiología dental

Fecha: 5.11.2011

Docentes: G. Maghella, R. Visurraga

Seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)

Fecha: 7–11.11.2011

Docentes: G. Maghella, E. Medina F.

Medición de espesores por ultrasonido

Fecha: 7–11.11.2011

Docentes: H. Villacorta, R. Visurraga

Actualización sobre seguridad radiológica en medicina nuclear

Fecha: 12.11.2011

Docente: M. Ticllacuri

Actualización sobre protección radiológica en radiodiagnóstico médico

Fecha: 12,11.2011

Docente: M. Ticllacuri

Actualización sobre protección radiológica en radiodiagnóstico médico

Fecha: 12.11.2011

Docente: M. Ticllacuri

Seguridad radiológica en radiografía y gammagrafía industrial

Fecha: 14–18.11.201

Docente: M. Ticllacuri

Nuevas tecnologías: PET-CT, ciclotrón

Fecha: 14–19.11.2011

Docente: J. Marti

Actualización sobre seguridad radiológica en medicina nuclear

Fecha: 19.11.2011

Docente: J. Marti

Actualización sobre seguridad radiológica en radiografía y gammagrafía industrial

Fecha: 19.11.2011

Docente: M. Ticllacuri

Protección radiológica en radiodiagnóstico médico

Fecha: 21–26.11.2011

Docente: L. Defilippi

Actualización sobre seguridad radiológica en radiografía y gammagrafía industrial

Fecha: 29.11.2011

Docente: R. Visurraga

Seguridad radiológica en el uso de equipos de rayos X no médico

Fecha: 28–30.11.2011

Docentes: J. Condori, E. Medina F.

Protección radiológica en radiodiagnóstico médico

Fecha: 28.11–1.12.2011

Docente: M. Ticllacuri

Actualización sobre protección radiológica en radiodiagnóstico médico

Fecha: 3.12.2011

Docente: M. Ticllacuri

Actualización sobre protección radiológica en radiología dental

Fecha: 10.12.2011

Docente: G. Maghella

Actualización sobre seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)

Fecha: 10.12.2011

Docente: M. Ticllacuri

Protección radiológica en radiología dental

Fecha: 10.12.2011

Docente: G. Maghella

Seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)

Fecha: 12–15.12.2011

Docentes: G. Maghella, J. Condori, E. Medina F.

Protección radiológica en radiología dental

Fecha: 10,17.12.2011

Docente: G. Maghella

F.2 Cursos y eventos descentralizados**Seguridad radiológica en el uso de equipos de rayos X (No Médico)**

Fecha: 8.01.2011

Lugar: Danper Trujillo S.A.C. (Trujillo)

Docente: M. Ticllacuri

Espectrometría de Fluorescencia de rayos X y calibración del sistema EPSILON 5

Fecha: 10–14.01.2011

Lugar: Minera Barrick Misquichilca S.A. (Trujillo)

Docente: P. Olivera

- Fundamentos de seguridad física de instalaciones radiactivas**
 Fecha: 19.01.2011
 Lugar: Batelle (Arequipa)
 Docente: E. Medina F.
- Actualización sobre protección radiológica en radiodiagnóstico médico**
 Fecha: 22.01.2011
 Lugar: Clínica Asociación Peruano Japonesa
 Docente: L. Defilippi
- Seguridad radiológica en la producción de radioisótopos**
 Fecha: 11,13,18,20,26.01.2011
 Lugar: Centro Nuclear RACSO
 Docente: A. Corahua
- Seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)**
 Fecha: 27.01.2011
 Lugar: Volcán Compañía Minera S.A.A. (Yauli)
 Docente: E. Medina F.
- Interpretación de imágenes de rayos X**
 Fecha: 28.01.2011
 Lugar: Superintendencia Nacional de Aduanas y de Administración Tributaria
 Docente: R. Visurraga
- Seguridad radiológica en el uso de equipos de rayos X no médico (Control de bultos o equipajes)**
 Fecha: 29.01.2011
 Lugar: Superintendencia Nacional de Aduanas y de Administración Tributaria
 Docente: M. Mallaupoma
- Actualización sobre protección radiológica en radiodiagnóstico médico**
 Fecha: 5.02.2011
 Lugar: Hospital Nacional Daniel A. Carrión (Callao)
 Docente: L. Defilippi
- Protección radiológica en radiología dental**
 Fecha: 5–6.02.2011
 Docente: G. Maghella, R. Visurraga
 Lugar: CSEN - Ministerio Público–Fiscalía de la Nación
- Seguridad radiológica en radioterapia**
 Fecha: 22,23,29,30.01–12.02.2011
 Lugar: Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas
 Docente: B. García
- Actualización sobre seguridad radiológica en gammagrafía industrial**
 Fecha: 12.02.2011
 Lugar: Aplicaciones Tecnológicas & Aseguramiento de Calidad S.A.C.
 Docente: R. Visurraga
- Actualización sobre seguridad radiológica en radioterapia**
 Fecha: 15.02.2011
 Lugar: Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas
 Docente: B. García
- Mantenimiento básico de medidores nucleares portátiles (Densímetros)**
 Fecha: 17.02.2011
 Lugar: Soc. Minera Cerro Verde S.A.A. (Arequipa)
 Docentes: E. Medina F., R. Ruiz
- Seminario "Importancia de la seguridad física de las instalaciones radioactivas relevantes en el Perú"**
 Fecha: 19.02.2011
- Lugar: Hospital III Goyeneche de Arequipa (Arequipa)
 Docente: E. Medina F.
- Mantenimiento básico de medidores nucleares portátiles (Densímetros)**
 Fecha: 24.02.2011
 Lugar: Soc. Minera Cerro Verde S.A.A. (Arequipa)
 Docente: R. Ruiz
- Actualización sobre seguridad radiológica en el uso de fuentes radiactivas**
 Fecha: 24.02.2011
 Lugar: Centro Nuclear RACSO
 Docente: J. Condori
- Seguridad radiológica en el uso de fuentes radiactivas**
 Fecha: 24.02.2011
 Lugar: Centro Nuclear RACSO
 Docente: J. Condori
- Curso de seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros portátiles)**
 Fecha: 26.02.2011
 Lugar: MOTA-ENGIL Perú S.A
 Docente: J. Condori
- Protección radiológica en radiodiagnóstico médico**
 Fecha: 26–27.02.2011
 Lugar: EsSalud-Hospital III de Iquitos
 Docente: L. Defilippi
- Actualización sobre protección radiológica en radiodiagnóstico médico**
 Fecha: 26–27.02.2011
 Lugar: EsSalud-Hospital III de Iquitos
 Docente: L. Defilippi
- Protección radiológica en radiología dental**
 Fecha: 26–27.02.2011
 Lugar: EsSalud-Hospital III de Iquitos
 Docente: L. Defilippi
- Actualización sobre protección radiológica en radiología dental**
 Fecha: 26–27.02.2011
 Lugar: EsSalud-Hospital III de Iquitos
 Docente: L. Defilippi
- Seguridad radiológica en el uso de equipos de rayos X no médico**
 Fecha: 28.02–2.03.2011
 Lugar: Policía Nacional del Perú–Dirección Antidrogas
 Docente: M. Ticllacuri
- Seguridad radiológica en el uso de equipos de rayos X no médico**
 Fecha: 5.03.2011
 Lugar: Minera Gold Fields Perú S.A.
 Docente: M. Mallaupoma
- Seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)**
 Fecha: 10.03.2011
 Lugar: Cia. Minera Yanacocha S.R.L. (Cajamarca)
 Docente: E. Medina
- Seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)**
 Fecha: 11–12.03.2011
 Lugar: Pan American Silver Perú S.A.C.
 Docente: J. Condori
- Seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)**
 Fecha: 14.03.2011

Lugar: Cia. Minera Yanacocha S.R.L. (Cajamarca)
Docente: E. Medina

Protección radiológica en radiodiagnóstico médico

Fecha: 19–20.03.2011

Lugar: Chiclayo

Docente: M. Mallaupoma

Actualización sobre protección radiológica en radiodiagnóstico médico

Fecha: 19–20.03.2011

Lugar: Chiclayo

Docente: M. Mallaupoma

Actualización sobre seguridad radiológica en radioterapia

Fecha: 20.03.2011

Lugar: Chiclayo

Docente: M. Mallaupoma

Actualización en seguridad radiológica en la producción de radioisótopos

Fecha: 23.03.2011

Lugar: Centro Nuclear RACSO

Docente: M. Mallaupoma

Actualización sobre seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)

Fecha: 26.03.2011

Lugar: Soc. Minera Cerro Verde S.A.A. (Arequipa)

Docente: M. Mallaupoma

Seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares portátiles

Fecha: 26.03.2011

Lugar: CSEN - Hazco Environmental Services del Perú S.A.

Docente: J. Condori

Detección y respuesta a actos criminales y no autorizados que involucran materiales nucleares y otros materiales radiactivos

Fecha: 30–31.03.2011

Lugar: Policía Nacional del Perú. Dirección Contra el Terrorismo (DIRCOTE)

Docentes: E. Medina F. J. Villanueva, M. Ticllacuri

Seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Perfilaje de Pozos Petroleros)

Fecha: 2.04.2011

Lugar: Halliburton del Perú S.A.

Docente: M. Ticllacuri

Actualización sobre seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares

Fecha: 2.04.2011

Lugar: Soc. Minera Cerro Verde S.A.A. (Arequipa)

Docente: E. Medina F.

Curso de seguridad radiológica en medidores nucleares (Densímetros)

Fecha: 13.04.2011

Lugar: Compañía Minera Antamina S.A. (Ancash)

Docente: G. Maghella

Protección radiológica en radiodiagnóstico médico

Fecha: 16–17.04.2011

Lugar: M Y R Diagnostic S.A.C. (Cusco)

Docente: J. Condori

Protección radiológica en radiología dental

Fecha: 16–17.04.2011

Lugar: M Y R Diagnostic S.A.C. (Cusco)

Docente: J. Condori

Actualización sobre seguridad radiológica en la producción de radioisótopos

Fecha: 27.04.2011

Lugar: Centro Nuclear RACSO

Docente: A. Corahua

Seguridad Radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)

Fecha: 27.04.2011

Lugar: Cia. Minera Yanacocha S.R.L. (Cajamarca)

Docente: E. Medina F.

Seguridad radiológica en el uso de equipos de rayos X no médico (FRX)

Fecha: 12.05.2011

Lugar: Cementos Pacasmayo S.A.A. (Trujillo)

Docente: E. Medina F.

Seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)

Fecha: 19.05.2011

Lugar: Soc. Minera Cerro Verde S.A.A. (Arequipa)

Docente: E. Medina F.

Actualización sobre seguridad radiológica para operadores de irradiadores tipo I

Fecha: 19.05.2011

Lugar: Centro Nuclear RACSO

Docente: J. Condori

Actualización sobre seguridad radiológica en la gestión de residuos

Fecha: 19.05.2011

Lugar: Centro Nuclear RACSO

Docente: J. Condori

Seguridad radiológica en el uso de medidores (Densímetros)

Fecha: 21.05.2011

Lugar: Cia. Minera Miski Mayo S.R.L. (Piura)

Docente: M. Ticllacuri

Seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)

Fecha: 25.05.2011

Lugar: Compañía Minera Antamina S.A. (Ancash)

Docente: G. Maghella

Líquidos penetrantes nivel II

Fecha: 25–26.05.2011

Lugar: Servicios Industriales de la Marina S. A. (SIMA Chimbote)

Docente: R. Visurraga

Protección radiológica en radiodiagnóstico médico

Fecha: 28–29.05.2011

Lugar: Essalud–Red Asistencial Moyobamba Tarapoto

Docente: L. Defilippi

Actualización sobre protección radiológica en radiodiagnóstico médico

Fecha: 28–29.05.2011

Lugar: EsSalud–Red Asistencial Moyobamba Tarapoto

Docente: L. Defilippi

Seguridad radiológica en el uso de equipos de rayos X no médico (Fluorescencia de rayos X)

Fecha: 8.06.2011

Lugar: Pluspetrol Perú Corporation S.A. (Pisco)

Docente: A. Aguirre

Seguridad radiológica en el uso y mantenimiento de medidores nucleares (Densímetros)

Fecha: 15.06.2011

Lugar: Southern Perú Cooper Corporation Sucursal Perú (Ilo)

Docente: M. Mallaupoma

Actualización sobre seguridad radiológica en el mantenimiento de medidores nucleares (Densímetros)

Fecha: 15.06.2011

Lugar: Southern Perú Cooper Corporation Sucursal Perú (Ilo)

Docente: M. Mallaupoma

Seguridad radiológica en el uso y mantenimiento de equipos de rayos X no médico (Fluorescencia de rayos X)

Fecha: 16.06.2011

Lugar: Southern Perú Cooper Corporation Sucursal Perú (Ilo)

Docente: A. Aguirre

Actualización sobre seguridad radiológica en el uso y mantenimiento de equipos de rayos X no médico (Fluorescencia de rayos X)

Fecha: 16.06.2011

Lugar: Southern Perú Cooper Corporation Sucursal Perú (Ilo)

Docente: A. Aguirre

Curso de inspección visual nivel II

Fecha: 13-17.06.2011

Lugar: Centro Nuclear RACSO

Docente: F. Calderón

Seguridad radiológica en el uso y mantenimiento de equipos de rayos X no médico (Fluorescencia de rayos X)

Fecha: 17.06.2011

Lugar: Southern Perú Cooper Corporation Sucursal Perú (Ilo)

Docente: A. Aguirre

Actualización sobre seguridad radiológica en el uso y mantenimiento de equipos de rayos X no médico (Fluorescencia de Rayos X)

Fecha: 17.06.2011

Lugar: Southern Perú Cooper Corporation Sucursal Perú (Ilo)

Docente: A. Aguirre

Seguridad radiológica en el uso y mantenimiento de medidores nucleares (Densímetros)

Fecha: 18.06.2011

Lugar: Corporación Lindley S.A. (Arequipa)

Docente: G. Maghella

Seguridad radiológica en el uso de equipos de rayos X no médico

Fecha: 18.06.2011

Lugar: INDECO S.A.

Docente: M. Ticllacuri

Actualización sobre seguridad radiológica en el uso de fuentes radiactivas

Fecha: 21.06.2011

Lugar: Centro Nuclear RACSO

Docente: J. Condori

Seguridad radiológica en el uso de equipos de rayos X no médico (Fluorescencia de rayos X)

Fecha: 22.06.2011

Lugar: Pluspetrol Perú Corporation S.A. (Pisco)

Docente: E. Medina

Actualización sobre protección radiológica en radiología dental

Fecha: 25.06.2011

Lugar: CERDENT S.A.C.

Docente: L. Defilippi

Seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)

Fecha: 6.07.2011

Lugar: Cia. Minera Yanacocha S.R.L. (Cajamarca)

Docente: E. Medina F.

Respuesta a emergencias radiológicas en instalaciones radiactivas

Fecha: 7.07.2011

Lugar: Cia. Minera Yanacocha S.R.L. (Cajamarca)

Docentes: M. Mallaupoma, E. Medina F.

Seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)

Fecha: 8.07.2011

Lugar: Minsur S.A. Unidad Minera San Rafael (Puno)

Docente: G. Maghella

Protección radiológica en radiodiagnóstico médico

Fecha: 25.06-2,9.07.2011

Lugar: Minsa-Hospital María Auxiliadora

Docente: L. Defilippi

Actualización sobre protección radiológica en radiodiagnóstico médico

Fecha: 25.06-2,9.07.2011

Lugar: Minsa-Hospital María Auxiliadora

Docente: L. Defilippi

Seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)

Fecha: 10.07.2011

Lugar: Consorcio Vial Carhuaz (Ancash)

Docente: J. Condori

Actualización sobre seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)

Fecha: 10.07.2011

Lugar: Consorcio Vial Carhuaz (Ancash)

Docente: J. Condori

Seguridad radiológica en el uso de equipos de rayos X no médico (Control de bultos o equipajes)

Fecha: 13.07.2011

Lugar: Lima Airport Partners S.R.L. (Callao)

Docente: J. Condori

Seguridad radiológica en el uso de equipos de rayos X no médico (Control de bultos o equipajes)

Fecha: 14.07.2011

Lugar: Lima Airport Partners S.R.L. (Callao)

Docente: E. Medina F.

Respuesta a alarmas de protección que involucran material nuclear y otros materiales radiactivos

Fecha: 15.07.2011

Lugar: Policía Nacional del Perú-Unidad de

Desactivación de Explosivos-UDEX

Docentes: E. Medina F., R. Ramírez, J. Villanueva

Seguridad radiológica en el uso de equipos de rayos X no médico (Control de bultos o equipajes)

Fecha: 15.07.2011

Lugar: Lima Airport Partners S.R.L. (Callao)

Docente: J. Condori

Protección radiológica en radiología dental

Fecha: 16-17.07.2011

Lugar: EsSalud-Hospital Nacional Victor Lazarte (Trujillo)

Docente: L. Defilippi

Actualización sobre protección radiológica en radiología dental

Fecha: 16-17.07.2011

Lugar: EsSalud-Hospital Nacional Victor Lazarte

- (Trujillo)
Docente: L. Defilippi
- Protección radiológica en radiodiagnóstico médico**
Fecha: 16–17.07.2011
Docente: L. Defilippi
Lugar: EsSalud-Hospital Nacional Victor Lazarte (Trujillo)
Docente: L. Defilippi
- Actualización sobre protección radiológica en radiodiagnóstico médico**
Fecha: 16–17.07.2011
Lugar: EsSalud-Hospital Nacional Victor Lazarte (Trujillo)
Docente: L. Defilippi
- Protección radiológica en radiología dental**
Fecha: 17.07.2011
Lugar: Hospital Solidaridad de Tacna
Docente: G. Maghella
- Seguridad radiológica en el uso de equipos de rayos X no médico**
Fecha: 26.07.2011
Lugar: HBDK EPER Mining Company S.A.C.
Docente: E. Medina F.
- Seguridad radiológica en el uso de equipos de rayos X no médico (Fluorescencia de rayos X)**
Fecha: 2–3.08.2011
Lugar: Cemento Andino S.A. (Tarma)
Docente: J. Condori
- Manipulación y transporte de materiales radiactivos (Materiales peligrosos de la clase 7)**
Fecha: 3.08.2011
Lugar: OSRAM de Perú S.A.C.
Docente: E. Medina F.
- Seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)**
Fecha: 3–4.08.2011
Lugar: Cemento Andino S.A. (Tarma)
Docente: J. Condori
- Seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)**
Fecha: 12–14.08.2011
Lugar: Consorcio Minero Horizonte-Unidad Minera Parcoy - Pataz La Libertad
Docente: G. Maghella
- Seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)**
Fecha: 12–14.08.2011
Lugar: Consorcio Minero Horizonte - Unidad Minera Parcoy - Pataz La Libertad
Docente: G. Maghella
- Seguridad radiológica en el uso de equipos de rayos X no médico (Fluorescencia de rayos X)**
Fecha: 19.08.2011
Lugar: Empresa Siderúrgica del Perú S.A.A. (Chimbote)
- Protección radiológica en radiología dental**
Fecha: 20.08.2011
Docente: G. Maghella
Lugar: CERDENT S.A.C.
Docente: J. Condori
- Seguridad radiológica en el uso de equipos de rayos X no médico (Fluorescencia de rayos X)**
Fecha: 20.08.2011
- Lugar: Empresa Siderúrgica del Perú S.A.A. (Chimbote)
Docente: J. Condori
- Protección radiológica en radiodiagnóstico médico**
Fecha: 3–4.09.2011
Lugar: Clínica Angloamericana
Docente: L. Defilippi
- Protección radiológica en radiodiagnóstico médico**
Fecha: 3–4.09.2011
Lugar: Apoyo Cardiovascular
Docente: L. Defilippi
- Seguridad radiológica en el uso de equipos de rayos X no médico (Control de bultos o equipajes)**
Fecha: 10.09.2011
Lugar: Lima Airport Partners S.R.L. (Callao)
Docente: J. Condori
- Seguridad física de fuentes radiactivas para inspectores**
Fecha: 14–16.09.2011
Lugar: Lima - Battelle Pacific Northwest National
Docentes: L. Livingston, D. Miller, M. Carr
- Seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)**
Fecha: 24.09.2011
Lugar: Graña y Montero-Proyecto Fuerabamba (Apurímac)
Docente: J. Condori
- Actualización sobre seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)**
Fecha: 24.09.2011
Lugar: Lugar: Graña y Montero-Proyecto Fuerabamba (Apurímac)
Docente: J. Condori
- Curso de seguridad radiológica en el uso de equipos de rayos X no médico (Control de Bultos o Equipajes)**
Fecha: 3–5.10.2011
Lugar: Superintendencia Nacional de Aduanas y de Administración Tributaria
Docente: J. Condori
- Seguridad radiológica en el uso de equipos de rayos X no médico (Control de bultos o equipajes)**
Fecha: 10–12.10.2011
Lugar: Superintendencia Nacional de Aduanas y de Administración Tributaria
Docentes: J. Condori, E. Medina F.
- Seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)**
Fecha: 12.10.2011
Lugar: Cia. Minera Milpo S.A.A. Unidad Atacocha (Cerro de Pasco)
Docente: G. Maghella
- Seguridad radiológica en el uso de equipos de rayos X no médico (Fluorescencia de rayos X)**
Fecha: 13.10.2011
Lugar: Cia. Minera Milpo S.A.A. Unidad Cerro Lindo (Chincha)
Docente: J. Condori
- Seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)**
Fecha: 18.10.2011
Lugar: XSTRATA Tintaya S.A. (Cusco)
Docente: G. Maghella

Seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)

Fecha: 19.10.2011
Lugar: XSTRATA Tintaya S.A. (Cusco)
Docente: G. Maghella

Actualización sobre seguridad radiológica en radiografía y gammagrafía industrial

Fecha: 5.11.2011
Lugar: Servipetrol Perú S.A.
Docente: M. Ticllacuri

Seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)

Fecha: 12.11.2011
Lugar: Compañía Minera Antamina S.A. (Ancash)
Docente: G. Maghella

Protección radiológica en radiodiagnóstico médico

Fecha: 12–13.11.2011
Lugar: EsSalud- Hospital Nacional Guillermo Almenara
Docente: L. Defilippi

Actualización sobre seguridad radiológica en la operación y mantenimiento de irradiadores industriales

Fecha: 19.11.2011
Docente: J. Condori
Lugar: Inmune S.A.

Seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Perfilaje de pozos petroleros)

Fecha: 24.11.2011
Lugar: Repsol Perú S.A.
Docente: M. Ticllacuri

Protección radiológica en radiología dental

Fecha: 26.11.2011
Lugar: Centro de Radiología Odontológica (Cajamarca)
Docente: G. Maghella

Seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Perfilaje de pozos petroleros)

Fecha: 26.11.2011
Lugar: Baker Hughes Int. Oper. del Perú S.A. (Talara)
Docente: M. Ticllacuri

Seguridad radiológica en medicina nuclear

Fecha: 29.11–2.12.2011
Lugar: Clínica San Felipe
Docente: L. Defilippi

Protección radiológica en radiología dental

Fecha: 3.12.2011
Lugar: Clínica Dental UNP (Piura)
Docente: G. Maghella

Protección radiológica en radiodiagnóstico médico

Fecha: 3–4.12.2011
Lugar: Hospital Nacional PNP Augusto B. Leguía
Docente: J. Condori

Actualización sobre protección radiológica en radiodiagnóstico médico

Fecha: 10.12.2011
Lugar: Hospital Regional Docente Las Mercedes (Lambayeque)
Docente: M. Vela

Protección radiológica en radiodiagnóstico médico

Fecha: 10–11.12.2011
Lugar: Hospital Regional Docente Las Mercedes (Lambayeque)
Docente: M. Vela

Protección radiológica en radiología dental

Fecha: 10–11.12.2011
Lugar: Hospital Regional Docente Las Mercedes (Lambayeque)
Docente: M. Vela

Seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)

Fecha: 14.12.2011
Lugar: Compañía Minera Antamina S.A. (Ancash)
Docente: G. Maghella

Seguridad radiológica en radiografía y gammagrafía industrial

Fecha: 17–18.12.2011
Lugar: Aplicaciones Tecnológicas & Aseguramiento de Calidad S.A.C.
Docente: J. Condori

Programa de reentrenamiento y actualización

Fecha: 14–26.12.2011
Lugar: Centro Nuclear RACSO
Docentes: A. Zuñiga, R.Arrieta, M.Vela, J.Castro, A. Gallardo, R. Bruna

Seguridad radiológica en el uso de equipos de rayos X no médico

Fecha: 27.12.2011
Lugar: Soc. Minera Cerro Verde S.A.A. (Arequipa)
Docente: E. Medina F.

Curso de seguridad radiológica en el uso de equipos de rayos X no médico

Fecha: 28.12.2011
Lugar: Soc. Minera Cerro Verde S.A.A. (Arequipa)
Docente: E. Medina F.

Inspección de soldadura módulo 4: Ensayos destructivos, calificación de soldadores

Fecha: 28–29.12.2011
Lugar: Empresa de Generación Eléctrica Machupicchu (Cusco)
Docente: R. Visurraga

F.3 Conferencias desarrolladas en el Centro Superior de Estudios Nucleares (CSEN)

A Combined method of neutron activation analysis and radiometric measurements for ^{234}U and ^{238}U Determination in soil samples of low uranium concentration (Encuentro Científico Internacional de Verano 2011)

Fecha: 5.01.2011
Expositor: Eduardo Montoya

Diseño y fabricación de un espectrómetro alfa basado en diodos PIN (Encuentro Científico Internacional de Verano 2011)

Expositor: Oscar Baltuano
Fecha: 5.01.2011

Cuantificación de fases cristalinas mediante difracción de rayos X (Encuentro Científico Internacional de Verano 2011)

Expositor: José Solís
Fecha: 5.01.2011

Caracterización de materiales arqueológicos por microscopía electrónica de transmisión (Encuentro Científico Internacional de Verano 2011)

Expositor: Alcides López
Fecha: 5.01.2011

Neutron activation analysis of archaeological artifacts using the conventional relative method: A realistic approach for analysis of large samples (Encuentro Científico Internacional de Verano 2011)
Expositor: Eduardo Montoya
Fecha: 5.01.2011

Continuidad en la técnica de elaboración de moldes para el vaciado de plata en el área centro andina desde la época precolombina hasta la actualidad (Encuentro Científico Internacional de Verano 2011)
Expositor: Luisa Vetter Parodi
Fecha: 5.01.2011

Técnicas no destructivas en la caracterización de objetos arqueológicos mediante el análisis por fluorescencia de rayos X (Encuentro Científico Internacional de Verano 2011)
Expositor: Paula Olivera
Fecha: 5.01.2011

Aplicación de la fluorescencia de rayos X (FRX) al estudio de metalurgia andina (Encuentro Científico Internacional de Verano 2011)
Expositor: Jorge Bravo
Fecha: 5.01.2011

Emisión de rayos X inducido por partículas alfa de Am-241 (PIXE) para análisis de materiales (Encuentro Científico Internacional de Verano 2011)
Expositor: Eduardo Cunya
Fecha: 5.01.2011

Propiedades antimicrobianas de nanopartículas de óxido de cobre obtenido por ultrasonido y radiación gamma (Encuentro Científico Internacional de Verano 2011)
Expositor: Kety León
Fecha: 5.01.2011

Síntesis y caracterización de nanopartículas de ZnO₂ y sus aplicaciones antimicrobianas (Encuentro Científico Internacional de Verano 2011)
Expositor: Roberto Colonia
Fecha: 5.01.2011

Biomateriales obtenidos por radiación gamma y su aplicación en la cicatrización de quemaduras (Encuentro Científico Internacional de Verano 2011)
Expositor: Julio Santiago
Fecha: 5.01.2011

Bioinformática para el análisis del virus de Hepatitis B en mujeres gestantes (Encuentro Científico Internacional de Verano 2011)
Expositor: Silvia Vásquez
Fecha: 5.01.2011

Caracterización de materiales por microscopía electrónica de transmisión (Encuentro Científico Internacional de Verano 2011)
Expositor: Alcides López
Fecha: 5.01.2011

Desarrollo de un módulo de bajo costo basado en microcontrolador para realizar experimentos de ciencia, tecnología y ambiente en instituciones educativas (Encuentro Científico Internacional de Verano 2011)
Expositor: Ever Cifuentes
Fecha: 5.01.2011

Aplicaciones de la neutrografía como ensayo no destructivo (Encuentro Científico Internacional de Verano 2011)
Expositor: Javier Gago

Fecha: 5.01.2011

Efecto de la radiación sobre la vitamina C (Encuentro Científico Internacional de Verano 2011)
Expositor: Johnny Vargas
Fecha: 5.01.2011

Diseño de un dispositivo para medir el flujo direccional de neutrones térmicos y su distribución angular en un irradiador con fuente de ²⁵²Cf (Encuentro Científico Internacional de Verano 2011)
Expositor: Rubén I. Atauchi
Fecha: 5.01.2011

Determinación de la temperatura de cocción original de una cerámica Nazca (Encuentro Científico Internacional de Verano 2011)
Expositor: Miriam Mejía
Fecha: 5.01.2011

Efectos de la emisión de neutrones en la medición de las distribuciones de masa y energía de los fragmentos de la fisión del ²⁵²Cf (Encuentro Científico Internacional de Verano 2011)
Expositor: Carlos Romero
Fecha: 5.01.2011

La Sociedad química y el Año Internacional de la Química (Encuentro Científico Internacional de Verano 2011)
Expositor: Flor de María Sosa
Fecha: 5.01.2011

Efecto de la ingesta de Camu-Camu (*Myrciaria Dubia* H.B.K.) pulpa y atomizado sobre la actividad de las enzimas antioxidantes endógenas en ratas (Encuentro Científico Internacional de Verano 2011)
Expositor: Ana María Muñoz
Fecha: 5.01.2011

Eliminación de compuestos orgánicos volátiles mediante combustión catalítica (Encuentro Científico Internacional de Verano 2011)
Expositor: Gino Picasso
Fecha: 5.01.2011

Estudio de la cinética de biosorción de iones plomo en pectina reticulada proveniente de cáscaras de cítricos (Encuentro Científico Internacional de Verano 2011)
Expositor: Víctor García Villegas
Fecha: 5.01.2011

Planeamiento factorial de la reducción de ferrita de zinc por mezclas de CO-CO₂ usando la metodología de superficie respuesta-RSM (Encuentro Científico Internacional de Verano 2011)
Expositor: Mery Gómez Marroquín
Fecha: 5.01.2011

Errores y malos entendidos en química (Encuentro Científico Internacional de Verano 2011)
Expositor: Mario Ceroni Galoso
Fecha: 5.01.2011

Tecnología para la extracción y purificación de aceites esenciales (Encuentro Científico Internacional de Verano 2011)
Expositor: Pedro Romero y Otiniano
Fecha: 5.01.2011

Biodiversidad y quimiotaxonomía (Encuentro Científico Internacional de Verano 2011)
Expositor: Olga Lock
Fecha: 5.01.2011

- Rol de cátedras CONCYTEC y los parques tecnológicos en el desarrollo regional** (Encuentro Científico Internacional de Verano 2011)
Expositor: Augusto Mellado
Fecha: 5.01.2011
- Cátedra CONCYTEC** (Encuentro Científico Internacional de Verano 2011)
Expositor: Augusto Mellado Méndez
Fecha: 5.01.2011
- El desarrollo de las Cátedras CONCYTEC en las regiones** (Encuentro Científico Internacional de Verano 2011)
Expositor: Víctor Carranza
Fecha: 5.01.2011
- El FONDICYT y las cátedras CONCYTEC** (Encuentro Científico Internacional de Verano 2011)
Expositor: Juan Tarazona
Fecha: 5.01.2011
- Aspectos del megaproyecto en biotecnología** (Encuentro Científico Internacional de Verano 2011)
Expositor: Marcial Gutiérrez
Fecha: 5.01.2011
- Aspectos del megaproyecto en energía** (Encuentro Científico Internacional de Verano 2011)
Expositor: Agustín Zúñiga
Fecha: 5.01.2011
- Aspectos del megaproyecto en nanotecnología** (Encuentro Científico Internacional de Verano 2011)
Expositor: Abel Gutarra
Fecha: 5.01.2011
- Aspectos del megaproyecto en Tecnologías de la Información y Comunicación** (Encuentro Científico Internacional de Verano 2011)
Expositor: José Luis Segovia
Fecha: 5.01.2011
- El Ministerio de Ciencia y Tecnología, una entidad para el desarrollo del Perú** (Encuentro Científico Internacional de Verano 2011)
Expositores: Augusto Mellado, Aldo Estrada, Fabiola León
Fecha: 5.01.2011
- Uso de la base de datos ScienceDirect**
Expositor: Leía Leal
Fecha: 17.01.2011
- Seguridad de centrales nucleares**
Expositor: Marcelo Madariaga
Fecha: 20.01.2011
- Protección radiológica operacional en medidores nucleares**
Expositor: E. Medina F.
Fecha: 24.02.2011
- Innovación y competitividad**
Expositor: CEPLAN
Fecha: 1.03.2011
- Reglamento de Seguridad Radiológica**
Expositor: Edgard Medina
Fecha: 8.03.2011
- Radiología general**
Expositor: Rossana Morales
Fecha: 8.03.2011
- Medicina nuclear**
Expositor: Alfredo Moscol
Fecha: 15.03.2011
- Normatividad en protección radiológica**
Expositor: Régulo Visurraga
Fecha: 15.03.2011
- Introducción a la radiactividad y radiación**
Expositor: Edgard Medina
Fecha: 18.03.2011
- Magnitudes y unidades radiológicas**
Expositor: Edgard Medina
Fecha: 18.03.2011
- Efectos biológicos de las radiaciones**
Expositor: Carlos Ampuero
Fecha: 18.03.2011
- La Radiación y su uso en salud, medioambiente y desarrollo industrial**
Expositor: Renán Ramírez
Fecha: 18.03.2011
- Control y uso de material y fuentes radiactivas**
Expositor: Renán Ramírez
Fecha: 18.03.2011
- Actos criminales o no autorizados que involucran materiales radiactivos**
Expositor: Renán Ramírez
Fecha: 18.03.2011
- Normativa en protección radiológica**
Expositor: Régulo Visurraga
Fecha: 22.03.2011
- La Investigación como estrategia pedagógica**
Expositor: CONCYTEC
Fecha: 24.03.2011
- Reforzamiento seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares**
Expositor: Edgard Medina
Fecha: 25.03.2011
- Fukushima situación actual**
Expositor: Agustín Zúñiga
Fecha: 31.03.2011
- Aspectos generales de la maestría en física médica**
Expositor: E. Medina F.
Fecha: 4.04.2011
- Protección radiológica operacional en medicina nuclear**
Expositor: L. Defilippi
Fecha: 9.04.2011
- Energía nuclear: beneficios y riesgos**
Expositores: C. Barreda, M. Montoya
Fecha: 15.04.2011
- Seguridad radiológica en el uso de equipos de rayos X no médicos**
Expositor: Edgard Medina F.
Fecha: 15.04.2011
- Seguridad radiológica operacional en el uso de medidores nucleares**
Expositor: Edgard Medina F.
Fecha: 28.04.2011
- Importación y exportación de fuentes radiactivas de categoría 1 y 2**
Expositor: Marco Munive
Fecha: 5.05.2011

Presentación de Revista Latinoamericana de Protección Radiológica

Expositor: E. Medina Gironzini
Fecha: 6.05.2011

Aplicaciones de la energía nuclear en el Perú

Expositor: Mario Mallaupoma
Fecha: 18.05.2011

Protección radiológica operacional sobre rayos X no médico

Expositor: Edgard Medina F.
Fecha: 26.05.2011

Física médica en radiodiagnóstico: Dosimetría y perspectivas

Expositor: Fernando Márquez
Fecha: 2.06.2011

Seguridad operacional en el uso de medidores nucleares (Densímetros)

Expositor: Edgard Medina F.
Fecha: 2.06.2011

Regulación de licencia de instalaciones

Expositor: Miguel Ticllacuri
Fecha: 3.06.2011

Gases en imágenes de resonancia magnética (Video Conferencia)

Expositor: Luis Agulles
Fecha: 14.06.2011

PET for hadrontherapy monitoring and new quality assurance techniques (Video Conferencia)

Expositor: Paola Solevi
Fecha: 14.06.2011

Image degradation phenomena (Video Conferencia)

Expositor: Paola Solevi
Fecha: 15.06.2011

Aspectos generales de las imágenes digitales y calidad (Video Conferencia)

Expositor: Mauricio Arciniegas
Fecha: 15.06.2011

Programa de control de calidad en radiodiagnóstico

Expositor: Javier Morales
Fecha: 15.06.2011

INSARR Mission Perú

Expositor: Closing Beeting
Fecha: 17.06.2011

Aceleradores lineales en radioterapia y gammaknife (Video Conferencia)

Expositor: Hernando Barriga
Fecha: 20.06.2011

Nueva tecnología en radioterapia: Cyberknife (Video Conferencia)

Expositor: Álvaro Muñoz
Fecha: 20.06.2011

Proyecto de Ley de Seguridad Nuclear

Expositor: Marco Munive
Fecha: 21.06.2011

Proyecto de Reglamento de Ley de Seguridad Nuclear

Expositor: Renán Ramírez
Fecha: 21.06.2011

Proyecto de Ley de Desechos Radiactivos

Expositor: Renán Ramírez
Fecha: 21.06.2011

Fundamentos de la hadronterapia y efectos biológicos (Video Conferencia)

Expositor: Manjit Dosanjh
Fecha: 21.06.2011

Nuevas tecnologías en braquiterapia (Video Conferencia)

Expositor: Esperanza Castellanos
Fecha: 21.06.2011

Aceleradores lineales en radioterapia y radiocirugía

Expositor: Jimmy Hernández (Video Conferencia)
Fecha: 21.06.2011

Verificación de los algoritmos de cálculo en Tps-3D

Expositor: Johnny Burbano (Video Conferencia)
Fecha: 23.06.2011

Simulación montecarlo en medidores nucleares (Video Conferencia)

Expositor: Luis Carlos Lagares
Fecha: 23.06.2011

Introducción a la protección radiológica contra las radiaciones ionizantes. Medidas de protección en radiológica y medicina nuclear (Video Conferencia)

Expositor: Jim Thurston
Fecha: 24.06.2011

Protección radiológica en radioterapia, braquiterapia y teleterapia (Video Conferencia)

Expositor: Jim Thurston
Fecha: 24.06.2011

Revisión de las recomendaciones en protección radiológica del ICRP (Video Conferencia)

Expositor: Anselmo Puertas
Fecha: 24.06.2011

Legislación colombiana en PR (Video Conferencia)

Expositor: Jorge Vallejo
Fecha: 24.06.2011

Aplicación del modelo MAED (Video Conferencia)

Expositor: OLADE
Fecha: 7.07.2011
(Video Conferencia)

Modelo de demanda de energía MAED (Video Conferencia)

Expositor: (Organización Latinoamericana de Energía - OLADE)
Fecha: 8.07.2011

Consideraciones de la transición de radioterapia 2D a 3D

Expositor: Navor Figueroa
Fecha: 9.07.2011

Seguridad radiológica operacional en el uso de medidores nucleares

Expositor: Edgard Medina F.
Fecha: 14.07.2011

Aplicación del modelo MAED (Video Conferencia)

Expositor: Organización Latinoamericana de Energía - OLADE
Fecha: 14.07.2011

Aplicación del modelo MAED (Video Conferencia)

Expositor: Organización Latinoamericana de Energía - OLADE
Fecha: 18.07.2011

Centrales hidroeléctricas (Video Conferencia)

Expositor: Organización Latinoamericana de Energía - OLADE

Fecha: 1.08.2011

La Cátedra de CONCYTEC en sanidad animal (Encuentro Científico Internacional de Invierno 2011)
Expositor: J. Ortiz
Fecha: 3.08.2011

La Cátedra de CONCYTEC en productos naturales y biocomercio (Encuentro Científico Internacional de Invierno 2011)
Expositor: P. Bonilla
Fecha: 3.08.2011

La Cátedra de CONCYTEC en automatización de procesos (Encuentro Científico Internacional de Invierno 2011)
Expositor: W. Ipanaqué
Fecha: 3.08.2011

La Cátedra de CONCYTEC en ciencias del mar (Encuentro Científico Internacional de Invierno 2011)
Expositor: D. Gutiérrez
Fecha: 3.08.2011

La Cátedra de CONCYTEC en tecnologías de información y comunicación (Encuentro Científico Internacional de Invierno 2011)
Expositor: L. Alfaro
Fecha: 3.08.2011

La Cátedra de CONCYTEC en nanomateriales (Encuentro Científico Internacional de Invierno 2011)
Expositor: W. Estrada
Fecha: 3.08.2011

La Cátedra de CONCYTEC en química del medio ambiente (Encuentro Científico Internacional de Invierno 2011)
Expositor: J. Villanueva
Fecha: 3.08.2011

La Cátedra de CONCYTEC en biotecnología (Encuentro Científico Internacional de Invierno 2011)
Expositor: P. Herrera
Fecha: 3.08.2011

La Cátedra de CONCYTEC en acuicultura (Encuentro Científico Internacional de Invierno 2011)
Expositor: L. Verdi
Fecha: 3.08.2011

Seguridad operacional en medidores nucleares (Encuentro Científico Internacional de Invierno 2011)
Expositor: E. Medina F.
Fecha: 4.08.2011

Comparación entre beneficio húmedo tradicional individual con el beneficio húmedo centralizado y sus efectos en la calidad de los cafés especiales en Chanchamayo (Encuentro Científico Internacional de Invierno 2011)
Expositor: G. Fundes
Fecha: 4.08.2011

Central de productores de café del Perú (Encuentro Científico Internacional de Invierno 2011)
Expositor: C. Castellón
Fecha: 4.08.2011

Diseño y construcción de maquinaria para la producción de licor de cacao (Encuentro Científico Internacional de Invierno 2011)
Expositor: A. Tenorio
Fecha: 4.08.2011

Equipo para lectura y análisis de placas MODS y sistema web experto en línea para el diagnóstico

rápido y remoto de tuberculosis y la determinación a susceptibilidad de drogas (Encuentro Científico Internacional de Invierno 2011)
Expositor: M. Zimic
Fecha: 4.08.2011

Plataforma tecnológica de formulación, evaluación y promoción nacional en internacional de oportunidades de negocio y proyectos de inversión (Encuentro Científico Internacional de Invierno 2011)
Expositor: M. Olguín
Fecha: 4.08.2011

Caracterización del desarrollo de tracto intestinal en crías de placas (Encuentro Científico Internacional de Invierno 2011)
Expositor: S. Cueva
Fecha: 4.08.2011

Impactos de los proyectos de misiones tecnológicas (Encuentro Científico Internacional de Invierno 2011)
Expositor: R. Dueñas
Fecha: 4.08.2011

Estado de la eficiencia energética en el Perú (Encuentro Científico Internacional de Invierno 2011)
Expositor: J. Romaní
Fecha: 4.08.2011

Análisis de la metodología de monitoring targeting (Encuentro Científico Internacional de Invierno 2011)
Expositor: J. Nahui
Fecha: 4.08.2011

Optimización de despacho de máquina térmica usando programación no lineal (Encuentro Científico Internacional de Invierno 2011)
Expositor: V. Arroyo
Fecha: 4.08.2011

Eficiencia energética en una planta de almacenamiento de productos refrigerados y congelados en una industria peruana (Encuentro Científico Internacional de Invierno 2011)
Expositor: M. Bocanegra
Fecha: 4.08.2011

Nuevas tecnologías de eficiencia energética: Los SMART GRIDS. La experiencia en Canadá (Encuentro Científico Internacional de Invierno 2011)
Expositor: V. Loayza
Fecha: 4.08.2011

Producción de calor y frío para la industria con sistemas de cogeneración de alta eficiencia (Encuentro Científico Internacional de Invierno 2011)
Expositor: J. Ramos
Fecha: 4.08.2011

Experiencias en la aplicación de la eficiencia energética en Aris Industrial (Encuentro Científico Internacional de Invierno 2011)
Expositor: R. Darío
Fecha: 4.08.2011

Evaluación de proyectos hidroeléctricos (Video Conferencia)
Expositor: A. Gonzáles (Organización Latinoamericana de Energía - OLADE)
Fecha: 4.08.2011

Seguridad radiológica operacional en medicina nuclear
Expositor: E. Medina F.
Fecha: 5.08.2011

Evaluación de proyectos hidroeléctricos (Video Conferencia)

Expositor: A. Gonzáles (Organización Latinoamericana de Energía - OLADE)
Fecha: 5.08.2011

Oportunidades de investigación en biología

Expositor: M. Montoya
Fecha: 6.08.2011

Evaluación de proyectos hidroeléctricos (Video Conferencia)

Expositor: (Organización Latinoamericana de Energía - OLADE)
Fecha: 10.08.2011

Evaluación de proyectos hidroeléctricos (Video Conferencia)

Expositores: A. Flachier, S. Ibarra (Organización Latinoamericana de Energía - OLADE)
Fecha: 11.08.2011

Evaluación de proyectos hidroeléctricos (Video Conferencia)

Expositor: J. Carcelén (Organización Latinoamericana de Energía - OLADE)
Fecha: 12.08.2011

Evaluación de proyectos hidroeléctricos (Video Conferencia)

Expositor: H. Almeyda (Organización Latinoamericana de Energía - OLADE)
Fecha: 15.08.2011

Matriz de riesgo - Foro

Expositores: M. Munive, Y. Ravelo
Fecha: 25.08.2011

Ensayos No Destructivos

Expositor: R. Visurraga
Fecha: 30.08.2011

Aplicaciones de la energía nuclear

Expositor: E. Medina F.
Fecha: 20.09.2011
Lugar: Universidad Nacional Enrique Guzmán y Valle La Cantuta

3. Reunión anual con usuarios de gammagrafía

Expositores: M. Munive, R. Ramírez, E. Medina
Fecha: 22.09.2011

Protección radiológica operacional en fluorescencia y difracción de rayos X

Expositor: E. Medina F.
Fecha: 5.10.2011

Ciclo CONCYTEC: Estado de la energía nuclear eólica en el mundo y en Latinoamérica

Expositor: A. Ríos
Fecha: 10.10.2011

Ciclo CONCYTEC: Proceso de subasta de energías renovables en el Perú

Expositor: J. Mendoza
Fecha: 10.10.2011

Ciclo CONCYTEC: Tecnología de aerogeneradores

Expositor: G. García
Fecha: 10.10.2011

Ciclo CONCYTEC: Explotación de parques eólicos

Expositor: L. Batista
Fecha: 10.10.2011

Ciclo CONCYTEC: Gestión y ejecución de proyectos eólicos en el Perú

Expositor: M. Sánchez
Fecha: 11.10.2011

Ciclo CONCYTEC: El futuro de la energía eólica en el Perú

Expositor: M. Sánchez
Fecha: 11.10.2011

Instalaciones eléctricas en los parques eólicos

Expositor: R. Villafáfila
Fecha: 11.10.2011

Protección radiológica

Expositor: M. Vela
Fecha: 11.10.2011

Ciclo CONCYTEC: Problemática de Integración de parques eólicos

Expositor: A. Ríos
Fecha: 11.10.2011

Ciclo CONCYTEC: Calidad de suministro de instalaciones eólicas. Sistemas Scada, operación y mantenimiento de parques eólicos

Expositor: R. Villafáfila
Fecha: 12.10.2011

Principales aplicaciones de la energía nuclear

Expositor: E. Medina F.
Fecha: 17.10.2011

Protección radiológica operacional en el uso de medidores nucleares

Expositor: Edgard Medina F.
Fecha: 10.11.2011

Seguridad radiológica operacional en radiodiagnóstico médico

Expositor: Edgard Medina F.
Fecha: 30.11.2011

Detección de fisuras y corrosión usando el método de Eddy Current

Expositor: J. Ruiz
Fecha: 3.12.2011

Alcances de la nueva practica recomendada SNT-TC-1A

Expositor: A. Reyna
Fecha: 3.12.2011

Aplicaciones de recubrimientos duros

Expositor: J. Chicche
Fecha: 3.12.2011

UT avanzado según API 1104

Expositor: D. Silva
Fecha: 3.12.2011

Imagenología Tofd/Phased Array en soldaduras de acero al carbono

Expositor: R. Rodríguez
Fecha: 3.12.2011

Tema: Verificaciones geométricas laser en tuberías de planta de generación

Expositor: I. Torres
Fecha: 3.12.2011

Inspecciones de uniones soldadas usando campos balanceados

Expositor: L. Chirinos
Fecha: 3.12.2011

Protección radiológica ocupacional en aplicaciones médicas en industriales

Expositor: J. Condori
Fecha: 9.12.2011

Análisis de opciones de combustibles para el Reactor Peruano RP-10

Expositores: E. Villarino, P. Adelfang
Fecha: 11.12.2011

Relanzamiento de la Red de Periodistas y Divulgadores Científicos del Perú

Expositores: V. Carranza, C. Cisneros, M. Montoya, D. David
Fecha: 14.12.2011

Protección radiológica operacional en medidores nucleares

Expositor: E. Medina F.
Fecha: 15.12.2011

Mejoramiento de Plantas por mutación genética inducida por irradiación - Avances de la medicina nuclear en Perú

Expositores: Y. Montoya, R. Morales
Fecha: 22.12.2011

G. Programa nacional de entrenamiento, talleres, cursos y becas en el extranjero

Jorge Condori Ccari (IPEN)

Reunión intermedia de coordinación del Proyecto RLA/8/046 "Establecimiento de control de calidad para el proceso de irradiación industrial"

Lugar : Santo Domingo, República Dominicana
Período : 10-12.01.2011
Apoyo : OIEA

José Solís Veliz (IPEN)

Visita Científica en la Universidad de Oulu

Lugar : Oulu, Finlandia
Período : 7.01- 25.02.2011
Apoyo : OIEA

Patricia Bedregal Salas (IPEN)

Curso Regional sobre la preparación y Uso de Material de Referencia en Casa para el Control de Calidad de los Resultados de Análisis y Validación de Métodos

Lugar : Ciudad de Panamá, República de Panamá
Período : 28.02-4.03.2011
Apoyo : OIEA

María Luisa Castro de Esparza (Organización Panamericana de la Salud - OPS)

Curso regional sobre la preparación y uso de material de referencia en casa para el control de calidad de los resultados de análisis y validación de métodos

Lugar : Ciudad de Panamá, República de Panamá
Período : 28.02-4.03.2011
Apoyo : OIEA

Carlos Iván Babiche Fuentes (IPEN)

Programa de capacitación en la esfera de reactores de investigación

Lugar : Buenos Aires, Argentina
Período : 1.03-29.04.2011
Apoyo : OIEA

Patricia Bedregal Salas (IPEN)

13ª Conferencia Internacional sobre Tendencias Modernas en Análisis por Activación Neutrónica

Lugar : Texas, Estados Unidos de América
Período : 14-18.03.2011
Apoyo : Texas & M University Department of Chemistry

Gerardo Maghella Seminario (IPEN)

Entrenamiento en trazadores en gas natural y petroquímica

Lugar : Sao Paulo, Brasil
Período : 1-31.03.2011
Apoyo : OIEA

Dionisio Canaza Honorio (IPEN)

Programa de capacitación en la esfera de reactores de investigación

Lugar : Sao Paulo, Brasil
Período : 1.03-15.04.2011
Apoyo : OIEA

David Carrillo Segura (IPEN)

Reunión de consulta sobre la posibilidad para producir Mo-99 a través de la captura de neutrones bajo los auspicios de la coalición caribeña

Lugar : La Habana, Cuba
Período : 23-25.03.2011
Apoyo : OIEA

Renán Ramírez Quijada (IPEN)

Reunión de consultores sobre control de fuentes

Lugar : Madrid, España
Período : 28.03-1.04.2011
Apoyo : OIEA

Marco Munive Sánchez (IPEN)

Reunión de consultoría sobre manejo de la información

Lugar : Río de Janeiro, Brasil
Período : 4-8.04.2011
Apoyo : OIEA

Tony Benavente Alvarado (IPEN)

Taller sobre los últimos avances en arreglos para la preparación y respuesta a emergencias radiológicas

Lugar : Santiago de Chile, Chile
Período : 4-8.04.2011
Apoyo : OIEA

Iván Llamas Montoya (IPEN)

Reunión de expertos para discutir y finalizar un plan regional de referencia sobre autosuficiencia en el suministro de determinados radioisótopos producidos en los reactores de la región

Lugar : Viena, Austria
Período : 4-8.04.2011
Apoyo : OIEA

Iván Llamas Montoya (IPEN)

2ª Reunión de Coordinadores del Proyecto RLA/0/037

Lugar : Viena, Austria
Período : 11-13.04.2011
Apoyo : OIEA

Elizabeth Heros Aguilar (Universidad Nacional Agraria La Molina-UNALM)

Curso regional de capacitación sobre tecnologías moleculares avanzadas y análisis de datos aplicados al mejoramiento de los cultivos, incluyendo mejoramiento por mutaciones

Lugar : Maracay, Venezuela
Período : 11-20.04.2011
Apoyo : OIEA

Gregorio Rojas Pereda (IPEN)

Curso regional de capacitación sobre física médica en diagnóstico radiológico

Lugar : Bogotá, Colombia
Período : 5-9.04.2011
Apoyo : OIEA

José Marques Pachas (Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas - INEN)

Curso regional de capacitación sobre física médica en diagnóstico radiológico

Lugar : Bogotá, Colombia

Período : 5-9.04.2011

Apoyo : OIEA

Julio Villanueva Rivera (IPEN)

Reunión regional para la discusión y aprobación de guías para autorización e inspección de las actividades e instalaciones medicas, industriales y de desechos radiactivos

Lugar : La Habana, Cuba

Período : 11-15.04.2011

Apoyo : OIEA

Julio Romaní Aguirre (IPEN)

Reunión regional para la discusión y aprobación de guías para autorización e inspección de las actividades e instalaciones medicas, industriales y de desechos radiactivos

Lugar : La Habana, Cuba

Período : 11-15.04.2011

Apoyo : OIEA

Tony Benavente Alvarado (IPEN)

Reunión regional destinada a crear una Red Latinoamericana de Profesionales Médicos encargados de protección radiológica en pediatría

Lugar : Porto Alegre, Brasil

Período : 15-17.04.2011

Apoyo : OIEA

Mariano Vela Mora (IPEN)

Capacitación en la implementación de un sistema de adquisición de cinética inversa en el RP-10

Lugar : Buenos Aires, Argentina

Período : 18.04-18.07.2011

Apoyo : OIEA

Pablo Melitón Arias Pérez (IPEN)

Curso regional de capacitación para la introducción a técnicas de programación en Labview para aplicaciones de transferencia de información, control de movimiento y tratamiento de imágenes

Lugar : Río de Janeiro, Brasil

Período : 25.04-6.05.2011

Apoyo : OIEA

Emma Castro Gamero (IPEN)

Reunión de expertos sobre consolidación de bancos de tejidos en América Latina y radioesterilización de tejidos

Lugar : Bogotá, Colombia

Período : 2-6.05.2011

Apoyo : OIEA

Iván Llamas Montoya (IPEN)

Misión Integral de Evaluación de la Seguridad de Reactores de Investigación (INSARR)

Lugar : Pitesti, Rumania

Período : 2-6.05.2011

Apoyo : OIEA

Yuri Ravello Ratzenberg (IPEN)

Foro sobre licenciamiento de ciclotrón para la producción de radionucleidos

Lugar : Madrid, España

Período : 2-6.05.2011

Apoyo : OIEA

Constantino León Benites (IPEN)

Capacitación en el área de reactores de investigación en la División de Corrosión del Centro Atómico Constituyentes

Lugar : Buenos Aires, Argentina

Período : 2.05-17.06.2011

Apoyo : OIEA

Iván Llamas Montoya (IPEN)

Reunión sobre aplicación del código de conducta en la seguridad de reactores de investigación

Lugar : Viena, Austria

Período : 16-20.05.2011

Apoyo : OIEA

Carlos Barreda Tamayo (IPEN)

Formulación de proyecto de comunicaciones

Lugar : Ciudad de Panamá, República de Panamá

Período : 19-20.05.2011

Apoyo : OIEA

Carlos Barreda Tamayo (IPEN)

XII Reunión del Órgano de Coordinación Técnica del Acuerdo ARCAL (OCTA)

Lugar : Ciudad de Panamá, República de Panamá

Período : 23-27.05.2011

Apoyo : OIEA

Santiago Regalado Campana (IPEN)

Segunda reunión de coordinación del Proyecto RLA/9/051

Lugar : Santo Domingo, República Dominicana

Período : 23-27.05.2011

Apoyo : OIEA

Carlos Ampuero Flores (IPEN)

Taller de recuperación de uranio organizado por la Comisión Regulatoria Nuclear de los Estados Unidos de América

Lugar : Texas, Estados Unidos de América

Período : 23-26.05.2011

Apoyo : OIEA

Renán Ramírez Quijada (IPEN)

Taller de recuperación de uranio organizado por la Comisión Regulatoria Nuclear de los Estados Unidos de América

Lugar : Texas, Estados Unidos de América

Período : 23-26.05.2011

Apoyo : OIEA

Lourdes Lidania Zegarra Mayo (Participante externo)

Visita Científica para la operación y gerenciamiento de la instalación de un ciclotrón en el marco del Proyecto Per/6/016

Lugar : Sao Paulo, Brasil

Período : 29.05-11.06.2011

Apoyo : OIEA

Roque Cano Pérez (IPEN)

Estancia formativa en el Servicio de Medicina Nuclear de la Clínica de la Universidad de Navarra

Lugar : Navarra, España

Período : 31.05-11.06.2011

Apoyo : UPCH

Ever Cifuentes Noreña (IPEN)

Taller regional sobre prácticas recomendadas para la evaluación y respuesta ante incidentes o amenazas a la seguridad física en instalaciones nucleares

Lugar : San Carlos de Bariloche, Argentina

Período : 6-10.06.2011

Apoyo : INVAP/ Instituto Mundial para la Seguridad Nuclear (IWINS)

Edgard Medina Flores (IPEN)

Taller regional sobre prácticas recomendadas para la evaluación y respuesta ante incidentes o amenazas a la seguridad física en instalaciones nucleares

Lugar : San Carlos de Bariloche, Argentina

Período : 6–10.06.2011

Apoyo: INVAP/ Instituto Mundial para la Seguridad Nuclear (IWINS)

Luz Gómez Pando (Universidad Nacional Agraria La Molina - UNALM)

II Reunión de Coordinación del Proyecto RLA/5/056 (ARCAL CV)

Lugar : Santo Domingo, República Dominicana

Período : 6–10.06.2011

Apoyo : OIEA

Paola Carolina Guerrero León (Hospital Nacional Cayetano Heredia)

Curso regional sobre el manejo multidisciplinario del cáncer cérvico uterino

Lugar : Ciudad de Panamá, República de Panamá

Período : 19–21.06.2011

Apoyo : OIEA

Edith López Moreno (IPEN)

Curso interregional avanzado sobre radiactividad marina: Técnicas analíticas y gestión de la calidad

Lugar : Karlsruhe, Alemania

Período : 27.06–8.07.2011

Apoyo : OIEA

Patricia Bedregal Salas (IPEN)

Reunión Final del Proyecto Regional RLA/1/010 (ARCAL LXXXVIII)

Lugar : Buenos Aires, Argentina

Período : 28.06–2.07.2011

Apoyo : OIEA

Carlos Barreda Tamayo (IPEN)

Reunión del Comité Ejecutivo del Programa Extra Presupuestal sobre Seguridad Nuclear y Radiológica en Iberoamérica

Lugar : Santiago de Chile, Chile

Período : 10–15.07.2011

Apoyo : OIEA

Marco Munive Sánchez (IPEN)

Reunión del Comité Ejecutivo del Programa Extra Presupuestal sobre Seguridad Nuclear y Radiológica en Iberoamérica

Lugar : Santiago de Chile, Chile

Período : 10–15.07.2011

Apoyo : OIEA

Anita Elizabeth Robles Ñique (IPEN)

Curso regional de capacitación sobre transporte seguro de materiales radiactivos

Lugar : Ciudad de Panamá, República de Panamá

Período : 25–29.07.2011

Apoyo : OIEA

Miguel Ticllacuri Carbajal (IPEN)

Curso regional de capacitación sobre transporte seguro de materiales radiactivos

Lugar : Ciudad de Panamá, República de Panamá

Período : 25–29.07.2011

Apoyo : OIEA

Curso regional de capacitación sobre la evaluación financiera de futuros proyectos de electricidad usando el modelo FINPLAN

Lugar : Viena, Austria

Período : 1–12.08.2011

Apoyo : OIEA

Paulino Rueda Fernández (Empresa de Electricidad del Perú - ELECTROPERU S.A.)

Curso regional de capacitación sobre la evaluación financiera de futuros proyectos de electricidad usando el modelo FINPLAN

Lugar : Viena, Austria

Período : 1–12.08.2011

Apoyo : OIEA

César Chau Wong (IPEN)

Visita científica para participar en el ejercicio de emergencia nuclear organizado por el Gobierno de Brasil

Lugar : Río de Janeiro, Brasil

Período : 28.08–3.09.2011

Apoyo : OIEA

Lourdes Gionvanna Gómez Bolívar (Instituto Nacional de Defensa Civil - INDECI)

Visita científica para participar en el ejercicio de emergencia nuclear organizado por el Gobierno de Brasil

Lugar : Río de Janeiro, Brasil

Período : 28.08–3.09.2011

Apoyo : OIEA

José Osoro Rebaza (IPEN)

8° Reunión de Coordinación de la Red de Laboratorios Analíticos para la Medición de Radiactividad Ambiental (ALMERA)

Lugar : Viena, Austria

Período : 5–7.09.2011

Apoyo : OIEA

Emma Castro Gamero (IPEN)

Reunión sobre códigos de prácticas para la irradiación de tejidos humanos

Lugar : Santiago de Chile, Chile

Período : 5–9.09.2011

Apoyo : OIEA

Juan Ávila López (IPEN)

Reunión sobre planificación regional de la energía mediante MESSAGE y formulación de un proyecto de estufas de leña eficientes

Lugar : Quito, Ecuador

Período : 5–9.09.2011

Apoyo : OIEA

Edgar Valdivia Zeballos (IPEN)

Capacitación en el Centro de Investigaciones Médico-Sanitarias (PER/6/016)

Lugar : Ciudad de Málaga, España

Período : 19.09–16.12.2011

Apoyo : OIEA

Víctor Andrés Corahua Muñante (IPEN)

Visita científica sobre radioprotección e instrumentación nuclear en un ciclotrón

Lugar : Sao Paulo, Brasil

Período : 19–30.09.2011

Apoyo : OIEA

Rosanna Morales Guzmán (IPEN)

Estancia formativa en PET/CT (Universidad Austral)

Lugar : Buenos Aires, Argentina

Período : 5–23.09.2011

Apoyo : UPCH

Rosanna Morales Guzmán (IPEN)

Reunión de Coordinadores del Proyecto RLA/0/039 (ARCAL CXX)

Lugar : Pernambuco, Brasil
 Período : 26–28.09.2011
 Apoyo : OIEA

Rosanna Morales Guzmán (IPEN)

Reunión de Coordinadores del Proyecto RLA/6/065 (ARCAL CXI)

Lugar : Pernambuco, Brasil
 Período : 26–28.09.2011
 Apoyo : OIEA

Renán Ramírez Quijada (IPEN)

4. Reunión de consultores en el control de fuentes del Foro Iberoamericano de Organismos Reguladores Nuclear y Radiológicos

Lugar : Buenos Aires, Argentina
 Período : 26–30.09.2011
 Apoyo : OIEA

Gerardo Lázaro Moreyra (IPEN)

Curso internacional de capacitación sobre la operación práctica de sistemas de protección física en instalaciones nucleares

Lugar : Obninsk, Rusia
 Período : 26.09–7.10.2011
 Apoyo : OIEA

Pablo Arias Pérez (IPEN)

Curso de capacitación en la metodología y procedimientos para validación de software

Lugar : Ocoyoacac, México
 Período : 3–14.10.2011
 Apoyo : OIEA

Gerardo Lázaro Moreyra (IPEN)

Reunión técnica sobre el Sistema de Notificación de Incidentes para Reactores de Investigación (IRSS) a llevarse a cabo en el Instituto de Investigaciones Nucleares (INR)

Lugar : Pitesti, Rumania
 Período : 10–14.10.2011
 Apoyo : OIEA

Iván Llamas Montoya (IPEN)

Fórum para el diálogo sobre innovaciones en energía nuclear: Consideraciones respecto a Reactores Nucleares de Pequeño y Mediano Tamaño (INPRO)

Lugar : Viena, Austria
 Período : 10–14.10.2011
 Apoyo : OIEA

Julio César Román Aguirre (IPEN)

Taller sobre el establecimiento de la infraestructura de seguridad nuclear para un programa nacional de generación de energía nuclear

Lugar : Río de Janeiro, Brasil
 Período : 17–28.10.2011
 Apoyo : OIEA

Alberto Gallardo Padilla (IPEN)

Reunión internacional sobre Enriquecimiento Reducido de Combustible para Reactores de Prueba y de Investigación (RERTR)

Lugar : Santiago de Chile, Chile
 Período : 23.10–27.11.2011
 Apoyo : OIEA

Gustavo Sarria Bardales (Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas - INEN)

Reunión de Coordinadores del Proyecto RLA/6/068 (ARCAL CXIV)

Lugar : San Salvador, El Salvador

Período : 24–28.10.2011

Apoyo : OIEA

Yuri Ravello Ratzenberg (IPEN)

Reunión sobre aprovechamiento de la v.1 de la herramienta SEVRA para el análisis de riesgo en radioterapia

Lugar : Montevideo, República Oriental del Uruguay
 Período : 7–11.11.2011
 Apoyo : OIEA

Jorge Condori Ccari (IPEN)

Curso regional de capacitación para instructores sobre protección radiológica ocupacional médicas e industriales

Lugar : Managua, Nicaragua
 Período : 7–11.11.2011
 Apoyo : OIEA

Alexander Cárdenas Solano (EsSalud - Hospital Nacional Edgardo Rebagliati Martins)

Conferencia Internacional sobre Aplicaciones Clínicas PET y Medicina Nuclear Molecular (IPET 2011)

Lugar : Viena, Austria
 Período : 8–11.11.2011
 Apoyo : OIEA

Daniel Santos Orihuela (EsSalud - Hospital Guillermo Almenara)

Capacitación en medicina nuclear en el Centro de Investigaciones Energéticas Medio Ambientales y Tecnológicas

Lugar : Madrid, España
 Período : 9.11–23.12.2011
 Apoyo : OIEA

Edwin Rubén Acevedo Toralva (EsSalud - Hospital Guillermo Almenara)

Capacitación en medicina nuclear en el Centro de Investigaciones Energéticas Medio Ambientales y Tecnológicas

Lugar : Madrid, España
 Período : 9.11–23.12.2011
 Apoyo : OIEA

Regulo Visurraga Sosa (IPEN)

Curso regional de capacitación sobre la parte común del Nivel 3, Pruebas de Partículas Magnéticas (MT) de Nivel 3 y Pruebas de Líquidos Penetrantes (PT) de Nivel 3

Lugar : Sao Paulo, Brasil
 Período : 14.11–25.11.2011
 Apoyo : OIEA

Regulo Visurraga Sosa (IPEN)

Curso regional de capacitación sobre la parte común del Nivel 3 y Pruebas Radiográficas del Nivel 3

Lugar : Sao Paulo, Brasil
 Período : 5–16.12.2011
 Apoyo : OIEA

Julio Román Aguirre (IPEN)

Taller de establecimiento de la Infraestructura de Seguridad para la Implementación de un Programa Nacional para una Central Nuclear

Lugar : Río de Janeiro, Brasil
 Período : 17–28.11.2011
 Apoyo : OIEA

José Antonio Falconí Palomino (Universidad Nacional Agraria La Molina-UNALM)

Curso regional de capacitación sobre mejoramiento participativo, derechos de los agricultores y el intercambio de material de siembra

Lugar : Asunción, Paraguay
Período : 21–25.11.2011
Apoyo : OIEA

Agustín Zuñiga Gamarra (IPEN)

Taller sobre sinergia entre seguridad física y seguridad nuclear de reactores de investigación

Lugar : Viena, Austria
Período : 22–25.11.2011
Apoyo : OIEA

Orlando Lucas Aguirre (Servicio Nacional de Sanidad Agraria - SENASA)

Reunión Final de Coordinación del Proyecto RLA/5/053

Lugar : San José, Costa Rica
Período : 28.11–2.12.2011
Apoyo : OIEA

Yuri Ravello Ratzenberg (IPEN)

Reunión regional para el intercambio de las experiencias y enseñanzas deducidas de las aplicaciones del código de conducta sobre la seguridad tecnológica y física de las fuentes radiactivas

Lugar : Santiago de Chile, Chile
Período : 28.11–2.12.2011
Apoyo : OIEA

Bruno Mendoza Sánchez (IPEN)

Reunión Final del Proyecto RLA/4/022

Lugar : Río de Janeiro, Brasil
Período : 5–9.12.2011
Apoyo : OIEA

Leoncio Alberto Montano Chuqui (IPEN)

Seminario internacional sobre no-proliferación y seguridad nuclear

Lugar : Santiago de Chile, Chile
Período : 12–13.12.2011
Apoyo : Gobierno de Noruega

Víctor Corahua Muñante (IPEN)

Reunión regional sobre optimización de los programas de protección radiológica ocupacional en instalaciones relacionadas con la producción de radionucleídos y la investigación

Lugar : Santiago de Chile, Chile
Período : 12–16.12.2011
Apoyo : OIEA

Jesús Miranda Alzamora (IPEN)

Reunión de expertos para preparar recomendaciones para la producción de generadores de columna y radiofármacos de tecnecio instantáneo, yodo en condiciones GMP

Lugar : Sao Paulo, Brasil
Período : 12–16.12.2011
Apoyo : OIEA

Tony Benavente Alvarado (IPEN)

Reunión regional de contrapartes nacionales para revisión del ciclo 2009-2011 y planificación del ciclo 2012-2013 del Proyecto RLA/9/067

Lugar : Asunción, Paraguay
Período : 12–16.12.2011
Apoyo : OIEA

Julio Villanueva Rivera (IPEN)

Reunión regional sobre los aspectos teóricos y prácticos de la evaluación de las descargas radiactivas y la monitorización del medioambiente

Lugar : Buenos Aires, Argentina

Período : 12–16.12.2011

Apoyo : OIEA

Marco Espinoza Zevallos (IPEN)

Reunión regional sobre los aspectos teóricos y prácticos de la evaluación de las descargas radiactivas y la monitorización del medioambiente

Lugar : Buenos Aires, Argentina

Período : 12–16.12.2011

Apoyo : OIEA

Mario Mallaupoma Gutiérrez (IPEN)

Reunión técnica sobre gestión de los programas de desarrollo de repositorios

Lugar : Viena, Austria

Período : 12–16.12.2011

Apoyo : OIEA

Marco Munive Sánchez (IPEN)

Reunión de consultoría sobre gestión integrada de información

Lugar : Santiago de Chile, Chile

Período : 12–16.12.2011

Apoyo : OIEA

H. Programa nacional de entrenamiento y cursos organizados por el IPEN-OIEA en Perú

Olger Anaya Garro (IPEN)

Curso regional de capacitación sobre instrumentos y mejores prácticas para el diseño de proyectos de Cooperación Técnica (CT) mediante el empleo de la metodología del marco lógico

Lugar : Lima, Perú

Período : 14–18.02.2011

Apoyo : OIEA

Leoncio Alberto Montano Chuqui (IPEN)

Curso regional de capacitación sobre instrumentos y mejores prácticas para el diseño de proyectos de Cooperación Técnica (CT) mediante el empleo de la metodología del marco lógico

Lugar : Lima, Perú

Período : 14–18.02.2011

Apoyo : OIEA

Anita Robles Ñique (IPEN)

Curso regional de capacitación sobre instrumentos y mejores prácticas para el diseño de proyectos de Cooperación Técnica (CT) mediante el empleo de la metodología del marco lógico

Lugar : Lima, Perú

Período : 14–18.02.2011

Apoyo : OIEA

Fernando Hidalgo Palomino (IPEN)

Curso regional de capacitación sobre instrumentos y mejores prácticas para el diseño de proyectos de Cooperación Técnica (CT) mediante el empleo de la metodología del marco lógico

Lugar : Lima, Perú

Período : 14–18.02.2011

Apoyo : OIEA

Tony Benavente Alvarado (IPEN)

Curso regional de capacitación sobre instrumentos y mejores prácticas para el diseño de proyectos de Cooperación Técnica (CT) mediante el empleo de la metodología del marco lógico

Lugar : Lima, Perú

Período : 21–25.02.2011

Apoyo : OIEA

Julia Casas Castañeda (Asamblea Nacional de Rectores, Universidad Nacional Mayor de San Marcos)
Curso regional de capacitación sobre instrumentos y mejores prácticas para el diseño de proyectos de Cooperación Técnica (CT) mediante el empleo de la metodología del marco lógico

Lugar : Lima, Perú
Período : 21-25.02.2011
Apoyo : OIEA

Luz Gómez Pando (Universidad Nacional Agraria La Molina-UNALM)
Curso regional de capacitación sobre instrumentos y mejores prácticas para el diseño de proyectos de Cooperación Técnica (CT) mediante el empleo de la metodología del marco lógico

Lugar : Lima, Perú
Período : 21-25.02.2011
Apoyo : OIEA

Elizabeth Heros Aguilar (Universidad Nacional Agraria La Molina-UNALM)
Curso regional de capacitación sobre instrumentos y mejores prácticas para el diseño de proyectos de Cooperación Técnica (CT) mediante el empleo de la metodología del marco lógico

Lugar : Lima, Perú
Período : 21-25.02.2011
Apoyo : OIEA

Iván Llamas Montoya (IPEN)
Taller regional de acreditación internacional ISO 9000 e ISO/IEC17025

Lugar : Lima, Perú
Período : 20-24.06.2011
Apoyo : OIEA

Olger Anaya Garro (IPEN)
Taller regional de acreditación internacional ISO 9000 e ISO/IEC17025

Lugar : Lima, Perú
Período : 20-24.06.2011
Apoyo : OIEA

Rodión Santivañez Parra (IPEN)
Taller regional de acreditación internacional ISO 9000 e ISO/IEC17025

Lugar : Lima, Perú
Período : 20-24.06.2011
Apoyo : OIEA

Rolando Arrieta Bernabé (IPEN)
Taller regional de acreditación internacional ISO 9000 e ISO/IEC17025

Lugar : Lima, Perú
Período : 20-24.06.2011
Apoyo : OIEA

Roberto Giol Sanders (IPEN)
Taller regional de acreditación internacional ISO 9000 e ISO/IEC17025

Lugar : Lima, Perú
Período : 20-24.06.2011
Apoyo : OIEA

Pedro Escudero Vega (IPEN)
Taller regional de acreditación internacional ISO 9000 e ISO/IEC17025

Lugar : Lima, Perú
Período : 20-24.06.2011
Apoyo : OIEA

Patricia Bedregal Salas (IPEN)

Taller regional de acreditación internacional ISO 9000 e ISO/IEC17025

Lima, Perú
Lugar : Lima, Perú
Período : 20-24.06.2011
Apoyo : OIEA

Orlando Lucas Aguirre (Servicio Nacional de Sanidad Agraria - SENASA)
Curso regional de capacitación sobre QuEChERS y LC-MS

Lugar : Lima, Perú
Período : 27.06-8.07.2011
Apoyo : OIEA

Ana Cecilia Ramos Moreno (Servicio Nacional de Sanidad Agraria - SENASA)
Curso regional de capacitación sobre QuEChERS y LC-MS

Lugar : Lima, Perú
Período : 27.06-8.07.2011
Apoyo : OIEA

Miriam Tames Aponte (Servicio Nacional de Sanidad Agraria - SENASA)
Curso regional de capacitación sobre QuEChERS y LC-MS

Lugar : Lima, Perú
Período : 27.06-8.07.2011
Apoyo : OIEA

Cristina Toro Vélchez (Servicio Nacional de Sanidad Agraria - SENASA)
Curso regional de capacitación sobre QuEChERS y LC-MS

Lugar : Lima, Perú
Período : 27.06-8.07.2011
Apoyo : OIEA

Roxana Nohelia Ventocilla Reaño (Servicio Nacional de Sanidad Agraria - SENASA)
Curso regional de capacitación sobre QuEChERS y LC-MS

Lugar : Lima, Perú
Período : 27.06-8.07.2011
Apoyo : OIEA

Genaro Rodríguez Carbajal (IPEN)
Curso regional de capacitación para operadores o inspectores de instalaciones médicas y laboratorios de investigación biológica que utilizan materiales radiactivos

Lugar : Lima, Perú
Período : 5-9.09.2011
Apoyo : OIEA

Kety León Palomino (IPEN)
Curso regional de capacitación para operadores o inspectores de instalaciones médicas y laboratorios de investigación biológica que utilizan materiales radiactivos

Lugar : Lima, Perú
Período : 5-9.09.2011
Apoyo : OIEA

Walter Cruz Choquehuanca (IPEN)
Curso regional de capacitación para operadores o inspectores de instalaciones médicas y laboratorios de investigación biológica que utilizan materiales radiactivos

Lugar : Lima, Perú
Período : 5-9.09.2011
Apoyo : OIEA

Roberto Koga Fukuhara (IPEN)

Curso regional de capacitación para operadores o inspectores de instalaciones médicas y laboratorios de investigación biológica que utilizan materiales radiactivos

Lugar : Lima, Perú
Período : 5-9.09.2011
Apoyo : OIEA

Luis Defilippi Shinzato (IPEN)

Curso regional de capacitación para operadores o inspectores de instalaciones médicas y laboratorios de investigación biológica que utilizan materiales radiactivos

Lugar : Lima, Perú
Período : 5-9.09.2011
Apoyo : OIEA

Bertha Ramos Trujillo (IPEN)

Curso regional de capacitación para operadores o inspectores de instalaciones médicas y laboratorios de investigación biológica que utilizan materiales radiactivos

Lugar : Lima, Perú
Período : 5-9.09.2011
Apoyo : OIEA

Susana Gonzáles Villalobos (IPEN)

Curso regional de capacitación para operadores o inspectores de instalaciones médicas y laboratorios de investigación biológica que utilizan materiales radiactivos

Lugar : Lima, Perú
Período : 5-9.09.2011
Apoyo : OIEA

Elmer Quichiz Romero (Dirección General de Salud Ambiental - DIGESA)

Curso regional de capacitación para operadores o inspectores de instalaciones médicas y laboratorios de investigación biológica que utilizan materiales radiactivos

Lugar : Lima, Perú
Período : 5-9.09.2011
Apoyo : OIEA

Guillermo Yaya Castañeda (Instituto de Oncología y Radioterapia de la Clínica Ricardo Palma)

Curso regional de capacitación para operadores o inspectores de instalaciones médicas y laboratorios de investigación biológica que utilizan materiales radiactivos

Lugar : Lima, Perú
Período : 5-9.09.2011
Apoyo : OIEA

Emma Castro Gamero (IPEN)

Implementación de un sistema de gestión de la calidad en banco de tejidos y radioesterilización de aloinjertos de tejidos

Lugar : Lima, Perú
Período : 28.11-2.12.2011
Apoyo : OIEA

Mónica Vivanco Montoya (IPEN)

Implementación de un sistema de gestión de la calidad en banco de tejidos y radioesterilización de aloinjertos de tejidos

Lugar : Lima, Perú
Período : 28.11-2.12.2011
Apoyo : OIEA

Johnny Vargas Rodríguez (IPEN)

Implementación de un sistema de gestión de la calidad en banco de tejidos y radioesterilización de aloinjertos de tejidos

Lugar : Lima, Perú
Período : 28.11-2.12.2011
Apoyo : OIEA

I. Estancias y pasantías a investigadores extranjeros en el país

Sanchia Miller (Jamaica)

Teorías y técnicas en el uso de biotecnología (Técnicas *in vitro*, ELISA para la indexación de material limpio, marcadores moleculares) en la investigación de raíces y tubérculos. Pruebas de campo y de laboratorio para el estrés biótico y abiótico. Recopilación y análisis de datos genéticos, bioestadística

Sede : Centro Internacional de la Papa (CIP)
Período : 1.04-1.09.2011

Regina Ribeiro de Lima Bezerra (Brasil)

Visita científica en producción de molibdeno en la Planta de Producción de Radioisótopos

Sede : Centro Nuclear RACSO
Período : 2.05-13.05.2011

Luis Antonio Villela (Brasil)

Visita científica en producción de molibdeno en la Planta de Producción de Radioisótopos

Sede : Centro Nuclear RACSO
Período : 2.05-13.05.2011

Donette Jackson (Jamaica)

Capacitación en fitotecnia y filogenética

Sede : Centro Internacional de la Papa (CIP)
Período : 2.05-2.07.2011

Mohammed Almuwalld (Arabia Saudita)

Entrenamiento en mejoramiento genético de granos en el programa de cereales

Sede : Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM)
Período : 1.06-30.09.2011

Sanchia Miller (Jamaica)

Capacitación en teorías y técnicas en el uso de biotecnología (Técnicas *in vitro*, ELISA)

Sede : Centro Internacional de la Papa (CIP)
Período : 15.06-14.12.2011

Jorge Caridad Cruz Arencibia (Cuba)

Capacitación en el campo de la producción de radiofármacos

Sede : Centro Nuclear RACSO - Planta de Producción de Radioisótopos
Período : 13.06-24.06.2011

Jorge Antonio Izquierdo Perez (Cuba)

Capacitación en el campo de la producción de radiofármacos

Sede : Centro Nuclear RACSO - Planta de Producción de Radioisótopos
Período : 13.06-24.06.2011

J. Proyectos financiados por el Organismo Internacional de Energía Atómica a través del Acuerdo Regional para la Cooperación en América Latina (ARCAL)

J.1 Proyectos nacionales período 2009-2011

PER/0/023 **Mejoramiento y fortalecimiento del desarrollo de recursos humanos y apoyo a la tecnología nuclear**

Coordinador: Edgard Medina Flores (IPEN)

PER/4/023 **Modernización y mejoramiento de la utilización del reactor RP-10**

Coordinador: Olgger Anaya Garro (IPEN)

PER/6/016 **Mejoramiento del manejo del cáncer y enfermedades cardíacas a través de la instalación de un ciclotrón y la implementación de la tomografía por emisión de positrones en la práctica clínica**

Coordinador: Manuel Castro Vicente (IPEN)

J.2 Proyectos regionales

RLA/0/040 **Formación de capacidades para el desarrollo de energía sostenible (Fase II)**

Coordinador: Juan Avila López

RLA/3/009 **Fortalecimiento de la infraestructura para la gestión de residuos radiactivos en los países de América Latina y el Caribe**

Coordinador: Mario Mallaupoma Gutiérrez

RLA/3/010 **Mejora regional de las técnicas de prospección, explotación y producción de concentrado de uranio teniendo en cuenta los problemas ambientales**

Coordinador: Jacinto Valencia Herrera

RLA/9/061 **Fortalecimiento de sistemas nacionales para la preparación y respuesta a emergencias nucleares y radiológicas**

Coordinador: Santiago Regalado Campaña

RLA/9/062 **Fortalecimiento de la infraestructura nacional y marco regulatorio para la gestión segura de residuos radiactivos en los países de América Latina**

Coordinador: Carlos Ampuero Flores

RLA/9/063 **Desarrollo de recursos humanos en la esfera de la seguridad física nuclear**

Coordinador: Santiago Regalado Campaña

RLA/9/064 **Fortalecimiento de las infraestructuras reglamentarias nacionales para el control de las fuentes de radiación**

Coordinador: Renán Ramírez Quijada

RLA/9/065 **Apoyo a la infraestructura de protección radiológica a través de la educación y entrenamiento**

Coordinador: Edgard Medina Flores

RLA/9/066 **Fortalecimiento y actualización de capacidades técnicas para la protección de la salud y seguridad de trabajadores ocupacionalmente expuesto a las radiaciones ionizantes**

Coordinadora: Susana Gonzáles Villalobos

RLA/9/067 **Aseguramiento de la protección radiológica de pacientes durante exposiciones médicas**

Coordinador: Tony Benavente Alvarado

J.3 Proyectos regionales ARCAL

RLA/0/037 **Apoyo al incremento sostenible en el uso de reactores de investigación en la región de América Latina y el Caribe mediante el establecimiento de redes de trabajo, intercambio de experiencias, preservación de conocimiento y capacitación de recursos humanos.** (ARCAL CXIX)

Coordinador: Ivan Llamas Montoya (IPEN)

RLA/0/038 **Apoyo a la introducción de la energía nuclear** (ARCAL XCV)

Coordinadores: Carlos Barreda Tamayo / Alberto Montano Chuqui (IPEN)

RLA/0/039 **Creación de una red latinoamericana para colaboración y educación en medicina nuclear.** (ARCAL CXX)

Coordinador: Roque Cano Pérez (IPEN)

RLA/0/042 **Acuerdo regional para el fortalecimiento del programa regional latinoamericano.** (ARCAL XCVI)

Coordinador: Alberto Montano Chuqui (IPEN)

RLA/2/014 **Mejoramiento de la calidad analítica a través de capacitación en aseguramiento de la calidad, pruebas de proficiencia y certificación de materiales de referencia matrices usando técnicas analíticas nucleares y relacionadas en América Latina.** (ARCAL XCVII)

Coordinadora: Patricia Bedregal Salas

RLA/3/007 **Desarrollo de una conversión costo efectiva de cascos para el almacenaje a largo plazo de combustibles gastados en un reactor de investigación.** (ARCAL XCVIII)

Coordinador: Constantino León Benites (IPEN)

RLA/4/022 **Actualización de conocimiento, introducción de nuevas técnicas y mejoramiento de la calidad de las actividades de instrumentación nuclear.** (ARCAL XCIX)

Coordinador: Edgar Valdivia Zeballos (IPEN)

RLA/5/051 **Uso de radionúclidos ambientales como indicadores de degradación de tierras en América Latina, el Caribe y en ecosistemas antárticos.** (ARCAL C)

Coordinador: Ruben Rojas Molina (IPEN)

RLA/5/053 **Implementación de un sistema de diagnóstico para evaluar el impacto de contaminación por pesticidas en alimentos y compartimientos ambientales en la región de América Latina y el Caribe.** (ARCAL CII)

Coordinador: Orlando Lucas Aguirre (Servicio Nacional de Sanidad Agraria-SENASA)

RLA/5/054 **Aseguramiento de la seguridad en alimentos marítimos en América Latina y el Caribe a través de un programa regional de monitoreo de contaminantes en moluscos y pescados.** (ARCAL CIII)

Coordinador: Manuel Osoreo Rebaza (IPEN)

RLA/5/055 **Establecimiento de una red de laboratorios latinoamericanos de referencia para el análisis de sustancias farmacológicamente activas y contaminantes en alimentos de origen animal.** (ARCAL CIV)

Coordinador: Orlando Lucas Aguirre (Servicio Nacional de Sanidad Agraria-SENASA)

RLA/5/056 Mejoramiento de granos en América Latina a través de mutaciones inducidas. (ARCAL CV)

Coordinadora: Luz Gómez Pando (Universidad Nacional Agraria La Molina-UNALM)

RLA/6/061 Capacitación y actualización de conocimiento en física médica. (ARCAL CVII)

Coordinadora: María Velásquez Campos (Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas-INEN)

RLA/6/062 Consolidación de banco de tejidos en América Latina y esterilización de injertos utilizando radiaciones. (ARCAL CVIII)

Coordinadora: Emma Castro Gamero (IPEN)

RLA/6/063 Mejoramiento del manejo de enfermedades cardíacas y de pacientes de cáncer mediante el fortalecimiento de técnicas de medicina nuclear en la región de América Latina y el Caribe. (ARCAL CIX)

Coordinador: Gustavo Sarria Bardales (Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas-INEN)

RLA/6/064 Utilización de técnicas nucleares para abordar la doble carga de la malnutrición en América Latina y el Caribe. (ARCAL XC)

Coordinador: José Gonzales Benavides (Instituto Especializado de Salud del Niño)

RLA/6/065 Fortalecimiento del aseguramiento de la calidad en medicina nuclear. (ARCAL CXI)

Coordinadora: Rosanna Morales Guzmán-Barrón (IPEN)

RLA/6/068 Mejoramiento del aseguramiento de la calidad en radioterapia en la región de América Latina. (ARCAL CXIV)

Coordinador: Gustavo Sarria Bardales (Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas-INEN)

RLA/7/013 Uso de técnicas nucleares para determinar la contaminación en el siglo XX, historia y fuentes recientes de contaminación en el pacífico y zonas costeras del atlántico y de los países de América Latina. (ARCAL CXV)

Coordinador: Julio Santiago Contreras (IPEN)

RLA/8/044 Establecimiento de un programa regional de armonización para la calificación y certificación de personal y de infraestructura usada en sistemas para pruebas no destructivas, estructuras y componentes. (ARCAL CXVII)

Coordinador: Regulo Visurraga Sosa (IPEN)

RLA/8/046 Establecimiento de control de calidad para los procesos de irradiación industrial. (ARCAL CXVIII)

Coordinador: Marco Linares Agüero (IPEN)

K. Misiones de Expertos

K.1 Expertos nacionales en misión

Nombre : Mario Mallaupoma
 Procedencia : IPEN (Perú)
 Tema : **Consultancy on the 5th Meeting of the International Steering Committee on Denial of Shipments of Radioactive Material**
 Lugar : Viena, Austria
 Fecha : 18-19.04.2011

Nombre : Mario Mallaupoma
 Procedencia : IPEN (Perú)
 Tema : **Consultor y Docente en Curso**

Regional sobre Transporte Seguro y los casos de Rechazos de Expediciones de Material Radiactivo

Lugar : Ciudad de Panamá, República de Panamá
 Fecha : 25-29 .07.2011

Nombre : Mario Mallaupoma
 Procedencia : IPEN (Perú)
 Tema : **Expositor en taller de la Red Latinoamericana de Educación en Tecnología Nuclear (LANENT)**

Lugar : Santiago de Chile, Chile
 Fecha : 17-20 .10.2011

Nombre : Mario Mallaupoma
 Procedencia : IPEN (Perú)
 Tema : **Consultor Técnico del OIEA en el Taller "The Management of Repository Development Programmes (MRDP)"**

Lugar : Viena, Austria
 Fecha : 13- 15 .12.2011

K.2 Expertos extranjeros en Perú

Fecha : 13- 15 .12.2011
 Nombre : Marcelo Madariaga (Argentina)
 Fecha : 10-28.01.2011
 Tema : **Mejora en la utilización del reactor RP-10**

Nombre : Dieter Novotny (Alemania)
 Fecha : 27-28.01.2011
Fabricación y comercialización de molibdeno-99

Nombre : Hans Roegler (Alemania)
 Fecha : 27-28.01.2011
Fabricación y comercialización de molibdeno-99

Nombre : Ericka Watson (EE. UU.)
 Fecha : 28.02-3.03.2011
Taller sobre legislación para reguladores

Nombre : Dyrk Greenhalgh (EE. UU.)
 Fecha : 28.02-3.03.2011
Taller sobre legislación para reguladores

Nombre : Joel Koppelaar (EE. UU.)
 Fecha : 28.02-3.03.2011
Taller sobre legislación para reguladores

Nombre : Víctor Bourel (Francia)
 Fecha : 28.02-11.03.2011
Dictado de Curso en Programa de Maestría

Nombre : Fred Morris (EE. UU.)
 Fecha : 10-11.02.2011
Regulaciones en el campo nuclear

Nombre : Jill Conrad (EE. UU.)
 Fecha : 10-11.02.2011
Regulaciones en el campo nuclear

Nombre : José Antonio Lozada (Venezuela)
 Fecha : 14-25.02.2011
Formulación de proyectos basados en el Marco Lógico

Nombre : Giovanna Lucio (Ecuador)
 Fecha : 14-25.02.2011
Formulación de proyectos basados en el Marco Lógico

Nombre : César Tate (Argentina)
 Fecha : 14-25.02.2011
Formulación de proyectos basados en el Marco Lógico

Nombre : Scott Purvis (EE. UU.)
 Fecha : 5-7.04.2011
Formulación de un plan integrado de apoyo a la seguridad física nuclear

Nombre : H. Abou Yehia (OIEA)
 Fecha : 13-17.06.2011
Misión integral seguridad del reactor RP-10

Nombre : David Winfield (Canadá)
 Fecha : 13-17.06.2011
Misión integral seguridad del reactor RP-10

Nombre : H. Mahmood (OIEA)
 Fecha : 13-17.06.2011
Misión integral seguridad del reactor RP-10

Nombre : M. Ciocanescu (Rumania)
 Fecha : 13-17.06.2011
Misión integral seguridad del reactor RP-10

Nombre : M. de Kock (República de Sudáfrica)
 Fecha : 13-17.06.2011
Misión integral seguridad del reactor RP-10

Nombre : Ericka Watson (EE. UU.)
 Fecha : 19-23.06.2011
Protección física de las fuentes radiactivas

Nombre : Linwood H. Levingston (EE. UU.)
 Fecha : 19-23.06.2011
Protección física de las fuentes radiactivas

Nombre : Michael Carr (EE. UU.)
 Fecha : 19-23.06.2011
Protección física de las fuentes radiactivas

Nombre : Rayman Sollychin (OIEA)
 Fecha : 20-24.06.2011
Taller regional de acreditación ISO 9000

Nombre : Peter Bode (Países Bajos)
 Fecha : 20-24.06.2011
Taller regional de acreditación ISO 9000

Nombre : Britt Marianna Maestroni (OIEA)
 Fecha : 27.06-8.07.2011
Curso regional sobre Quechers y LC-MS

Nombre : José Luis Tadeo (España)
 Fecha : 27.06-8.07.2011
Curso regional sobre Quechers y LC-MS

Nombre : Eddie A. Fonseca Rubi (Costa Rica)
 Fecha : 27.06-8.07.2011
Curso regional sobre Quechers y LC-MS

Nombre : Yukiya Amano (OIEA)
 Fecha : 27-29.06.2011
Visita oficial

Nombre : Rafael Mariano Grossi (OIEA)
 Fecha : 27-29.06.2011
Visita oficial

Nombre : Gook Hyung Lee (Corea del Sur)
 Fecha : 28.06.2011
Evaluación del programa bilateral Perú-Corea del Sur

Nombre : Hwang Boo-Gi (Corea del Sur)
 Fecha : 28.06.2011
Evaluación del programa bilateral Perú-Corea del Sur

Nombre : Moon Hai-Joo (Corea del Sur)
 Fecha : 28.06.2011

Evaluación del programa bilateral Perú-Corea del Sur

Nombre : Kim Jin-Woo (Corea del Sur)
 Fecha : 28.06.2011

Evaluación del programa bilateral Perú-Corea del Sur

Nombre : Jane Gerardo-Abaya (OIEA)
 Fecha : 22-26.08.2011

II Reunión de coordinación Proyecto RLA/5/051

Nombre : Belén Fernández Gonzáles (España)
 Fecha : 5-9.09.2011

CRC para operadores o inspectores de instalaciones médicas y de investigación

Nombre : Alfredo Lucio Biaggio (Argentina)
 Fecha : 5-9.09.2011

CRC para operadores o inspectores de instalaciones médicas y de investigación

Nombre : Rubemar Souza de Souza (Brasil)
 Fecha : 5-9.09.2011

CRC para operadores o inspectores de instalaciones médicas y de investigación

Nombre : Raymond F. Greenberg (EE. UU.)
 Fecha : 14-15.09.2011

Capacitación para inspectores en seguridad de fuentes radiactivas

Nombre : Michael Carr (EE. UU.)
 Fecha : 14-15.09.2011

Capacitación para inspectores en seguridad de fuentes radiactivas

Nombre : Linwood Livingston (EE. UU.)
 Fecha : 14-15.09.2011

Capacitación para inspectores en seguridad de fuentes radiactivas

Nombre : Dan Miller (EE. UU.)
 Fecha : 14-15.09.2011

Capacitación para inspectores en seguridad de fuentes radiactivas

Nombre : Glyn Davies (EE. UU.)
 Fecha : 14-17.10.2011

Apoyo de EE. UU. a programas de investigación en agricultura y camélidos

Nombre : Carmina Jiménez (OIEA)
 Fecha : 17-21.10.2011

Evaluación del programa de cooperación técnica OIEA

Nombre : Michael Stronsinsky (EE. UU.)
 Fecha : 27-28.10.2011

Evaluación proyectos de seguridad física y nuclear

Nombre : Juan Cárdenas Herrera (Cuba)
 Fecha : 14-18.11.2011

Curso nacional de respuesta a emergencias radiológicas

Nombre : Nelson Jose de Lima Valverde (Brasil)
 Fecha : 14-18.11.2011

Curso nacional de respuesta a emergencias radiológicas

Nombre : Alba Guillén (Cuba)
 Fecha : 28.11-2.12.2011

Comité Directivo del Foro Iberoamericano de Organismos Reguladores

Nombre : Elsa Fernández (Argentina)
 Fecha : 28.11–2.12.2011
Comité Directivo del Foro Iberoamericano de Organismos Reguladores

Nombre : Norberto Ciallellia (Argentina)
 Fecha : 28.11–2.12.2011
Comité Directivo del Foro Iberoamericano de Organismos Reguladores

Nombre : María Elena Marechal (Brasil)
 Fecha : 28.11–2.12.2011
Comité Directivo del Foro Iberoamericano de Organismos Reguladores

Nombre : Beatriz Souto (República Oriental del Uruguay)
 Fecha : 28.11–2.12.2011
Comité Directivo del Foro Iberoamericano de Organismos Reguladores

Nombre : Mauricio Lichtemberg (República de Chile)
 Fecha : 28.11–2.12.2011
Comité Directivo del Foro Iberoamericano de Organismos Reguladores

Nombre : Jaime Aguirre (Estados Unidos Mexicanos)
 Fecha : 28.11–2.12.2011
Comité Directivo del Foro Iberoamericano de Organismos Reguladores

Nombre : Alfredo de los Reyes (España)
 Fecha : 28.11–2.12.2011
Comité Directivo del Foro Iberoamericano de Organismos Reguladores

Nombre : Pedro Ortiz (OIEA)
 Fecha : 28.11–2.12.2011
Comité Directivo del Foro Iberoamericano de Organismos Reguladores

Nombre : Jan Wondergem (OIEA)
 Fecha : 28.11–2.12.2011
Seminario implementación sistema de gestión de calidad en banco tejidos

Nombre : Rafael Villalba (España)
 Fecha : 28.11–2.12.2011
Seminario implementación sistema de gestión de calidad en banco tejidos

Nombre : Pablo Adelfang (OIEA)
 Fecha : 12–14.12.2011
Asesoría para la compra EE.CC.

Nombre : Eduardo Villarino (Argentina)
 Fecha : 12–14.12.2011
Asesoría para la compra EE.CC.

L. Proyectos de investigación concursados

Investigador : Eduardo H. Montoya Rossi
 Proyecto : **Diseño y desarrollo de un medidor autónomo de bajo costo para monitoreo remoto de metales pesados y calidad química del agua en ríos y lagos.**

Fuente : Proyectos de Investigación en Ciencia y Tecnología (PROCYT)
 Monto: S/. 30 000

Investigador : José Luis Solís Véliz
 Proyecto : **Síntesis e impregnación de nanopartículas basadas en TiO₂ sobre carbón activado usando sonoquímica para la remoción de arsénico en aguas contaminadas.**

Fuente : Proyectos de Investigación en Ciencia y Tecnología (PROCYT). Accesitario.

Investigador : Alcides Agustín López Milla
 Proyecto : **Disminución de los gases de efecto invernadero mediante el empleo de celdas solares económicas a base de nanopartículas sensibilizadas.**

Fuente : Proyectos de Investigación en Ciencia y Tecnología (PROCYT).
 Monto: S/. 30 000

Investigador : Javier Jorge Gago Campusano
 Proyecto : **Desarrollo de un material compuesto elaborado a base de residuos de madera nativa y polietileno reciclado que coadyuve a mitigar la contaminación ambiental.**

Fuente : Proyectos de Investigación en Ciencia y Tecnología (PROCYT).
 Monto: S/. 30 000

Índice de Autores

A

Abeyta Cristy	105
Acevedo Álvaro	3
Agapito Juan	91
Angelats Luis	25
Arias Pablo	57
Arrieta Rolando	39,50,62,99,161
Asmat David	25

B

Baltuano Oscar	139
----------------	-----

C

Cáceres Germán	115
Cano Roque	87
Condori Jorge	69,72,76
Corahua Andrés	130

D

Díaz Máximo	91
-------------	----

E

Estrada Juan	25
--------------	----

F

Félix José	62
------------	----

G

Gago Javier	15,44,147
Gonzáles Susana	139
Greenberg Jr. Raymond	105

H

Hernández Yuri	139,147
Huatay Luis	147

L

León Kety	15,147
López Alcides	15,25,31,39,44,147

M

Maghella Gerardo	72,76
Maguiña José	69,72
Mallaupoma Mario	105,125,130,155,168,173
Mamani Enoc	69,72,76,79
Martínez Jorge	139
Martínez Vanessa	31
Matzke Jim	105
Medrano Jerry	115
Mendoza Raquel	87
Minaya Rusber	25
Miranda Jesús	130
Montes Angel	91
Morales Rosanna	87
Munive Marco	139

N

Natanael Bruno	173
----------------	-----

O

Olivera Paula	3,7
---------------	-----

P

Páez José	57
Paniagua Rolinson	115

Q

Quilla Rufino	91
Quispe Guido	7

R

Ramos Fernando	99
Ramos Víctor	147
Reátegui Warren	20
Rodríguez Jorge	91

S

Santiago Julio	15,147
Santivañez Rodion	50
Schwela Ulric	155
Solís José	20,31,139,147

T

Ticllacuri Miguel 110,120

U

Urcia Agustín 39

V

Valencia Jacinto 69,76,79
Vela Mariano 57,62,99,161
Vetter Luisa 3

Y

Yana Edgar 87

Z

Zapata Alejandro 99,130



IPEN
INSTITUTO PERUANO
DE ENERGÍA NUCLEAR



Informe Científico Tecnológico 2011 por Alcides López, Antonio Prado, Juan Agapito, Eduardo Montoya, Eds. se distribuye bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).