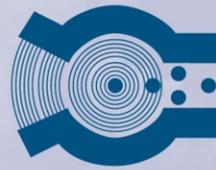


ISSN 1684-1662 (Impresa)
ISSN 2225-2029 (En línea)



IPEN
INSTITUTO PERUANO
DE ENERGÍA NUCLEAR

Informe Científico Tecnológico Volumen 12 (2012)

FÍSICA Y QUÍMICA

CIENCIA DE LOS MATERIALES

INGENIERIA NUCLEAR

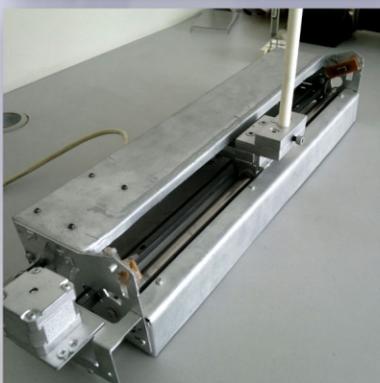
**APLICACIONES EN MINERÍA, INDUSTRIA
Y MEDIOAMBIENTE**

APLICACIONES EN MEDICINA Y BIOLOGÍA

**SEGURIDAD NUCLEAR Y PROTECCIÓN
RADIOLÓGICA**

INSTRUMENTACIÓN CIENTÍFICA

ASPECTOS GENERALES



Instituto Peruano de Energía Nuclear

INFORME CIENTÍFICO TECNOLÓGICO
Volumen 12
2012

INSTITUTO PERUANO DE ENERGÍA NUCLEAR – IPEN

Presidente: Susana Margarita Petrick Casagrande

Director Ejecutivo: Carlos Enrique Gayoso Caballero

Comité Editor: Eduardo Montoya Rossi
Antonio Prado Cuba
Agustín Zuñiga Gamarra

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° 2013-20878

Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN)

Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

Lima, enero 2014

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. Volumen 12 (2012)**” del Instituto Peruano de Energía Nuclear.

Los trabajos publicados en el Informe Científico Tecnológico. Volumen 12 (2012) 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 exclusiva responsabilidad.

Impreso en Lima - Perú

Enero 2014



Informe Científico Tecnológico. Volumen 12 (2012) por Instituto Peruano de Energía Nuclear se distribuye bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/). Permisos que vayan más allá de lo cubierto por esta licencia pueden encontrarse en <http://www.ipen.gob.pe>.

CONTENIDO

| | Página |
|---------------------------|---------------|
| EDITORIAL | V |
| ÍNDICE DE TRABAJOS | VII |
| ANEXOS | 175 |
| ÍNDICE DE AUTORES | 201 |

Editorial

Hace más de tres décadas el Instituto Peruano de Energía Nuclear desarrolla aplicaciones e investigación en diversos campos temáticos relacionados con la tecnología nuclear, los materiales, la medicina, la instrumentación electrónica, las aplicaciones en medioambiente, arqueología y agroindustria, así como en física, química y biología. Los resultados de los trabajos desarrollados en el IPEN se publican ininterrumpidamente, desde hace más de una década, en el Informe Científico Tecnológico, constituido en la publicación emblemática del IPEN, con el que no solo se contribuye a la difusión del conocimiento científico generado por los grupos de trabajo, sino que además se apoya a la gestión y preservación del conocimiento.

En la edición 2012 del Informe Científico Tecnológico del Instituto Peruano de Energía Nuclear, destacamos los artículos sobre estudios de las consecuencias erosivas de la emisión de neutrones en las reacciones de fisión nuclear, la evaluación de la contaminación atmosférica en Lima y el Callao, los resultados de la caracterización de los manantiales en la Costa Verde, así como la metodología desarrollada para identificar la procedencia de cerámicos utilizando técnicas nucleares no destructivas. En el campo de la ciencia de los materiales presentamos una alternativa de uso industrial de residuos de maderas nativas mediante la elaboración de compuestos y de vidrio reciclado en la fabricación de ladrillos, mientras que en la búsqueda de soluciones al problema energético reportamos sobre la obtención de recubrimientos nanoestructurados para aplicación en celdas solares.

En el campo de las aplicaciones nucleares reportamos los resultados que obtuvimos de los estudios emprendidos sobre la irradiación de productos de agro exportación, productos biomédicos y vitaminas; así también sobre la preparación de patrones para el estudio de suelos y acuíferos mediante hidrología isotópica. En los campos la biología y la medicina se incluyen los trabajos relacionados con biomarcadores para prevención de enfermedades en auquénidos, caracterización molecular de toxinas relacionadas con enfermedades avícolas y síntesis de un nuevo compuesto marcado para uso en diagnósticos médicos. Estudiamos y reportamos sobre la interacción de las proteínas en las células como respuesta a la radiación ionizante, el manejo de la gammagrafía ósea en niños y adolescentes con cáncer, además del diseño para la fabricación de generadores portátiles 99-tecnecio con el objetivo de cubrir la demanda de los centros de medicina nuclear de las zonas alejadas, igualmente presentamos varios estudios de desarrollos y diseños de instrumentación científica convencional y nuclear.

En la ciencia, la tecnología y la investigación, como en toda actividad humana, es importante la validación social del trabajo realizado. Es por ello que en el IPEN, con visión de futuro, la prioridad es resolver los problemas que aquejan a la población, aportando en la mejora de las condiciones de vida de los segmentos más vulnerables. Ese es nuestro norte.

Lima, enero de 2014

Susana Petrick Casagrande
Presidenta del IPEN

Índice de Trabajos

| | Página |
|--|--------|
| 1. Ruptura de parejas y efectos coulombianos en la fisión fría de las reacciones $^{233}\text{U}(\text{n}_{\text{th}}, \text{f})$, $^{235}\text{U}(\text{n}_{\text{th}}, \text{f})$ y $^{239}\text{Pu}(\text{n}_{\text{th}}, \text{f})$ Modesto Montoya | 3 |
| 2. Estudio de procedencia de la cerámica del sitio arqueológico La Real, utilizando análisis por activación neutrónica y estadística multivariada Patricia Bedregal, Marco Ubillús, Pablo Mendoza, Eduardo Montoya | 13 |
| 3. Síntesis y caracterización del dietilentriamino pentaacetato cálcico trisódico (DTPA - CaNa_3) Anita Robles, Bertha Ramos, María Benites, José Caballero, Aldo Guzmán | 17 |
| 4. Caracterización de celdas solares económicas basados en nanopartículas sensibilizadas de TiO_2 Alcides López, Mónica Gómez, José Solís, Clemente Luyo, Alex Naupa, Vanessa Martínez, María Galicia, Víctor Cahuana | 23 |
| 5. Origen de los manantiales de la Costa Verde Rubén Rojas, Modesto Montoya, Enoc Mamani, Eduardo Montoya, Óscar Baltuano, José Maguiña, Patricia Bedregal, Lucy Coria, Alcides Guerra, Santiago Justo, Tania Churasacari | 31 |
| 6. Efecto de la radiación en las características microbiológicas, físico químicas y evaluación sensorial de la Cúrcuma (<i>Curcuma longa</i>) Johnny Vargas, Mónica Vivanco, Emma Castro | 37 |
| 7. Evaluación de la contaminación atmosférica en puntos críticos de la ciudad de Lima y Callao, utilizando <i>Tillandsia capillaris</i> como biomonitor Patricia Bedregal, Marco Ubillús, Jazmín Hurtado, Pablo Mendoza | 41 |
| 8. Protein Interactors of the cellular tumor antigen p53 with response to ionizing radiation Silvia Vásquez, Roberto Pineda, Mohanalatha Chandrasekharan, Prashanth Suravajhala | 49 |
| 9. Identificación de biomarcadores asociados con la infección de <i>Mycobacterium bovis</i> y la respuesta inmunológica protectora a la tuberculosis en alpacas Juan Agapito, Rufino Quilla, Silvia Capristano, Pilar García, Angel Montes, Heinner Guio | 51 |

| | |
|--|------------|
| 10. Desarrollo de medidor autónomo de bajo costo para la determinación de calidad química del agua | 59 |
| Oscar Baltuano, Adolfo La Rosa Toro, Lucy Coria, Américo Cjuno, Julio Santiago, José Morales, Yuri Hernández, Eduardo Montoya | |
| 11. Detección y caracterización molecular de <i>Escherichia coli</i> productor de Toxina Shiga en sistemas de producción aviar | 65 |
| Jorge Rodríguez, Ysabel Koga, Arnaldo Alvarado, Katherine Porturas, Juan Agapito, Robert Tinoco | |
| 12. Actualización del sistema de control electrónico del intercambiador de muestras QUINA a la versión 5.2 | 71 |
| Óscar Baltuano, Pablo Mendoza, Patricia Bedregal, Eduardo Montoya, Javier Gago, Yuri Hernández | |
| 13. Determinación de uranio empobrecido por espectrometría gamma para pruebas de hermeticidad en equipos de gammagrafía industrial | 77 |
| José Osoreo | |
| 14. Espectrómetro de bajo costo y alta performance para radiación visible | 83 |
| Eduardo Montoya, Oscar Baltuano, Aurelio Arbildo | |
| 15. Preparación y caracterización de compuestos de Capirona-Polipropileno y Capirona-Polietileno de alta densidad | 91 |
| Javier Gago, Víctor Ramos, Kety León, José Solís, Moisés Acevedo, Alcides López | |
| 16. Caracterización de una biohidroxiapatita tratada con radiación gamma para aplicaciones biomédicas | 99 |
| Emma Castro, Alcides López, Bertha Ramos, Johnny Vargas, Mónica Vivanco, Paula Olivera | |
| 17. Utilidad e impacto en el manejo clínico de la gammagrafía ósea en niños y adolescentes con cáncer | 107 |
| Rosanna Morales, Roque Cano, Clara Pérez, Rowena Hammond, Gustavo Luyo, Silvia Mori | |
| 18. Efecto reforzante del vidrio reciclado en la elaboración de ladrillos artesanales | 111 |
| Rocío Tamayo, Rivalino Guzmán, Alcides López, Elisban Sacari | |
| 19. Desarrollo de un software para la calibración de monitores de radiación en un Laboratorio Secundario de Calibraciones Dosimétricas (LSCD) | 117 |
| Enrique Rojas, Tony Benavente, Elder Celedonio, Edith López | |
| 20. Sistema automático de posicionamiento de precisión para escaneo lineal y caracterización de haces de radiación | 121 |
| Oscar Baltuano, Enrique Rojas, Wilfredo Pumahuacre | |
| 21. Incidentes operacionales del reactor RP-10 durante el año 2011 y su caracterización de acuerdo con la escala INES | 125 |
| Rolando Arrieta, Mariano Vela | |
| 22. Modernización del sistema de contaje beta del equipo LAS-3A | 131 |
| Oscar Baltuano, Ricardo Ruíz, José Osoreo, Yuri Hernández | |
| 23. Galvanostato para preparación de muestras por electrodeposición | 137 |
| Oscar Baltuano, Eduardo Montoya, Yuri Hernández | |
| 24. Calibración de cámaras gamma para el monitoreo individual de trabajadores ocupacionalmente expuestos a I-131 | 141 |
| Susana Gonzáles, Luis Zapata | |

| | |
|---|------------|
| 25. Evaluación estadística de las variables meteorológicas en el área de influencia del Centro Nuclear RACSO | 145 |
| José Osores, Aurelio Anaya | |
| 26. Preparación de muestras patrones de O-18 y H-2 | 151 |
| Gerardo Maghella, Enoc Mamani, José Maguiña, Jorge Condori | |
| 27. Diseño y definición de parámetros de un sistema portátil para la obtención del radioisótopo ^{99m}Tc (GENVI) | 155 |
| Javier Gago, Oscar Baltuano, Pablo Mendoza, Rolando Arrieta, Yuri Hernández, Eduardo Montoya | |
| 28. Efectos de la radiación gamma sobre la vitamina C en solución de agua, jugo de naranja y cristales secos | 161 |
| Johnny Vargas | |
| 29. Desarrollo de un potenciostato analítico de bajo costo y altas prestaciones | 165 |
| Oscar Baltuano, Yuri Hernández, Eduardo Montoya | |
| 30. Monitoreo radiológico ambiental debido al accidente nuclear de Fukushima | 171 |
| José Osores, Raúl Jara | |

Ruptura de parejas y efectos coulombianos en la fisión fría de las reacciones

$^{233}\text{U}(\mathbf{n}_{\text{th}}, \mathbf{f})$, $^{235}\text{U}(\mathbf{n}_{\text{th}}, \mathbf{f})$ y $^{239}\text{Pu}(\mathbf{n}_{\text{th}}, \mathbf{f})$

Modesto Montoya*

Instituto Peruano de Energía Nuclear, Canadá 1470, San Borja, Lima, Perú
Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Ingeniería, Av. Túpac Amaru 210, Rímac, Lima, Perú

Resumen

Se muestra las consecuencias erosivas de la emisión de neutrones sobre la distribución de número de masa (A) y energía cinética (E) de los fragmentos de fisión inducida por neutrones térmicos de ^{233}U y ^{235}U , respectivamente. Además se muestra los efectos de la ruptura de parejas de nucleones, y de la interacción electrostática entre fragmentos en el punto de escisión, sobre la distribución de masa y energía cinética en la región fría de la fisión inducida por neutrones térmicos de ^{233}U , ^{235}U y ^{239}Pu , respectivamente. La emisión de neutrones erosiona los efectos par-impar sobre la distribución de número de neutrones (δN) de los fragmentos, definido como la diferencia de los rendimientos relativos de los fragmentos con número par (N_p) y número impar (N_o) de neutrones, respectivamente. Para evitar los efectos de la emisión de neutrones, se estudia la fisión fría, i.e. eventos de fisión sin emisión de neutrones. Para el estudio, se selecciona ventanas de energía cinética total (TE) cercanas al valor máximo de la energía disponible de la reacción, las que corresponden a bajos valores de energía de excitación total. Contrario a lo que se esperaba, en estas ventanas de elevada energía cinética se observa un débil efecto par-impar sobre la distribución de masa de fragmentos. Sin embargo, este resultado es compatible con un alto efecto par-impar sobre la distribución de cargas o sobre la distribución del número de neutrones. Por otro lado, en la fisión fría se observa que el valor mínimo de la energía de excitación total (X) que alcanzan los fragmentos, en función de la masa, está correlacionada con el “exceso de energía electrostática” definido como la diferencia entre la energía de interacción electrostática entre los fragmentos complementarios (asumidos esféricos) en el punto de escisión y el valor máximo de la energía disponible (Q). Esta correlación da cuenta de las fluctuaciones de la energía cinética máxima en función de la masa. Este efecto crece con la asimetría de las fragmentaciones de carga. En suma, los datos experimentales sobre la fisión fría sugieren que las configuraciones de escisión exploran todas las posibilidades que permite la energía disponible para la fisión.

Descriptor: Uranio-233, Uranio-235, Plutonio-239, Fisión fría

Pair breaking and coulomb effects in cold fission reactions from

$^{233}\text{U}(\mathbf{n}_{\text{th}}, \mathbf{f})$, $^{235}\text{U}(\mathbf{n}_{\text{th}}, \mathbf{f})$ y $^{239}\text{Pu}(\mathbf{n}_{\text{th}}, \mathbf{f})$

Abstract

This paper shows the erosive consequences of neutron emission on the mass and kinetic energy distribution associated to fragments from neutron thermal induced fission of ^{233}U , ^{235}U . In addition, it is shown the effects of pair breaking and Coulomb interaction between fragments at scission on the distribution of mass and kinetic energy in the cold region of the thermal induced fission of ^{233}U , ^{235}U and ^{239}Pu , respectively. The fission process ends at the scission point, when the complementary fragments 1 and 2, having mass numbers A_1 and A_2 , respectively, are formed. Those fragments go away from each other and they acquire kinetic energies E_1 and E_2 , respectively. However, before they reach detectors, the fragments emit n_1 and n_2 neutrons. Thus, the final detected fragments have mass numbers $m_1 (= A_1 - n_1)$ and $m_2 (= A_2 - n_2)$ and kinetic energies $\epsilon_1 (= E_1 [1 - n_1/A_1])$ and $\epsilon_2 (= E_2 [1 - n_2/A_2])$, respectively (In the case that only one fragment is detected, the subscripts are omitted). As a result, in regions where the average of E , as a function of A , varies abruptly, the distribution of ϵ , will be wider than it was for the distribution of E as a function of A . Furthermore, the emission of neutrons erodes odd-even effects on the distribution of neutron number (δN), defined as the difference between relative yields associated to fragments with even neutron number (N_p) and odd neutron number (N_o), respectively. Neutron emission, consequently,

* Correspondencia autor: mmontoya@ipen.gob.pe

also erodes the odd-even effect on the mass number distribution (σ_A) associated to fission fragments. In order to avoid these neutron emission effects, cold fission, i.e. fission with no neutron emission, is studied. For such study one selects windows of total kinetic energy (TE) near the maximum available energy (Q), corresponding to the minimal total excitation energy (X). Contrary to expected, in that low excitation energy region, a weak even-odd effect on mass number distribution is observed. This result is compatible with a strong odd-even effect on proton or neutron number distributions. Moreover, in cold fission, X as a function of A is correlated with the "Coulomb energy excess", which is defined as the difference between the electrostatic energy interaction in the scission point and the reaction Q -value. This effect is responsible of the fluctuations in the maximum kinetic energy as a function of the mass number. The Coulomb effects increase with the asymmetry of the charge fragmentations. In sum, the experimental data on cold fission suggest that scission configurations explore all the possibilities permitted by the available energy for fission.

Keywords: Uranium-233, Uranium-235, Plutonium-239, Cold fission

1. Introducción

Entre las propiedades más estudiadas de la fisión nuclear está la distribución de masa, carga y energía cinética de los fragmentos. Sin embargo R. Brissot *et al.*[1] mostraron que la emisión de neutrones por los fragmentos, antes de llegar a los detectores genera una estructura en la distribución de energía cinética y de masa de los fragmentos finales, inexistente en la distribución correspondiente a los fragmentos primarios. La emisión de neutrones también erosiona los efectos par-impar sobre la distribución del número de neutrones y, en consecuencia, sobre la distribución de masa de los fragmentos. Por estas razones se empezó a estudiar la fisión fría, correspondiente a regiones de elevada energía cinética en las que los fragmentos no emiten neutrones. En este trabajo se interpreta los resultados sobre distribuciones de masa y energía cinética, así como los efectos par-impar en las distribuciones de masa y carga en regiones de fisión fría en las reacciones $^{233}\text{U}(n_{th}, f)$, $^{235}\text{U}(n_{th}, f)$ Y $^{239}\text{Pu}(n_{th}, f)$, respectivamente.

1.1. Efectos de la emisión de neutrones en la medición de distribuciones de masa y energía

Supongamos que los fragmentos primarios complementarios de fisión tienen las masas A_1 y A_2 , las cargas Z_1 y Z_2 y los valores de energía cinética E_1 y E_2 , respectivamente. Debido a la conservación de cantidad de movimiento lineal, entre estos valores existe la siguiente relación:

$$A_1 E_1 = A_2 E_2,$$

Luego de la emisión de neutrones, los

fragmentos complementarios 1 y 2 terminarán con los números másicos

$$m_1 = A_1 - n_1$$

y

$$m_2 = A_2 - n_2,$$

Donde n_1, n_2 son los números de neutrones emitidos por los fragmentos 1 y 2, respectivamente. Los correspondientes valores de la energía cinética final de los fragmentos serán:

$$e_1 = E_1 \left(1 - \frac{n_1}{A_1}\right),$$

y

$$e_2 = E_2 \left(1 - \frac{n_2}{A_2}\right).$$

Cuando solo se detecta uno de los fragmentos, que es lo que ocurre en el espectrómetro Lohengrin del ILL de Grenoble[1], se obvia el uso de subíndices. Para un determinado valor de la masa primaria (A) de los fragmentos, se tiene una distribución de energía cinética (E), caracterizada por un valor promedio $\bar{E}(A)$ y una desviación estándar $\sigma_E(A)$. En forma similar, la distribución de los valores de energía cinética en función de la masa de los fragmentos, después de la emisión de neutrones, es definida por el valor promedio $\bar{E}(m)$ y la desviación estándar $\sigma_E(m)$.

R. Brissot *et al.* midieron los valores de $\bar{E}(m)$ y $\sigma_E(m)$ para $^{235}\text{U}(n_{th}, f)$. Ellos usaron el espectrómetro Lohengrin en el reactor de alto flujo HFR del Instituto Laue Langevin (ILL) de Grenoble. La curva $\sigma_E(m)$ presentó un ensanchamiento para la masa alrededor de

$m = 110$, tal como había resultado en una simulación Monte Carlo realizada antes de que se llevara a cabo el experimento. En esta simulación se mostró que el ensanchamiento en la distribución de energía cinética es efecto de la emisión de neutrones. Para cada valor de m , la distribución de \bar{E} es resultado de la super-posición de distribuciones de energía cinética correspondientes a fragmentos con varios valores de A , mayores o iguales que m [1].

En la región de m entre 106 y 112, el valor de \bar{E} cae abruptamente con el aumento m , alrededor de 4 MeV por unidad atómica de masa. Supongamos que el comportamiento para \bar{E} es similar al de \bar{e} y que $\sigma_E(A)$ es 5MeV para valores de A entre 106 y 112. Entonces, la energía cinética de los fragmentos con $A = 112$ es, en promedio, 8 MeV menor que la energía cinética de los fragmentos con $A = 110$. Por otro lado, los fragmentos con $A = 110$ que no emiten neutrones tienen valores altos de \bar{E} en su distribución primaria; y los fragmentos con $A = 112$ que emiten 2 neutrones tienen valores bajos de \bar{E} en su distribución primaria, cuyo promedio ya es 8 MeV menor que el promedio de \bar{E} para los fragmentos con $A = 110$. Ambos conjuntos de fragmentos, con masas iniciales 110 y 112, respectivamente, con valores de \bar{E} con diferencia en promedio de por lo menos 8 MeV, llegan con $m = 110$. La superposición de estos valores \bar{E} en la distribución para $m = 110$ contribuye con el ensanchamiento de $\sigma_E(m)$ para $m = 110$.

D. Belhafaf *et al.* [2], repitiendo el experimento sobre la reacción $^{235}\text{U}(n_{\text{th}}, f)$ de R. Brissot *et al.* [1], encontraron un ensanchamiento de la distribución de \bar{e} en torno $m = 126$. Para la reacción $^{233}\text{U}(n_{\text{th}}, f)$, estos autores encontraron un ensanchamiento de la distribución de \bar{e} en torno a $m = 124$. Las simulaciones que hicieron no reprodujeron esos resultados experimentales [2]. Por otro lado, H. Faust *et al.*[3], usando modelos teóricos para la dinámica de la fisión, calcularon la distribución de \bar{E} en función de A para la fisión del ^{233}U , pero no lo hicieron en torno a $A = 124$. Así, los

resultados experimentales de Belhafaf *et al.* No fueron confrontados con los cálculos teóricos de esos autores.

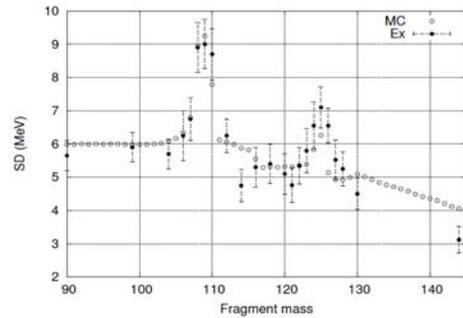


Figura 1. Resultados experimentales de Brissot *et al.* [1] y de simulación Monte Carlo [4 y 5] sobre desviación estándar de la distribución de energía cinética en función de la masa de los fragmentos de la reacción $^{235}\text{U}(n_{\text{th}}, f)$. Ver texto.

Los mencionados resultados experimentales D. Belhafaf fueron reproducidos por la simulación Monte Carlo de M. Montoya *et al.* [4,5], quienes mostraron que los mencionados ensanchamientos en la distribución de \bar{e} son generados por la superposición de distribuciones de los valores de \bar{E} de fragmentos con valores de A igual o mayores que m . Por ejemplo, en el caso de $^{235}\text{U}(n_{\text{th}}, f)$, el valor de \bar{e} decrece de 88 MeV para $m = 125$, a 84 MeV para $m = 126$, cuando la tendencia en esta región es de crecimiento de \bar{e} en función de m [2]. Ver Figura 1. En otras palabras, entre las masas finales 125 y 126, hay una variación abrupta de \bar{e} , en sentido contrario a la tendencia en el entorno de esas masas. Es razonable suponer que hay también una variación similar de \bar{E} en un intervalo en torno a la masa primaria A en la región de masas vecinas mayores que 126. La superposición de distribuciones de \bar{E} correspondientes a masas primarias igual o mayores que 126, con significativamente diferentes promedios, contribuye con el ensanchamiento de la distribución de \bar{e} para $m = 126$.

1.2. Emisión de neutrones y efectos par-impar en la fisión fría

El efecto par-impar en la distribución de masas de los fragmentos (\bar{A}) está definido por la siguiente relación:

$$\delta A = \frac{Y_{A_p} - Y_{A_i}}{Y_{A_p} + Y_{A_i}}$$

Donde Y_{A_p} e Y_{A_i} son los rendimientos fragmentos con masas par e impar, respectivamente.

En forma similar, se define el efecto par-impar en la distribución del número de neutrones (δN) y en la de protones (δZ), respectivamente.

Entre otras consecuencias, la emisión de neutrones erosiona el efecto par-impar sobre la distribución del número de neutrones y, por lo tanto, erosiona también el efecto par-impar sobre la distribución de masa de los fragmentos de fisión.

Los efectos par-impar en la distribución de carga de los fragmentos de la fisión a baja energía, previamente encontrados por A.L. Wahl *et al.* [6] y G. Mariolopoulos *et al.* [7], sugerían que, para los ventanas de valores altos de energía cinética, donde no hay emisión de neutrones, se tendría efectos par-impar más evidentes en la distribución de masa de los fragmentos.

Para estudiar las distribuciones de masa no perturbadas por la emisión de neutrones, C. Signarbieux *et al.* escogieron ventanas de alto valor de energía cinética de los fragmentos, en las reacciones $^{233}\text{U}(n_{th}, f)$, $^{235}\text{U}(n_{th}, f)$ y $^{239}\text{Pu}(n_{th}, f)$. El número de eventos analizados fueron 1.5×10^6 , 3×10^6 y 3.2×10^6 , respectivamente. Estos autores usaron el método de la diferencia de tiempo de vuelo de los fragmentos para llegar a detectores sólidos, con los que se mide la energía cinética. La separación de masas con el método de tiempo de vuelo de los fragmentos fue la prueba de que no hubo emisión de neutrones. El experimento se realizó en el reactor HFR del ILL de Grenoble [8,9].

En esta región de fisión fría no se encontraron efectos par-impar tan evidentes como se esperaba en la distribución de masa para ventanas de altos valores de energía cinética de los fragmentos, salvo para valores cercanos al valor máximo de la energía cinética en función de la masa de los fragmentos.

Vamos a mostrar que la ruptura de parejas de nucleones no implica ausencia de efectos par-impar en la distribución de protones o de neutrones. Para cada masa A , definamos como Z_0 , la carga correspondiente a las fragmentaciones con el mayor valor de energía disponible (Q). Supongamos que se produce ruptura de parejas de nucleones, pero que los fragmentos que alcanzan los valores máximos de energía cinética son los que tienen las cargas Z_0 .

Para la reacción $^{233}\text{U}(n_{th}, f)$, en la ventana de energía cinética de fragmento liviano E entre 113.5 y 114.5 MeV, se tiene la distribución de masa mostrada en la Figura 2 [9], de la que se calcula $\delta A = 32.18\%$, mientras que Clerc *et al.*[10], para $E = 114.1$ MeV, obtuvieron la distribución de masa mostrada en la Figura 3, de la que se calcula $\delta A = 30.14\%$. Si asumimos que las cargas corresponden a Z_0 , entonces se tendrá $\delta Z = 66.6\%$ y $\delta N = 33.3\%$. Este resultado es coherente con la proyección de los valores obtenidos por U. Quade *et al.*[11] para ventanas de menor energía cinética, tal como se muestran en las Figuras 4 y 5.

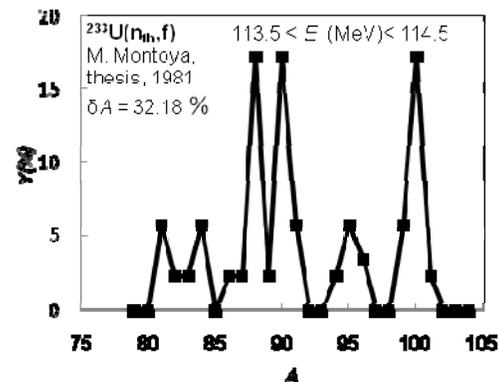


Figura 2. Distribución de masa en la ventana $113.5 < E < 114.5$ MeV en la reacción $^{233}\text{U}(n_{th}, f)$. Tomada de la Ref. 9. Ver texto. De esta figura calculamos $\delta A = 32.18\%$. Ver texto.

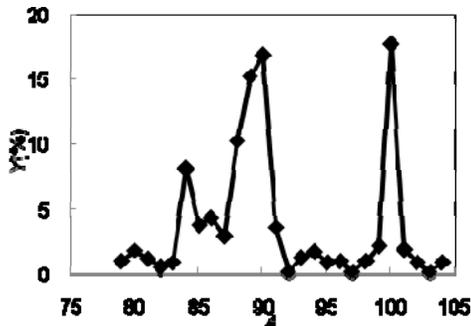


Figura 3. Distribución de masa en la ventana $E = 114.1$ MeV para la fisión fría en la reacción $^{233}\text{U}(n_{th}, f)$. Tomada de la Ref. 10. De esta figura calculamos $\delta A = 30.14\%$. Ver texto.

Si tomamos los fragmentos correspondientes a valores de energía cinética total (TE) mayores que 204 MeV, solo sobrevive el ^{104}Mo ($Z = 42, N = 62$) [9]; en cuyo caso $\delta A = 1$.

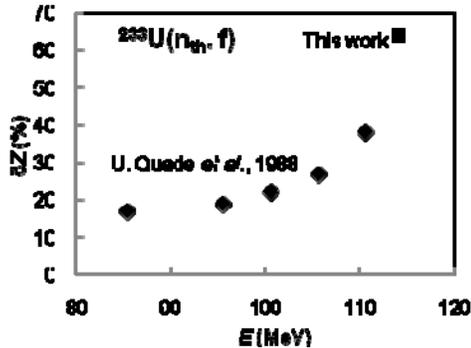


Figura 4. Efectos par-impar en la distribución de protones en la reacción $^{233}\text{U}(n_{th}, f)$ en función de la energía cinética E . Los valores son tomados de la Ref. 11, excepto el más elevado que corresponde a este trabajo. Ver texto.

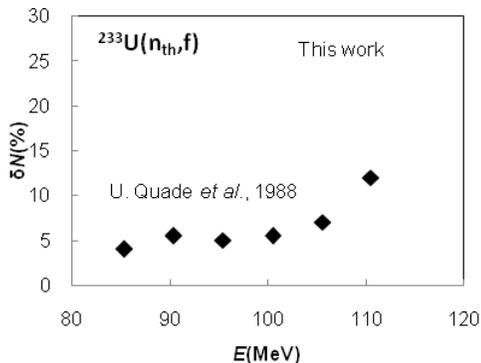


Figura 5. Efectos par-impar en la distribución de neutrones en la reacción $^{233}\text{U}(n_{th}, f)$ en función de la energía cinética E . Los valores son tomados de la Ref. 11, excepto el más elevado que corresponde a este trabajo. Ver texto.

Para la reacción $^{235}\text{U}(n_{th}, f)$, en la ventana E

entre 114.5 y 113.5 MeV, se tiene la distribución de masas mostrada en la Figura 6, de la que se calcula $\delta A = 15.3\%$. Para $E = 113.7$ MeV, W. Lang *et al.* obtuvieron la distribución de masas mostrada en la Figura 7, de la que se calcula $\delta A = 23.82\%$. Para $E = 108$ MeV, W. Langet *et al.* Obtienen $\delta A = 0$, $\delta Z = 35\%$ y $\delta N = 8\%$ [12]. Si asumimos que las cargas corresponden a Z_0 , entonces se tendrá $\delta Z = 66.6\%$ y $\delta N = 33.3\%$, valores coherentes con la proyección de los valores obtenidos por W. Lang *et al.* para ventanas de menores valores de energía cinética. Ver Figuras 8 y 9.

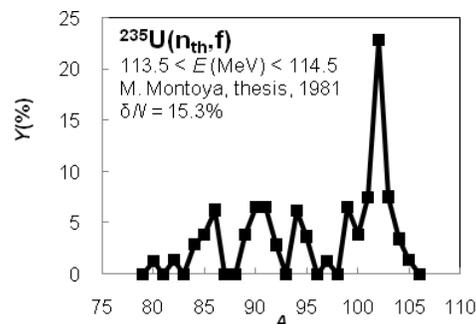


Figura 6. Distribución de masa en la ventana $113.5 < E < 114.5$ MeV en la reacción $^{235}\text{U}(n_{th}, f)$. Tomada de la Ref. 9. De esta figura calculamos $\delta A = 15.3\%$. Ver texto.

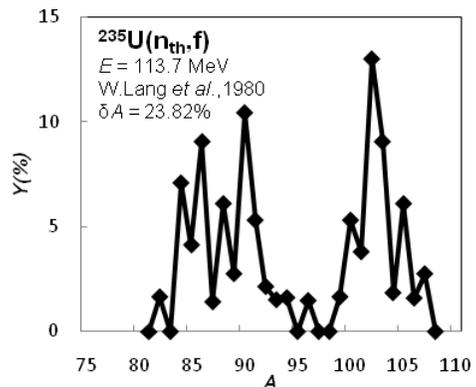


Figura 7. Distribución de masa para $E = 113.7$ MeV en la reacción $^{235}\text{U}(n_{th}, f)$. Tomada de la Ref. 12. De esta figura calculamos $\delta A = 23.82\%$. Ver texto.

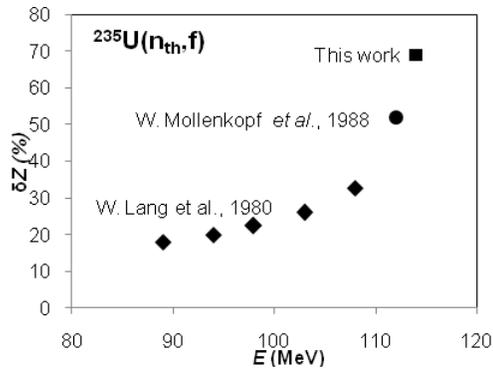


Figura 8. Efectos par-impar en la distribución protones en la reacción $^{235}\text{U}(n_{th}, f)$. Tomada de la Ref. 12 y 13, excepto el más elevado que corresponde a este trabajo. Ver texto.

Si tomamos las fragmentaciones correspondientes a $E = 203$ MeV, encontramos las masas entre 104 y 106, con 16 fragmentaciones con masa par 8 con masa impar [9], de lo que calcula $\delta A = 30\%$. Para $E = 200$ MeV, J. Trochon *et al.*[14] obtuvieron distribuciones de masa y carga de las que se obtiene, aproximadamente, $\delta A = 0.2$; $\delta Z = 0.6$ y $\delta N = 0.6$.

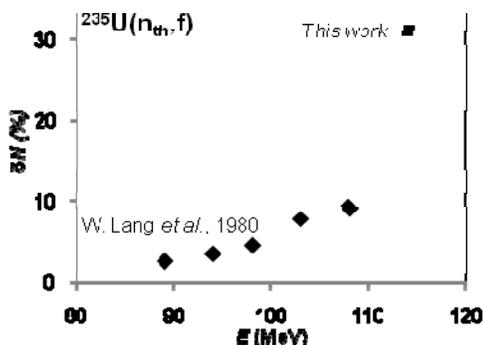


Figura 9. Efectos par-impar en la distribución neutrones en la reacción $^{235}\text{U}(n_{th}, f)$. Tomada de la Ref. 12. Los valores son tomados de la Ref. 11, excepto el más elevado que corresponde a este trabajo. Ver texto.

Para la reacción $^{239}\text{Pu}(n_{th}, f)$, para $E = 112$ MeV, C. Schmitt *et al.* obtienen la distribución mostrada en la Figura 10, de la que se calcula $\delta A = 3.7\%$. Para esa energía obtienen también $\delta Z = 15\%$ and $\delta N = 10\%$ [15]. Para $E > 119$ MeV, se obtiene la distribución de masa mostrada en la Figura 11, de la que se calcula $\delta A = 7.6\%$. Las masas que sobresalen en rendimiento son 84, 89, 96, 100 y 106. Si asumimos que para $E > 119$ MeV, las cargas corresponden a Z_0 ,

entonces se tendrá $\delta Z = 66.6\%$ y $\delta N = 33.3\%$, que es la proyección de los valores obtenidos por C. Schmitt *et al.* para ventanas más bajas de energía cinética. Ver Figura 12 y 13.

Para $E = 210$ MeV, se tiene masas entre 104 y 107, con el mayor rendimiento para la masa 106.

Para ventanas de menores valores de energía cinética, $\delta A = 0$. Este resultado no implica que δZ y δN sean nulos. Si se asume, por ejemplo, que siempre hay la ruptura de una pareja de nucleones, y no más que una (la que puede ser de protones o de neutrones) se deduce la relación:

$$1 + \delta A = \delta N + \delta Z.$$

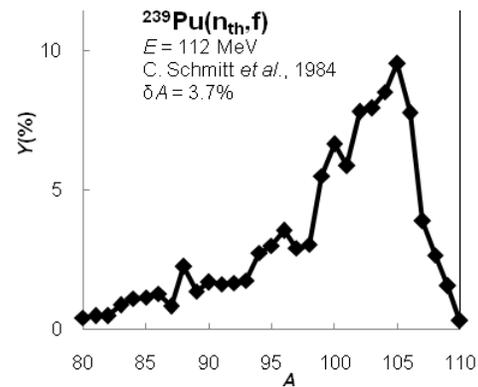


Figura 10. Distribución de masa para $E = 112$ MeV en la reacción $^{239}\text{Pu}(n_{th}, f)$. Tomada de la Ref. 15. De esta figura calculamos $\delta A = 3.7\%$. Ver texto.

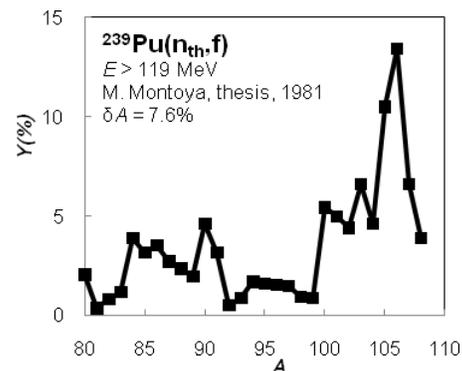


Figura 11. Distribución de masa para $E > 119$ MeV en la reacción $^{239}\text{Pu}(n_{th}, f)$. Tomada de la Ref. 9. De esta figura calculamos $\delta A = 7.6\%$. Ver texto.

Esta relación fue obtenida de un análisis combinatorio de ruptura de parejas de

nucleones [9]. H. Nifenecker [16] desarrolló otro modelo combinatorio que también llega a ese resultado.

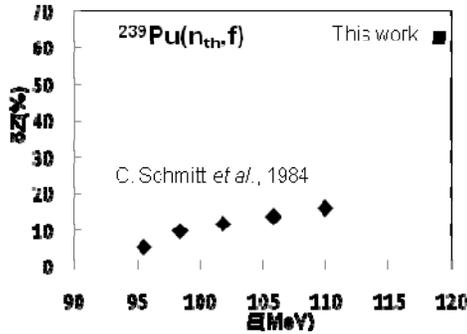


Figura 12. Efectos par-impar en la distribución protones en la reacción $^{239}\text{Pu}(n_{th}, f)$. Tomada de la Ref. 15, excepto el más elevado que corresponde a este trabajo. Ver texto.

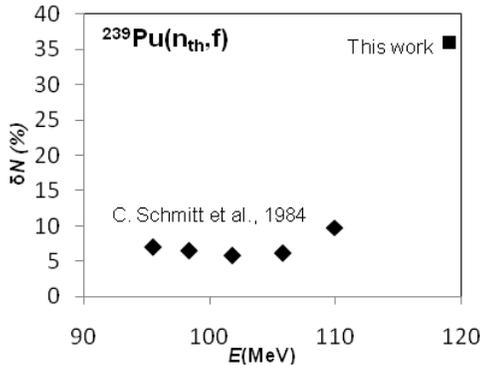


Figura 13. Efectos par-impar en la distribución neutrones en la reacción $^{239}\text{Pu}(n_{th}, f)$. Tomada de la Ref. 15, excepto el más elevado que corresponde a este trabajo. Ver texto.

1.3. Efectos de capas y efectos coulombianos en la fisión fría

En la distribución de masa y energía cinética de fragmentos de la región de fisión fría de las reacciones $^{233}\text{U}(n_{th}, f)$, $^{235}\text{U}(n_{th}, f)$ y $^{239}\text{Pu}(n_{th}, f)$ se observó efectos de capas y efectos llamados coulombianos, previa a cuya descripción definiremos algunas cantidades pertinentes.

Para analizar los mencionados efectos, definimos primero la función suavizada del valor máximo de Q (\bar{Q}), como una función lineal formada tomando la masa más liviana y la masa para la cual termina la tendencia lineal de Q. Luego se suaviza siguiendo la tendencia horizontal de Q para las masas transicionales.

Para cada pareja de fragmentos complementarios correspondientes las cargas Z_Q calculamos la energía de interacción electrostática (C) en una configuración de escisión, asumiéndolos esféricos con superficies separadas por 2 fm. El resultado es otra función escalera dependiente de masa.

De los datos experimentales, para cada valor de A , se calcula el valor máximo de la energía cinética total (K), definido como el umbral sobre el cual hay 10 eventos de fisión, en función de la masa del fragmento liviano.

Ahora definimos el exceso suavizado de energía electrostática mediante la relación siguiente:

$$\bar{C} = C - \bar{Q}$$

Y los valores suavizados de la energía de excitación mínima, en función de A , son definidos por la relación:

$$X = \bar{Q} - K$$

Para la reacción $^{233}\text{U}(n_{th}, f)$, los valores de C , K y \bar{Q} son graficados en la Figura 14.

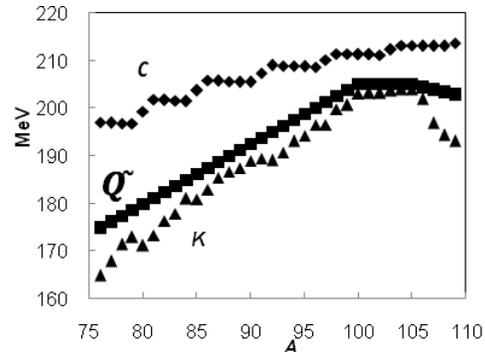


Figura 14. Energía de interacción electrostática entre fragmentos complementarios, considerados esféricos (C) separados por 2 fm, en el punto de escisión; curva suavizada de los valores máximos de la energía disponible (\bar{Q}); y valores máximos de la energía cinética total (K), para la reacción $^{233}\text{U}(n_{th}, f)$. Ver texto.

Las mediciones sobre las reacciones $^{233}\text{U}(n_{th}, f)$, $^{235}\text{U}(n_{th}, f)$ y $^{239}\text{Pu}(n_{th}, f)$ muestran resultados que son interpretados como efectos de la variación de la energía de interacción electrostática entre fragmentos al cambiar por una unidad la carga de uno de los fragmentos [17, 18].

Existe una correlación entre los valores suavizados del exceso de energía

electrostática (δC) y los valores suavizados de energía de excitación mínima X . Este resultado sugiere que, a mayor exceso de energía electrostática, mayor será la deformación de los fragmentos que deben tener los fragmentos en la escisión, lo que conllevará un mayor valor de X y, por lo tanto, un menor valor de K .

Para valores de A entre 78 y 100 en la reacción $^{233}\text{U}(n_{\text{th}}, f)$; entre 80 y 102, en la reacción $^{235}\text{U}(n_{\text{th}}, f)$, y entre 90 y 108 para la reacción $^{239}\text{Pu}(n_{\text{th}}, f)$, tanto δC como X son decrecientes en función de A .

Como se muestra en la Figura 14, en la reacción $^{233}\text{U}(n_{\text{th}}, f)$, los mayores valores de Q son aproximadamente 204 MeV y se producen en la región de masas $A = 100 - 106$, donde también se tiene los menores valores de δC . Ver Figura 15. Los valores de K alcanza el valor de Q para las masas correspondientes a los núcleos ($Z = 50, N = 80$) y ($Z = 42, N = 62$).

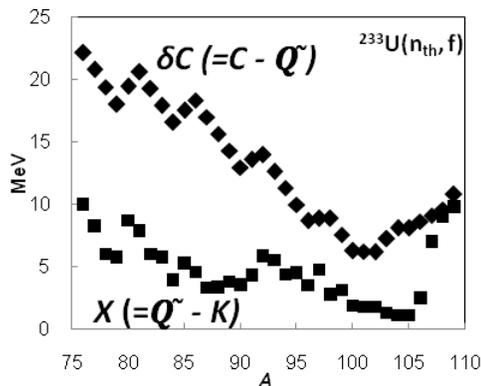


Figura 15. Curvas suavizadas del exceso colombiano $\delta C (= C - Q)$ de la configuración de escisión y de los valores mínimos de la energía de excitación $X (= Q - K)$ total en función de la masa de los fragmentos de la reacción $^{233}\text{U}(n_{\text{th}}, f)$. Ver texto.

Como se muestra en la Figura 16, para la reacción $^{235}\text{U}(n_{\text{th}}, f)$, tanto δC como X son aproximadamente nulos para A entre 100 y 106.

Como se muestra en la Figura 17, para la reacción $^{239}\text{Pu}(n_{\text{th}}, f)$, los menores valores de X ocurren para A entre 100 y 110.

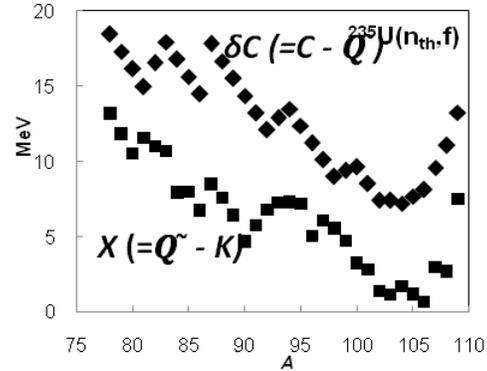


Figura 16. Curvas suavizadas del exceso colombiano $\delta C (= C - Q)$ de la configuración de escisión y de los valores mínimos de la energía de excitación $X (= Q - K)$ total en función de la masa de los fragmentos de la reacción $^{235}\text{U}(n_{\text{th}}, f)$. Ver texto.

Para las tres reacciones mencionadas, el valor de δC no es nulo. En la escisión, por lo menos uno de los fragmentos tiene que deformarse en forma prolata (alargada), en la dirección de la separación. Para deformarse, el fragmento gasta energía de deformación. Sin embargo, en los casos del molibdeno ($Z = 42$) con $N = 60, 62$ y 64 ; y el zirconio ($Z = 40$) con $N = 60, 62$ y 64 ; los núcleos son prolatos en sus estados fundamentales, además de ser transicionales y blandos [9]. En el punto de escisión, estos fragmentos están deformados sin gastar energía, y la energía electrostática es igual a la energía disponible.

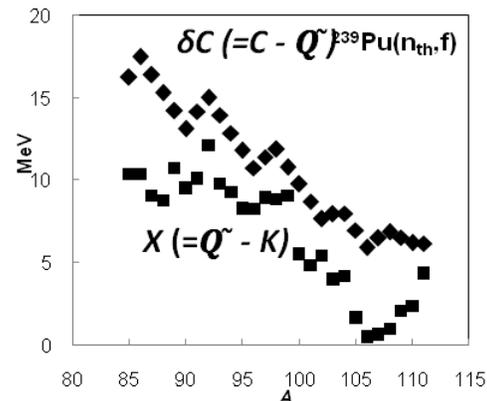


Figura 17. Curvas suavizadas del exceso colombiano $\delta C (= C - Q)$ de la configuración de escisión y de los valores mínimos de la energía de excitación $X (= Q - K)$ total en función de la masa de los fragmentos de la reacción $^{239}\text{Pu}(n_{\text{th}}, f)$. Ver texto.

Los resultados anteriores están relacionados con las estructuras en las curvas de rendimientos de masa. Para las reacciones $^{233}\text{U}(n_{\text{th}}, f)$, $^{235}\text{U}(n_{\text{th}}, f)$ y $^{239}\text{Pu}(n_{\text{th}}, f)$ [6, 7], las oscilaciones del rendimiento están en anticorrelación con las oscilaciones de σ_{C} .

Para la reacción $^{233}\text{U}(n_{\text{th}}, f)$, si tomamos la ventana de energía cinética de fragmento liviano E entre 113.5 y 114.5 MeV, las masas que sobresalen nítidamente son 90 y 100, los que corresponden a valores mínimos de σ_{C} [9,16].

Para la reacción $^{235}\text{U}(n_{\text{th}}, f)$, si tomamos la ventana E entre 114.5 y 113.5 MeV, las masas que sobresalen nítidamente son 90 y 102, los que corresponden a valores mínimos de σ_{C} .

Para la reacción $^{239}\text{Pu}(n_{\text{th}}, f)$, si tomamos $E > 118$ MeV, las masas que sobresalen son 84, 89, 96, 100 y 106, que corresponden a valores mínimos de σ_{C} .

Tanto en la reacción $^{233}\text{U}(n_{\text{th}}, f)$ como en $^{235}\text{U}(n_{\text{th}}, f)$, para $A > 100$, σ_{C} crece abruptamente con A ; en consecuencia, K decrece también abruptamente. Para la reacción $^{235}\text{U}(n_{\text{th}}, f)$, σ_{C} decrece para $A > 110$.

Las fluctuaciones de σ_{C} , que crecen con la asimetría de las fragmentaciones, están correlacionadas con fluctuaciones de X . Ello se debe a que las variaciones de la energía electrostática entre los fragmentos por cambio de una unidad de carga crecen con la asimetría como puede ser observada, por ejemplo, en la Figura 17, correspondiente a la reacción $^{233}\text{U}(n_{\text{th}}, f)$.

La energía de interacción electrostática entre dos fragmentos complementarios constituye una barrera para la fisión en el canal de carga y masa correspondiente. La probabilidad de ocurrencia de un par determinado de fragmentos será tanto mayor cuanto menor sea la diferencia entre esa barrera y la energía disponible. Así, para un mismo valor de Q y masas cercanas, los fragmentos con mayor asimetría en la fragmentación de cargas alcanzarán los mayores valores de energía cinética. Esto es equivalente a decir que para valores de TE cercanos al valor máximo de la distribución prevalecerán las fragmentaciones

más asimétricas de carga. Los efectos coulombianos en la fisión fría se manifiestan también en los rendimientos de cargas de fragmentos correspondientes a una misma masa impar. Con mayor asimetría de cargas se tiene mayor rendimiento, como lo demostraron W. Schwab *et al.* en el caso de la reacción $^{233}\text{U}(n_{\text{th}}, f)$ [19].

2. Conclusiones

En este trabajo se ha mostrado las consecuencias erosivas de la emisión de neutrones sobre la distribución de masa y energía cinética de los fragmentos de fisión de las reacciones $^{233}\text{U}(n_{\text{th}}, f)$, $^{235}\text{U}(n_{\text{th}}, f)$ y $^{239}\text{Pu}(n_{\text{th}}, f)$. Para evitar esas consecuencias, se ha estudiado la fisión fría, donde no se produce emisión de neutrones. Sin embargo, en la fisión fría también hay ruptura de parejas de neutrones; aunque en la región de energía cinética muy cercana al límite superior, superviven los fragmentos de masa par. Se ha mostrado un efecto para impar nulo en la distribución de masas, no es incompatible con efectos par-impar en la distribución de cargas y de neutrones. Por otro lado, se ha observado que, en la fisión fría, para fragmentaciones con la misma energía disponible hay mayor rendimiento de las fragmentaciones con mayor asimetría de cargas. Este efecto se manifiesta en fluctuaciones en el valor máximo de la energía cinética en función de la masa, las que son interpretadas como efecto coulombiano, debido a que aproximadamente cada cinco unidades de masa hay un cambio en las cargas que maximizan el valor de la energía disponible para la fisión, y por ende una fluctuación de la energía de interacción electrostática entre los fragmentos. También se manifiesta en las oscilaciones de rendimiento de masas para ventanas de altos valores de energía cinética de los fragmentos de fisión. Por las características de la interacción electrostática, este efecto es más notorio en regiones de mayor asimetría de masas. Los resultados de experimentos sobre fisión fría, obtenidos por diversos autores, sugieren que los fragmentos exploran todas las configuraciones de escisión que les permite la energía disponible.

3. Referencias

- [1] Brissot R, Bocquet JP, Ristori C, Crançon J, Guet CR, Nifenecker HA, Montoya M. Proceedings of a Symp. on Phys. and Chem. of Fission. Julich 14-18 may 1979. IAEA. Vienna, 1980.
- [2] Belhafaf D, Bocquet JP, Brissot R, Ristori C, Crançon J, Nifenecker H, Mougey J, Ramamurthy VS. Z. Physik A - Atoms and Nuclei. 1983; 309:253.
- [3] Faust HR, Bao Z. Nucl. Phys. A. 2004; 736(1-2):55-76.
- [4] Montoya M, Saettone E, Rojas J. Revista Mexicana de Física. 2007; 53:366-370.
- [5] Montoya M, Rojas J, Lobato I. Revista Mexicana de Física. 2008; 54:440-445.
- [6] Wahl AL, Norris AE, Williams RA. Proceedings of a Symp. on the Phys. and Chem. of Fission. IAEA. Vienna, (1969), p. 813.
- [7] Mariolopoulos G, Hamelin C, Blachot J, Bocquet JP, Brissot R, Crançon J, Nifenecker H, Ristori C. Nucl. Phys. A. 1981; 361(1):213-241.
- [8] Signarbieux C, Montoya M, Ribrag M, Mazur C, Guet C, Perrin P, Maurel M. J. Physique Lettres. 1981; 42: L-437.
- [9] Montoya M. Tesis Doctoratd'Etat, Universidad París XI, Orsay, 1981.
- [10] Clerc HG, Lang W, Mutterer M, Schmitt C, Theobald JP, Quade U, Rudolph K, Armbruster P, Gönnerwein F, Schrader H, Engelhardt D. Nucl. Phys. A. 1986; 452(2):277-295.
- [11] Quade U, Rudolph K, Skorka S, Armbruster P, Clerc HG, Lang W, Mutterer M, Schmitt C, Theobald JP, Gönnerwein F, Pannicke J, Schrader H, Siegert G, Engelhardt D. Nucl. Phys. A. 1988; 487(1):1-36.
- [12] Lang W, Clerc HG, Wohlfarth H, Schrader H, Schmidt KH. Nucl. Phys. A. 1980; 345(1):34-71.
- [13] Mollenkopf W, Kaufmann J, Gönnerwein F, Geltenbort P, Oed A. Journal Phys. G: Nucl. Part. Phys. 1992; 18(11): L203-L210
- [14] Trochon J, Simon G, Behrens JW, Brissard F, Signarbieux C. Radiation Effects. 1986; 92(1-4):327-332.
- [15] Schmitt C, Guessous A, Bocquet JP, Clerc HG, Brissot R, Engelhardt D, Faust HR, Gönnerwein F, *et al.* Nucl. Phys. A. 1984; 430(1):21-60.
- [16] Nifenecker H, Mariolopoulos G, Bocquet JP, Brissot R, Hamelin C, Crançon J, Ristori C. Z. Phys. A. - Atoms and Nuclei. 1982; 308:39-49.
- [17] Montoya M. Z. Phys. A - Atoms and Nuclei. 1984; 319:219-225.
- [18] Montoya M, Hasse RW, Koczon P. Z. Phys. A - Atoms and Nuclei. 1986; 325:357-362.
- [19] Schwab W, Clerc HG, Mutterer M, Theobald JP, Faust H. Nucl. Phys. A. 1994; 577(3-4):674-690.

Estudio de procedencia de la cerámica del sitio arqueológico La Real, utilizando análisis por activación neutrónica y estadística multivariada

Patricia Bedregal*, Marco Ubillús, Pablo Mendoza, Eduardo Montoya

División de Técnicas Analíticas Nucleares, Dirección de Investigación y Desarrollo, Instituto Peruano de Energía Nuclear, Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

Resumen

Los estudios de procedencia, utilizando fragmentos arqueológicos, requieren de información sobre la composición elemental de la pasta de cerámica. El análisis por activación neutrónica instrumental ha sido utilizado para caracterizar 100 fragmentos cerámicos encontrados en la zona arqueológica La Real en Arequipa y, el análisis estadístico multivariado para determinar su pertenencia y procedencia, incluyendo una comparación del patrón de composición química de los cerámicos de estilos locales del sitio La Real con la composición química de grupos de cerámicos Wari de Ayacucho y Cusco, Tiwanaku de Puno y Cotahuasi de Arequipa. Se proponen y discuten algunas implicancias arqueológicas de los resultados del análisis estadístico multivariado.

Abstract

The provenance studies using archaeological fragments require elemental compositional information of the clay used by making pottery. Instrumental neutron activation analysis has been used in the characterization of one hundred samples from the archaeological site La Real in Arequipa and the multivariate analysis to determine its belonging and provenance, including a comparison of the results obtained for the local styles of La Real with those from Wari (Ayacucho and Cusco), Tiwanaku, Puno and Cotahuasi (Arequipa). Some archaeological implications of the results obtained are discussed and suggested.

1. Introducción

En el marco del proyecto desarrollado por la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa [1], se ha recolectado un grupo de fragmentos arqueológicos para estudiar su procedencia. El componente arqueológico recuperado se ubicó dentro de las instalaciones del actual campo deportivo del anexo rural La Real, en la margen derecha del río Majes, valle de Majes, distrito de Aplao provincia de Castilla, ciudad de Arequipa (Figura 1).

La Real se perfila como una colección arqueológica complementaria para estudiar diversos materiales arqueológicos, teniendo un grupo de variables que dan indicios de la presencia de la cultura Wari en la zona [2]. Con la finalidad de determinar la procedencia de los cerámicos se estudiaron 100 fragmentos, analizándolos químicamente utilizando el análisis por activación neutrónica instrumental (AANI), basada en el método del *ksubcero*.

El AANI es una poderosa técnica analítica basada en reacciones nucleares que ocurren en el núcleo del átomo por la irradiación con

neutrones. Esta técnica es utilizada satisfactoriamente para aplicaciones arqueológicas, con la finalidad de caracterizar la cerámica y luego comparar este perfil composicional con otros, establecidos en una base de datos, para conocer su pertenencia y procedencia.

Como complemento de la caracterización química de los fragmentos encontrados en el sitio arqueológico también hemos aplicado el análisis estadístico multivariado, que es una herramienta útil para determinar la posible presencia y procedencia de cerámicos de estilos foráneos [3-5].

En este reporte se presenta el resultado del estudio de procedencia de un grupo de fragmentos de la época del Horizonte Medio encontrados en el sitio arqueológico La Real.

2. Experimental

2.1 Procesamiento de las muestras

Después de limpiar la superficie del fragmento con un pincel grueso, se extrajo polvo cerámico, haciendo pequeñas

* Correspondencia autor: pbedregal@ipen.gob.pe

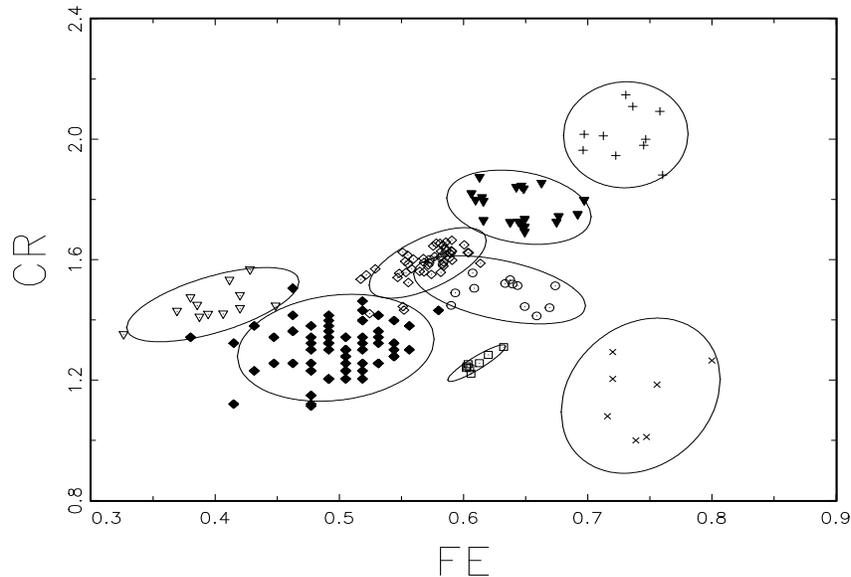


Figura 2. Representación de los grupos de cerámica estudiados en el plano composicional hierro – cromo.

3. Resultados y Discusión

Incluyendo los resultados en mg/kg del análisis multielemental de los fragmentos cerámicos analizados, se establecieron 08 grupos de referencia indicados en la Tabla 1.

Los resultados del análisis multielemental revelaron que los elementos cromo y hierro resultan útiles para diferenciar entre sí a los ocho grupos propuestos.

En la Figura 2 se muestra una separación nítida de casi todos los grupos. En ella, las elipses definen el espacio de los grupos, con un nivel de confianza del 90 % y las concentraciones están expresadas en unidades logarítmicas.

En el plano composicional, definido por los elementos hierro y cromo, se observa una superposición parcial entre la elipse que corresponde al grupo de La Real y la correspondiente al grupo de código CU3, de una cerámica de estilo Wari encontrada en Cusco. También es relevante que las cerámicas de estilo loro, que son parte de las muestras de La Real, conforman un grupo compacto y marcadamente distinto del resto, que podría sugerir que dichas cerámicas fueron manufacturadas con un alto grado de estandarización y control de los materiales empleados, así como de los procesos utilizados en su elaboración y quizás en un centro de producción específico.

Tabla 1. Grupos de cerámica y símbolos gráficos empleados.

| <i>Estilo / sitio</i> | <i>Código</i> | <i>Número de muestras</i> | <i>Símbolo gráfico</i> |
|-----------------------|---------------|---------------------------|-------------------------------|
| Varios / La Real | LR | 48 | Rombo vacío (◊) |
| Varios/ Loro | LOR | 8 | Cuadrado vacío (◻) |
| Varios / Cotahuasi | CH | 67 | Rombo lleno (◆) |
| Wari / Ayacucho | ACW | 12 | Triángulo invertido vacío (▼) |
| Tiwanaku / Tiwanaku | TW | 14 | Triángulo invertido lleno (▼) |
| Wari / Cusco | CU1 | 10 | Cruz (+) |
| Wari / Cusco | CU2 | 7 | Equis (X) |
| Wari/ Cusco | CU3 | 13 | Círculo vacío (○) |

Tabla 2. Muestras de cerámica del sitio de La Real asignadas a grupos de referencia foráneos.

| <i>Código</i> | <i>Estilo</i> | <i>Asignada a (1):</i> | <i>Prob. %</i> | <i>Asignada a (2):</i> | <i>Prob. %</i> |
|---------------|-----------------|------------------------|----------------|------------------------|----------------|
| 6001 | Ocros | ACW | 5,4 | CU2 | 0,35 |
| 6003 | Loro | CU2 | 3,1 | LR | 0,46 |
| 6006 | Loro | CH | 8,9 | CU2 | 2,9 |
| 6007 | Loro | CU3 | 29,2 | CU2 | 2,9 |
| 6008 | Chakipampa | CU3 | 34,4 | CU2 | 2,7 |
| 6016 | Loro | TW | 15,9 | CU2 | 6,6 |
| 6019 | La Ramada | CU1 | 7,6 | CU2 | 0,38 |
| 6021 | La Ramada | TW | 10,5 | CU2 | 5,0 |
| 6036 | Loro | CU2 | 8,8 | CU1 | 0,83 |
| 6041 | Escalonados | ACW | 2,6 | CU2 | 0,47 |
| 6050 | Ocros | ACW | 21,7 | CU2 | 0,35 |
| 6052 | HM Local | TW | 22,6 | CU2 | 5,2 |
| 6058 | Viñaque La Real | TW | 60,9 | CU2 | 5,2 |
| 6065 | HM Local | CH | 36,5 | CU2 | 1,6 |
| 6071 | Pullhuay | CH | 3,8 | CU2 | 2,7 |
| 6084 | Chakipampa B | CU2 | 1,9 | LR | 0,01 |
| 6088 | Atarco | CU2 | 6,3 | LR | 1,9 |
| 6091 | HM Local | LR | 23,5 | TW | 23,7 |
| 6094 | Viñaque La Real | CU2 | 3,6 | CH | 0,56 |
| 6095 | Atarco | CU2 | 5,7 | LRO | 1,6 |
| 6102 | Cajamarca ¿? | CH | 6,5 | CU2 | 1,3 |

En la Tabla 2 se presenta un grupo de muestras de cerámica, colectadas en el sitio La Real, con sus respectivos estilos y cuya composición química nos sugiere que han sido elaboradas fuera de dicho sitio. Las últimas dos columnas de la tabla, contienen las segundas prioridades de asignación y sus respectivas probabilidades de pertenencia. Por ejemplo, la muestra 6058 de estilo Viñaque La Real tiene una significativa probabilidad de un 60.9 % de pertenecer al grupo de Tiwanaku (TW), incluido en la evaluación y sólo un 5.2 % de pertenecer al grupo CU2. Así hay otros casos, como los correspondientes a las muestras 6007, 6008, 6016, 6050, 6052 y 6065, que nos brindan evidencia clara de una presencia cerámica foránea en el contexto del sitio La Real.

4. Agradecimientos

Al Museo Arqueológico José María Morante de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa y al Royal Ontario Museum de Canadá, por el apoyo brindado para la realización de este trabajo.

5. Bibliografía

- [1] Yépez Alvarez Willy J. Proyecto de investigación "Colección La Real" En custodia: Instituto Nacional de Cultura, filial Arequipa.
- [2] Jennings Justin, Yépez Willy. Collota, Tenahaha y el desarrollo Wari en el valle de Cotahuasi, Arequipa, Perú. Boletín de Arqueología PUCP. 2001; (5):13-29.
- [3] Vaughn K, Conlee C, Neff H, Schreiber K. Ceramic production. In ancient Nasca: provenance analysis of pottery from the early Nasca and Tiza cultures through INAA. Journal of Archaeological Science. 2006; 33(5):681-689.
- [4] Bedregal P, Mendoza P, Ubillús M, Montoya E. Tenahaha and the Wari State: A View of the Middle Horizon from the Cotahuasi Valley. Chapter 7: Chemical characterization of archaeological ceramics from Cotahuasi using neutron activation analysis. *University of Alabama Press, Tuscaloosa (aceptado para publicación)*.
- [5] Glascock MD, Neff H, Vaughn KJ. Instrumental neutron activation analysis and multivariate statistics for pottery provenance. *Hyperfine Interactions*. 2004; 154:95105.

Síntesis y caracterización del dietilentriamino pentaacetato cálcico trisódico (DTPA - CaNa₃)

Anita Robles^{1,*}, Bertha Ramos¹, María Benites¹, Jorge Herrera¹, José Caballero¹, Aldo Guzmán²

¹Planta de Producción de Radioisótopos, Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN),
Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

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

Resumen

El presente trabajo tiene por objetivo la síntesis y caracterización de la sal dietilentriamino pentaacetato cálcico trisódico (DTPA - CaNa₃), mediante el método de Rubin-Dexter, el cual se ha desarrollado en dos etapas: primero por una reacción equimolar del ácido dietilentriamino pentacético (DTPA) con CaCO₃ obteniendo el DTPA-Ca y la segunda por reacción de neutralización con NaOH por medio de la titulación potenciométrica, con la formación posterior de la sal DTPA-CaNa₃ a un pH de 11.62. El rendimiento global de la síntesis fue del 99 %. El producto obtenido se caracterizó por espectroscopia infrarroja y por la técnica del análisis por activación neutrónica – método de ksubcero (K₀) se midió la concentración de los elementos Ca y Na, 14.50 % y 8.06 % respectivamente. El ensayo de toxicidad aguda demuestra que el producto sintetizado no es tóxico y que puede ser utilizado como precursor del radiofármaco ^{99m}Tc - DTPA para estudios cerebrales y renales.

Abstract

The aim of this work is the synthesis and characterization of diethylene triamine pentaacetic acid calcium trisodium salt (DTPA - CaNa₃) by the method of Rubin - Dexter, which was developed in two steps: first by an equimolar reaction of diethylenetriamine pentaacetic acid (DTPA) with CaCO₃ getting DTPA - Ca and the second by neutralization reaction with NaOH by potentiometric titration, with the subsequent formation of the DTPA - CaNa₃ salt to a pH of 11.62. The overall yield of the synthesis was 99%. The product obtained was characterized by infrared spectroscopy and the technique of neutron activation analysis - ksubcero (K₀) method it measures the concentration of Ca and Na that they were 14.50 % and 8.06 % respectively. The acute toxicity test shows that the synthesized product is not toxic and can be used as precursor of the radiopharmaceutical ^{99m}Tc - DTPA for studies of the brain and the kidney.

1. Introducción

El ácido dietilentriamino pentacético (DTPA) es conocido, desde 1945, como agente quelante para el hierro. Es un ácido poliamínico similar, en estructura, al EDTA pero con mayor afinidad para los metales más pesados y tierras raras [1], también se une rápidamente al calcio y al cobre formando complejos con una constante disociación muy baja. Por procedimientos potenciométricos y por determinaciones del espectro infrarrojo se ha podido conocer la estructura de esta

molécula. Tiene cinco grupos etanóicos y se pueden encontrar las diferentes etapas de ionización a diferentes pH. La molécula no ionizada es muy poco soluble en agua (100 mg 120 ml de H₂O a 65 °C) y se puede representar como H₅Z.

En la Tabla 1, tomada del trabajo de Nakamoto [2], se enlistan los valores para las constantes ionización pK para llegar a la ionización completa Z⁻⁵ que se encuentra a pH 11.6.

Tabla 1. Valores para las constantes de ionización del DTPA (H₅Z).

| | pK ₁ | | pK ₂ | | pK ₃ | | pK ₄ | | pK ₅ | |
|------------------|-----------------|-------------------------------|-----------------|--------------------------------|-----------------|--------------------------------|-----------------|------------------|-----------------|-----------------|
| H ₅ Z | ↔ | H ₄ Z ⁻ | ↔ | H ₃ Z ⁻² | ↔ | H ₂ Z ⁻³ | ↔ | HZ ⁻⁴ | ↔ | Z ⁻⁵ |
| | 1.79 | | 2.56 | | 4.42 | | 8.76 | | 10.42 | |

* Correspondencia autor: arobles@ipen.gob.pe

En solución acuosa la especie del anión divalente H_3Z^{2-} se encuentra a pH 3,6 y el anión trivalente a pH 6,8 [2].

En medicina nuclear se utiliza dietilentriamino pentaacetato cálcico trisódico (DTPA - $CaNa_3$) como precursor del radiofármaco ^{99m}Tc - DTPA para estudios cerebrales y renales [3]. La molécula del complejo con ^{99m}Tc reducido por Sn^{+2} , es un anión de dos cargas, tanto a pH 4,6 como pH 7,0 [4] por lo que se representa como $[^{99m}Tc - DTPA]^{-2}$.

En la formación del complejo $[^{99m}Tc-DTPA]^{-2}$ intervienen 6 de los 8 puntos de coordinación, por tanto estos grupos carboxilados libres pueden ser sustituidos por grupos alquílicos, ésteres o amidas sin afectar la estabilidad del complejo, originando un complejo neutro y lipofílico con propiedades radiofarmacéuticas diferentes a las del complejo inicial [5].

El presente trabajo tiene por objetivo la síntesis y caracterización del dietilentriamino pentaacetato cálcico trisódico (DTPA- $CaNa_3$), obtenida primero por una reacción equimolar del DTPA con $CaCO_3$ y la segunda

por reacción de neutralización con NaOH por medio de la titulación potenciométrica.

2. Metodología

La síntesis del dietilentriamino pentaacetato cálcico trisódico (DTPA- $CaNa_3$) se realiza por el método de Rubin-Dexter [6], el cual se desarrolla en dos etapas:

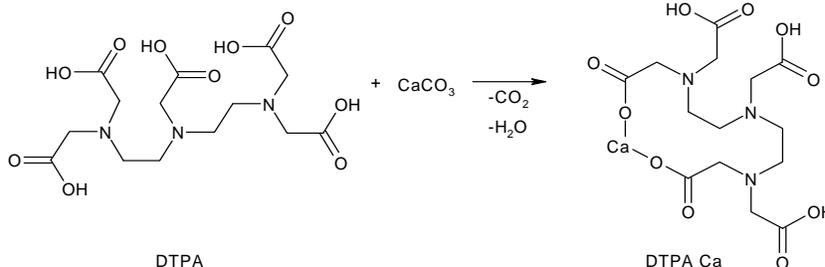
- Síntesis del ácido dietilentriamino triacético diacetato de calcio (DTPA Ca).
- Síntesis del dietilentriamino pentaacetato cálcico trisódico (DTPA $CaNa_3$).

2.1 Síntesis del ácido dietilentriamino triacético diacetato de calcio (DTPA Ca)

2.1.1 Materiales, equipos y reactivos

El material de vidrio que se utilizó: beaker, fioles, embudo, matraz erlenmeyer y otros como papel de filtro No 1. También se utilizó un equipo termoagitador y como reactivos el ácido dietilentriaminopenta-acético marca SIGMA-ALDRICH y carbonato de sodio marca EMSURE.

2.1.2 Reacción química



2.1.3 Procedimiento

- En un beaker de 800 mL provisto de un agitador magnético, se vertió 48,9351 g de DTPA (0,1244 moles) y 350 mL de agua destilada, incrementando suavemente la temperatura de la solución hasta mantenerla en un rango entre $55\text{ }^\circ\text{C} \pm 3\text{ }^\circ\text{C}$ y bajo agitación constante.
- Luego, se adicionó lentamente 12,4549 g de $CaCO_3$ (0,1244 moles), observándose el desprendimiento de $\uparrow CO_2$ y se dejó enfriar.
- Enseguida se filtró la solución por gravedad a través de filtro N° 1 hacia un matraz erlenmeyer, dejando el filtrado transparente en

refrigeración por 20 h.

2.2 Síntesis del Dietilentriamin Pentaacétato Calcico Trisódico (DTPA $CaNa_3$)

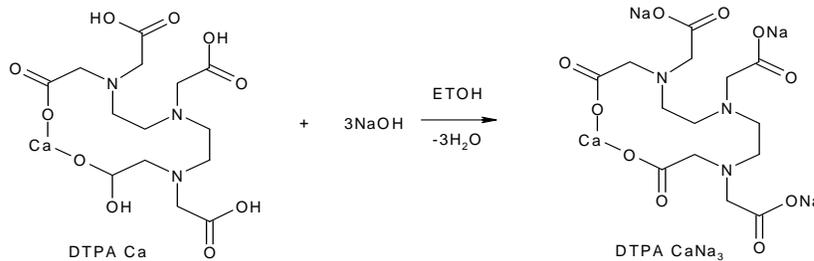
La determinación de los pH de disociación del DTPA Ca (H_3Z^{2-}) se realizó mediante la titulación potenciométrica del DTPA Ca con NaOH, con el objetivo de encontrar los tres pH experimentales para las ionizaciones completas del H_3Z^{2-} al Z^{5-} .

2.2.1 Materiales, equipos y reactivos

El material de vidrio que se utilizó: beaker, bureta, fiolas, embudo, matraz erlenmeyer y otros como papel de filtro N° 42. Equipamiento utilizado: termoagitador, un pHmetro con electrodo de vidrio sensitivo a la concentración de ion hidronio en solución, estufa, rotavapor marca BUCHI,

espectrómetro NICOLET 6700 THERMO FISHER con accesorio ATR SMART iTR ZnSe. Reactivos empleados: Intermediario 1 (DTPA Ca), hidróxido de sodio 4N, etanol absoluto y suero fisiológico estéril y apirógeno.

2.2.2 Reacción química



2.2.3 Procedimiento

- El filtrado del DTPA Ca obtenido mediante el procedimiento descrito en el ítem 2.1.3 se llevó a temperatura ambiente y se neutralizó por medio de una titulación potenciométrica (pHmétrica) hasta alcanzar un pH final de 11.60 con un volumen de 92.50 mL de NaOH 4N.

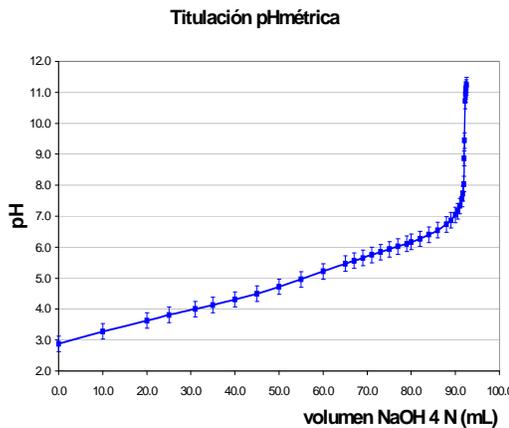


Figura 1. PH en función del volumen de NaOH 4N.

Titulación pHmétrica

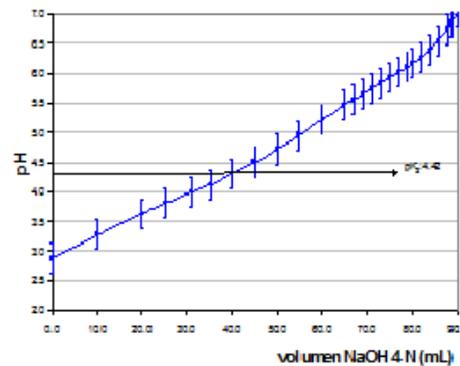


Figura 2. DTPA Ca versus volumen de NaOH 4N, Primera neutralización.

Titulación pHmétrica

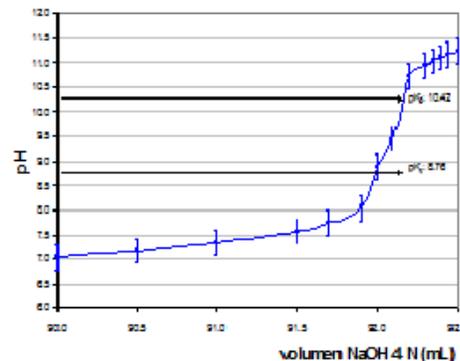


Figura 3. DTPA Ca versus volumen de NaOH 4N, Segunda y Tercera neutralización.

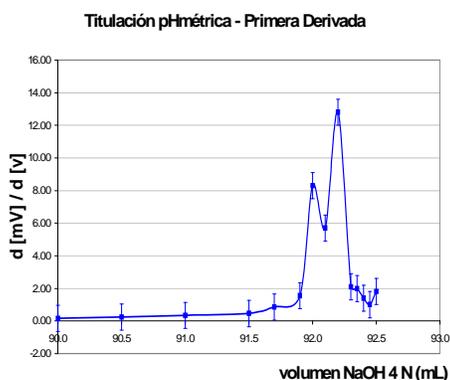


Figura 4. Curva de la primera derivada para el segundo y tercer punto de equivalencia.

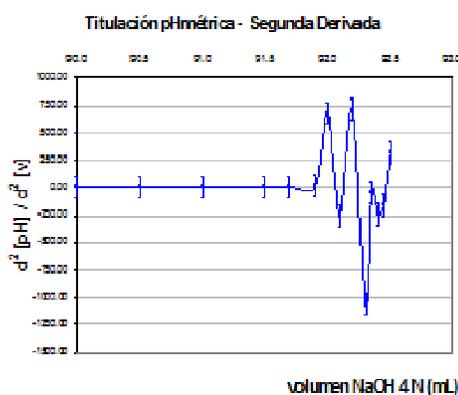


Figura 5. Curva de la segunda derivada para el segundo y tercer punto de equivalencia.

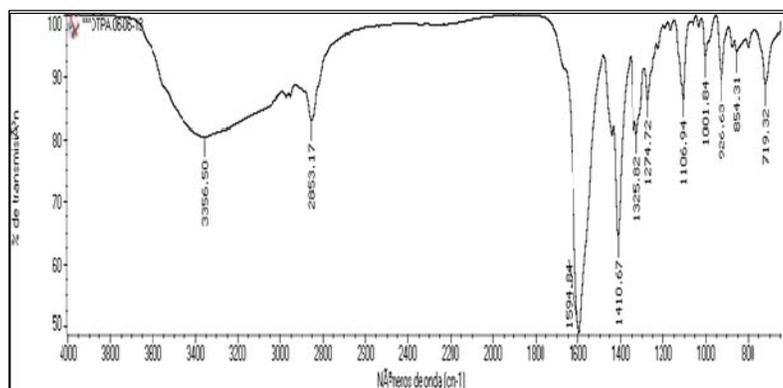


Figura 6. Espectro Infrarrojo FT-IR del DTPA Ca Na_3 . Barrido de longitud de onda comprendido entre 4000 a 700 cm^{-1} .

2.2.4 Análisis cuantitativo elemental por AAN

Una fracción de la sal DTPA- CaNa_3 fue analizada por la técnica del Análisis por Activación Neutrónica (AAN) – Método de

- Posteriormente se rotaevaporó la solución bajo línea de vacío, reduciendo su volumen hasta alcanzar una solución densa, dejar enfriar a temperatura de ambiente.
- Adicionar 440 mL de etanol y refrigerar por 24 horas.
- Filtrar y secar entre 65 a 80 °C el precipitado por 24 horas, luego secar a 110 °C hasta peso constante.
- El producto obtenido fue un polvo blanco de 61.264 g.

3.2.4 Identificación por espectroscopia infrarroja

Una fracción de la sal DTPA - CaNa_3 se seca a 110 °C por 4 horas, luego se analiza por espectroscopia infrarroja, el espectro de absorción obtenido se contrasta con el espectro patrón [7] donde se muestra los grupos funcionales característicos del producto cerca a las siguientes longitudes de onda: 3600 y 2700 cm^{-1} (OH); 2850 – 3000 cm^{-1} ($-\text{CH}_2-$); 1650-1550 cm^{-1} ($-\text{COO}-$ acoplado al Ar-N-R₂); 1400 cm^{-1} ($-\text{COO}-$ acoplado con Ar-N-R₂ del grupo amina terciaria); 1250 cm^{-1} ($-\text{COO}-$, acetato); 1100 cm^{-1} (Ar-N-R₂); 950 cm^{-1} (C=O) y 725 cm^{-1} ($-\text{CH}_2-$, consecutivos).

ksubcero (K_0) para determinar la concentración de los elementos Ca y Na presentes en el producto.

2.2.5 Ensayo de toxicidad aguda

Se inyecta 0,1 ml de una solución de DTPA-

CaNa₃ a un total de 6 ratones, con un promedio de peso de 30 g, la dosis inyectada equivale a 500 veces más que la administrada a humanos. Adicionalmente se inyecta 0.1 ml de suero fisiológico estéril y apirógeno a 2 ratones. La evaluación se realizó inmediatamente después de la inyección, a las 24 horas, y durante 7 días post - inyección. Durante el período de evaluación no se presentaron reacciones adversas ni de mortandad en ninguno de los animales, considerando al ensayo de toxicidad aguda: Negativo.

La solubilidad del DTPA-CaNa₃ para la prueba de toxicidad se realiza disolviendo 20 mg de la sal con 2 ml de suero fisiológico estéril y apirógeno.

3. Resultados y Discusiones

- En las figuras del 1 al 5 se presentan las curvas de titulación potenciométrica (pHmétrica) del DTPA Ca vs. volumen de NaOH 4N, se observan que esta molécula H₃Z²⁻ presenta tres neutralizaciones finales (pK₃=4.42, pK₄=8.76, pK₅=10.42), siendo los dos últimos cambios más notorios en los gráficos $\delta\text{pH}/\delta\text{V}$ y $\delta^2\text{pH}/\delta^2\text{V}$ para los volúmenes de 92.0 y 92.2 ml del titulante, en comparación al primer cambio, debido a la concentración alta del NaOH.
- Para garantizar una completa neutralización del DTPA Ca se llevó hasta pH 11,62 con 94.7 ml de NaOH 4N, obteniéndose la sal DTPA CaNa₃.
- El rendimiento total de la síntesis fue de 99 % (61.264 g).
- El análisis FT-IR muestra las dos bandas características 1650cm⁻¹-1500 cm⁻¹ y 1400cm⁻¹ correspondientes a las tensiones –COO- de la sal de acetato. La presencia de una banda ancha 3600-2700 cm⁻¹ de las tensiones O-H (ligado) y puentes de hidrógeno producto del H₂O asociado, confirma el grado de hidratación del producto.
- El análisis cuantitativo elemental de la sal dio como resultado 14.50 % de Na, siendo el teórico 13,87 % y para el Ca 8.2 %, siendo el teórico 8.06 %.

4. Conclusiones

- El procedimiento descrito permite sintetizar el dietilentriamino pentaacétato cálcico trisódico con una alta pureza química, obteniéndose 61.264 g.

- El método pHmétrico o potenciométrico permite garantizar el punto final de la neutralización completa del DTPA Ca, formado la sal DTPA CaNa₃ la cual se obtiene a pH 11,62.
- Al analizar el espectro FT-IR obtenido se puede decir que el producto sintetizado corresponde a la sal del DTPA Ca Na₃.
- La concentración de Ca y Na en la sal confirma que las ionizaciones se han completado del H₃Z²⁻ al Z⁻⁵.
- El ensayo de toxicidad aguda demostró que el producto es atóxico.

5. Agradecimientos

A los investigadores Pablo Mendoza, Patricia Bedregal, Paula Olivera, Emma Castro y Mónica Vivanco por el apoyo brindado en la identificación de la estructura y composición elemental del producto sintetizado en los laboratorios de la PPRR.

6. Referencias

- [1] Harder R, Chaberek S. The interaction of rare earth ions with diethylene triamine pentaacetic acid. *J. Inorg. Nucl. Chem.* 1959; 11:197-209.
- [2] Nakamoto K, Morimoto Y, *et al.* Infrared spectra of ethylene diamine tetraacetic acid. *J. Am. Chem. Soc.* 85: 309-314, 1963.
- [3] Hauser W, Atkins HL, *et al.* Technetium-99mDTPA: A new radiopharmaceutical for brain and kidney scanning. *Radiology.* 1970; 94(3):679-684.
- [4] Russell, C. D.; Crittenden, R.C.; Cash, A.G.: determination of net ionic charge on Tc-99mDTPA and Tc-99mEDTA by a column ion-exchange method *J. Nucl Med* 21; 354-360, 1980.
- [5] Arteaga de Murphy, Consuelo. El tecnecio en la medicina nuclear. Sociedad Mexicana de Medicina Nuclear. México D.F., 1989. p. 224-229.
- [6] Martin Dexter, Martin Rubin, inventors; Geigy Chem Corp., cesionario. Trisodium calcium diethylenetriamine-pentaacetic acid, compositions containing the same, and the use thereof. United States patent US 3062719.1962 Nov 6.
- [7] Diethylenetriaminepentaacetic acid calcium trisodium salt, hydrate [homepage en Internet]. Mar. 2012. Disponible en: <https://www.spectrumchemical.com>

Caracterización de celdas solares económicas basados en nanopartículas sensibilizadas de TiO₂

Alcides López^{1,2,*}, Mónica Gómez², José Solís^{1,2}, Clemente Luyo², Alex Naupa²,
Vanessa Martínez², María Galicia², Víctor Cahuana²

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. Túpac Amaru 210 Lima 25, Perú

Resumen

Celdas solares depositadas sobre sustratos conductores de SnO₂:F y electrodo de trabajo de TiO₂ nanoestructurado P25 y pasta comercial Dyesol fueron sensibilizadas con cis-bis(isotiocianato)-bis(2,2' biperidil-4,4' dicarboxilato)rutenio(II)bistetrautil amonio, (N719), el contraelectrodo fue de SnO₂:F platinizado y un electrolito constituido por el par redox I⁻/I₃⁻. La caracterización morfológica, cristalina y molecular fueron hechos mediante microscopía electrónica de transmisión y barrido, difracción de electrones, difracción de rayos X y FTIR. El recubrimiento está constituido básicamente por anatasa y en menor proporción por rutilo, con espesor del orden de micrómetros, tamaño de grano promedio de 40 nm. Para la caracterización de la respuesta corriente-voltaje de las celdas sensibilizadas se ha diseñado y construido un sistema simulador de radiación solar, con fuente luminosa de 250W, cámara oscura, banco óptico, filtro IR y analizador espectral.

Palabras clave: TiO₂, Fotovoltaico, Nanopartículas, Celda sensibilizada

Abstract

Solar cells deposited on SnO₂:F conductive substrates and TiO₂ working as electrode of nanostructured P25 and commercial Dyesol, were sensitized with cis-bis(isotiocianato)-bis(2,2' biperidil-4,4' dicarboxilato)rutenio(II)bistetrautil ammonia, (N719), the counter electrode was of SnO₂:F platinized and an electrolyte constituted by the I⁻/I₃⁻ redox couple. Morphological characterizations, crystalline and molecular were made by Transmission and Scanning Electron Microscopy, Electron Diffraction, X-ray Diffraction and FTIR. The coating consists basically of anatase and rutile in smaller proportion, thickness was on the order of micrometers, average grain size of 40 nm. For the characterization of the current-voltage response of sensitized cells was designed and constructed a solar radiation simulator with a 250W light source, dark camera, an optical bench, IR filter and spectrum analyzer.

Keywords: TiO₂, Photovoltaic, Nanoparticles, Sensitized cell

1. Introducción

A partir del año 1954 se establece formalmente la fotoelectroquímica como fruto de los estudios efectuados por Brattain y Garrett [1] y a mediados de 1980 se inicia en la Universidad de Lausanne el estudio de la sensibilización de electrodos para procesos de fotoconversión eléctrica. En el año 1991 se publica por primera vez en la revista Nature una eficiencia solar de 7,1 % para celdas a base de nanopartículas de TiO₂ que pueden ser elaboradas con muy bajo costo y se presenta promisoriamente como una alternativa a explorar para aplicaciones fotovoltaicas [2]. Actualmente, estas celdas han alcanzado valores de un 12 % de

eficiencia, lo que cabe destacar es que ya se encuentran disponibles en el mercado por medio de empresas como Solaronix [3].

Estas celdas están constituidas básicamente por: *Semiconductor* de TiO₂ nanoestructurado con bandas prohibidas de 3,0 y 3,2 eV (rutilo y anatasa respectivamente) [4, 5]. Las celdas utilizan un colorante que produce la conversión cuántica y determina la capacidad del sistema para capturar fotones; en la actualidad los más empleados son complejos de Ru (II) [6]. El *Electrolito* regenera el colorante y consiste en una solución que contiene un par redox I⁻/I₃⁻ [7]. El *Contraelectrodo* es generalmente un vidrio

* Correspondencia autor: alopez@ipen.gob.pe

cubierto de una película conductora de $\text{SnO}_2\text{:F}$ (FTO) o $\text{SnO}_2\text{:In}$ (ITO), adicionalmente en esta capa conductora se depositan conglomerados de Pt metálico. El circuito se cierra cuando los electrones que salen para una resistencia externa conectada a la celda, llegan al contraelectrodo y reducen el sistema redox del electrolito.

2. Procedimiento experimental

2.1 Preparación de los recubrimientos de TiO_2 como electrodo de trabajo

Las películas gruesas de nanopartículas de TiO_2 se prepararon con P25-Degussa, depositándolas mediante los métodos de Screen printing y del Dr. Blading [8], mezclando 2,6 g de P25 con 10 ml de etanol y homogenizado por ultrasonido durante 30 minutos. La película se preparó sobre sustratos de FTO, una vez seca fue sometida a un tratamiento térmico a 450° durante 45 minutos. Se obtuvo un espesor del orden de 20 micrómetros. Como contraelectrodos se utilizaron sustratos conductores de ITO soportados en vidrio que adicionalmente fueron modificados con la presencia de pequeños conglomerados metálicos de Pt. Este proceso de activación se realizó mediante una pequeña adición de una solución de H_2PtCl_6 en la superficie del ITO para luego ser sometido a un tratamiento térmico a 350°C durante 15 min. El electrolito utilizado fue el par redox I^-/I_3^- que fue preparado con una concentración de yodo 0,5 mM, LiI 2,5 mM y 4-ter-butilfenol 2,25 mM en metoxipropionitrilo.

El armado de las celdas se consiguió formando la estructura laminar (tipo sándwich) del electrodo de trabajo (el recubrimiento de TiO_2) unido al contraelectrodo (recubrimiento de ITO-Pt) manteniendo el electrolito entre ellos por capilaridad. Para realizar las medidas corriente-voltaje de las celdas, los extremos libres de ambos electrodos fueron cubiertos con una pasta conductora de Pt.

Una imagen de las celdas solares construidas en este proyecto de investigación se observa en la Figura 1, donde se puede apreciar el cuadrado de $5 \times 5 \text{ mm}^2$ sensibilizado de color rojizo al centro de los vidrios, a los lados

están los terminales de conexión para su posterior evaluación de su rendimiento fotovoltaico.

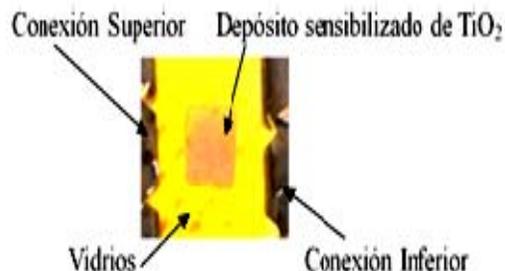


Figura 1. Celda solar sensibilizada para las pruebas de rendimiento fotoeléctrico.

2.2 Caracterización de la eficiencia de las celdas solares

Para la caracterización de la eficiencia de las celdas solares se diseñó y construyó un simulador de radiación solar para registrar las medidas eléctricas de corriente-voltaje, constituido por un foco dicróico de 250 W, un banco óptico y una cubeta con agua (filtro de la radiación IR). La Figura 2, muestra una fotografía del montaje del banco óptico empleado.

Para la medición de la intensidad se utiliza un radiómetro solar marca HANNEY, la celda se conecta en serie con un potenciómetro para modificar el valor de la resistencia externa. La respuesta corriente-voltaje se registra en una hoja de cálculo para ser graficada posteriormente.

El sistema empleado ha sido diseñado para la caracterización de celdas de áreas no mayores a 2 cm^2 . El espectro de esta lámpara así como el espectro solar se obtuvo usando el espectrofotómetro USB4000 de Ocean Optics. La Figura 3 muestra las irradiancias espectrales entre 350 y 900 nm para el espectro del Sol y de la lámpara dicróica empleada como fuente de iluminación para la evaluación corriente-voltaje de las celdas.

En la Figura 3 se puede observar que el rango de emisión de la lámpara dicróica presenta un máximo en el rango de infrarrojo cercano, mientras que en el espectro solar se presenta alrededor de 500 nm.

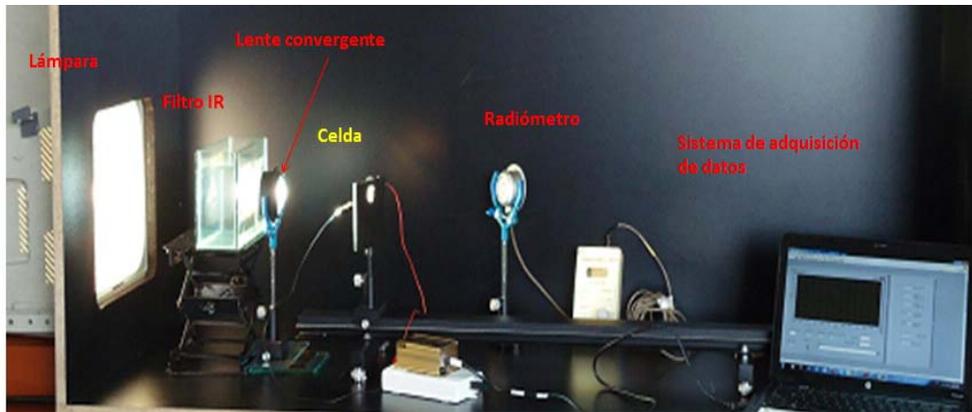


Figura 2. Simulador solar usado para la caracterización del comportamiento corriente-voltaje de las celdas solares sensibilizadas.

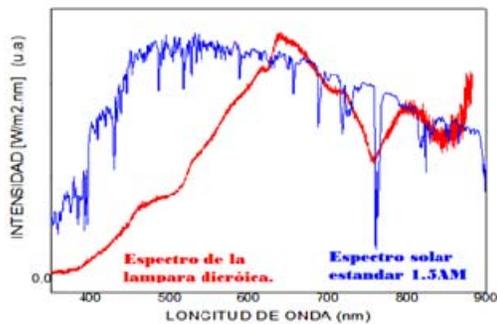


Figura 3. Espectros solar y de la lámpara dicróica a 1000W/m^2 .

Los datos de corriente y voltaje se registran por medio de un sistema automatizado para la adquisición de datos construido especialmente para este objetivo. La Figura 4 muestra la pantalla de presentación del programa empleado.

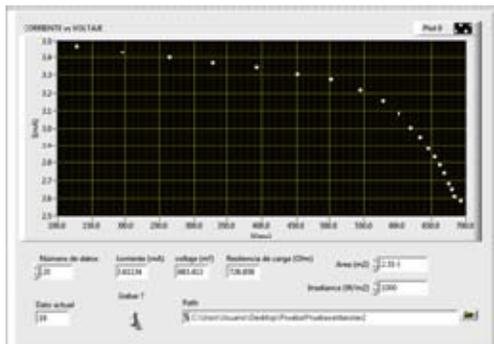


Figura 4. Monitor mostrando los resultados de la medición de la eficiencia de las celdas solares.

Se muestra la curva del flujo radiométrico donde se observa que el máximo de flujo radiante de la lámpara se encuentra en el rango infrarrojo, tal como se debe esperar

para una lámpara incandescente. Dicho flujo radiométrico puede apreciarse en la Figura 5.

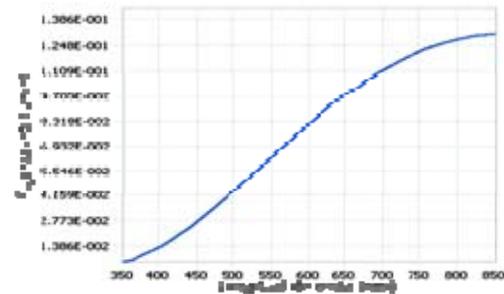


Figura 5. Flujo radiométrico de la lámpara incandescente empleada en las medidas corriente-voltaje.

2.3 Caracterización cristalina de las películas de TiO_2

Los resultados de la caracterización por difracción de rayos X de los recubrimientos de TiO_2 - P25 usados para la preparación de la película del fotoelectrodo antes y después del tratamiento térmico a $450\text{ }^\circ\text{C}$ se muestran en las Figuras 6 y 7.

Se aprecian los picos característicos de la anatasa y rutilo, también se observan picos de dióxido de estaño correspondientes al sustrato conductor. Por medio del programa Topas Academic se obtuvo los tamaños promedio de granos de la anatasa y rutilo de 32 y 50 nm respectivamente para el recubrimiento sin sinterizar, donde el porcentaje anatasa-rutilo fue de 81.5 % y 18.5 % respectivamente.

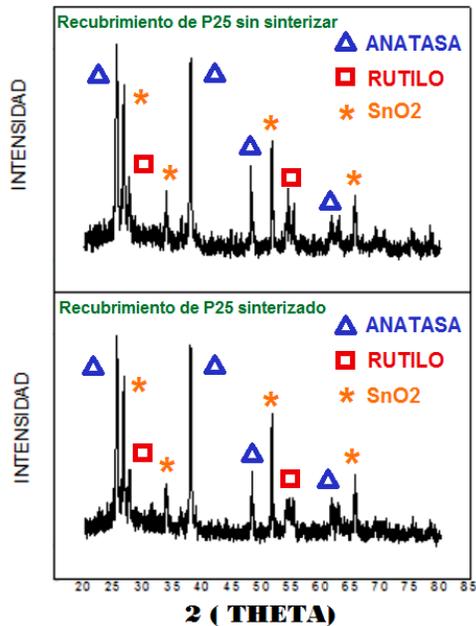


Figura 6. Difractogramas de rayos X para películas de TiO_2 depositadas en sustrato conductor (a) sin sinterización (b) sinterizado.

Para las películas con tratamiento térmico los tamaños promedio de los granos de las fases anatasa y rutilo son de 32 y 54 nm respectivamente con relación porcentual de 81 % y 19 % respectivamente.

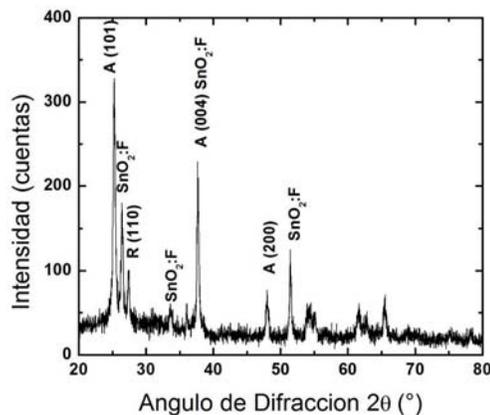


Figura 7. Difracción de rayos X de una película de dióxido de titanio P25, depositado sobre FTO. Anatasa (A) y rutilo (R). Los picos adicionales corresponden al $\text{SnO}_2\text{:F}$.

2.4 Caracterización morfológica por microscopías de luz, electrónica de transmisión y barrido de las películas de TiO_2 .

El estudio de la morfología a bajas ampliaciones ha sido llevado a cabo con un microscopio de luz con iluminación rasante,

técnica que nos permite resaltar por el contraste de sombras e iluminaciones la superficie, en este caso de la superficie del recubrimiento de la pasta de TiO_2 , los resultados han servido para estimar la calidad del recubrimiento especialmente en el control de la población de grietas, aglomerados y texturas, permitiéndonos medir el espesor de dichos recubrimientos a partir de una fractura del sistema vidrio-recubrimiento, esta técnica tiene la gran ventaja de ser muy sencilla y accesible, pues solo requiere de un microscopio de luz, iluminación externa rasante de intensidad controlada y una cámara fotográfica digital. Los resultados de estos análisis se aprecian en la Figura 8.

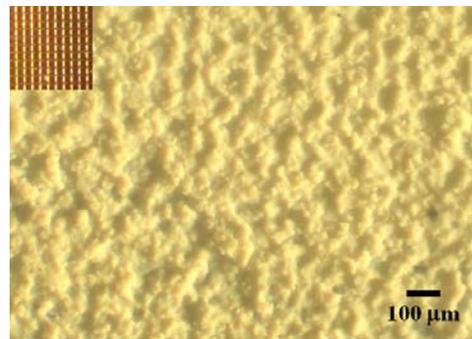


Figura 8. Micrografía de luz de la superficie del TiO_2 aplicado por la técnica de screen printing, se muestra red y barra de calibración.

Una alternativa fácil y económica para la medición del espesor es la microscopía de luz que nos permite hacerlo con rapidez. En la Figura 9 se aprecia la micrografía de una fractura donde se puede medir el espesor del recubrimiento soportado por el vidrio, en esta prueba preliminar resultó ser de aproximadamente 50 μm .

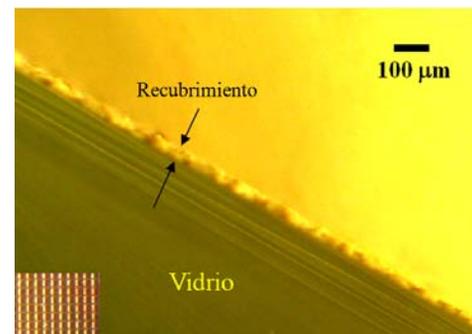


Figura 9. Micrografía de luz de una fractura del sistema vidrio-recubrimiento, se aprecia red y barra de calibración y el recubrimiento entre flechas.

La morfología y la caracterización de la estructura cristalina del TiO_2 P25 se ha

realizado por medio de la microscopía electrónica de transmisión empleando un TEM Philips EM 400 operando a 80 kV y su correspondiente difracción electrónica, los resultados gráficos se pueden apreciar en la Figura 10. La morfología superficial de las películas de óxido de titanio fue estudiada con mayor resolución y se hizo por microscopía electrónica de barrido, empleando el microscopio Philips 505 operado a 15 kV.

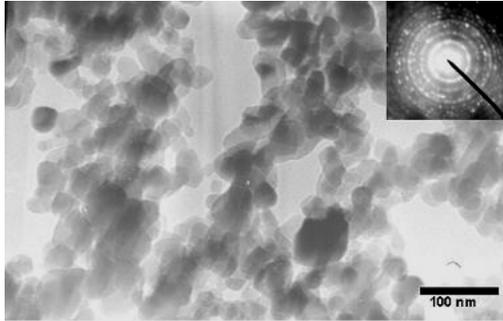


Figura 10. Micrografía TEM de nanopartículas de óxido de titanio. En la esquina se muestra el patrón de difracción electrónica de las nanopartículas.

La Figura 11 muestra las micrografías de las películas depositadas empleando una pasta a base de P25 y pasta Dyesol, pero con mayor resolución que las obtenidas por microscopia de luz, estas micrografías corresponden a un mayor detalle que las obtenidas en la Figura 8. Como se puede observar se presentan micro grietas superficiales en ambos recubrimientos, la película obtenida de pasta a base de P25 muestra mayor número de rajaduras que están en el orden de micrómetros; mientras en la película obtenida de pasta comercial Dyesol se observa menor presencia de rajaduras, pero de mucho mayor tamaño (decenas de micrómetros).

La Figura 12 muestra las ampliaciones de la Figura 11, en ella claramente se puede apreciar que la muestra obtenida a partir de la pasta de P25 presenta conglomerados de mayor tamaño observándose notorias irregularidades superficiales.

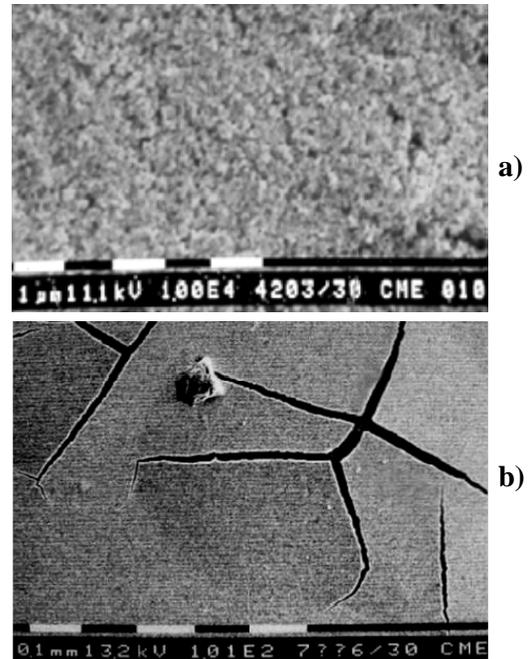


Figura 11. Micrografías SEM de películas de TiO_2 depositado sobre $\text{SnO}_2:\text{F}$ para (a) pasta a base de P25 y (b) pasta Dyesol.

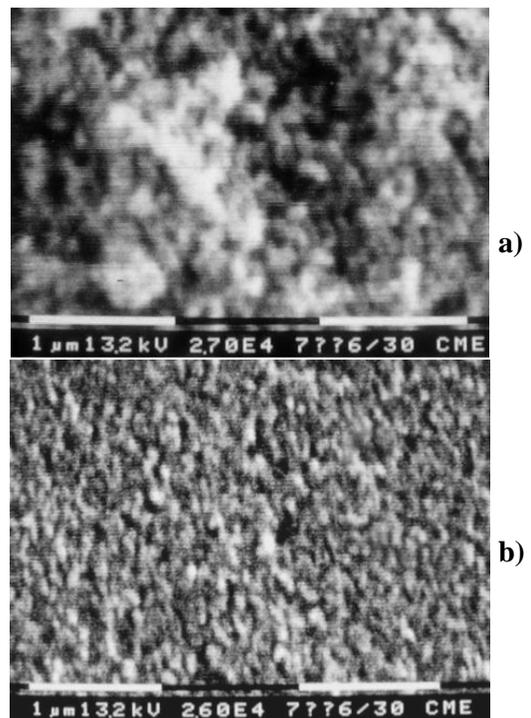


Figura 12. Micrografías SEM de películas de TiO_2 sobre sustrato de $\text{SnO}_2:\text{F}$ para (a.) pasta a base de P25 y (b.) pasta comercial (Dyesol). M 27000X.

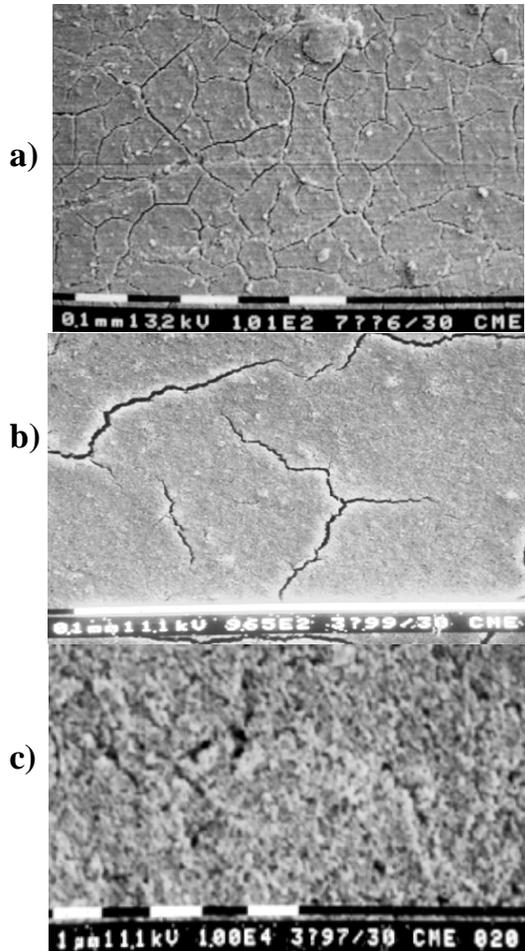


Figura 13. a): Fracturas presentes en la superficie b y c): superficies de las películas de TiO_2 antes y después del tratamiento térmico.

La Figura 13 muestra micrografías de barrido de la superficie de las películas de TiO_2 antes y después del tratamiento térmico, después del tratamiento térmico se observa una superficie más homogénea con relación a la presencia de cavidades entre los conglomerados cristalinos, lo que podría entenderse luego del proceso de sinterizado. En la parte superior de la micrografía se muestra claramente fracturas superficiales del recubrimiento semiconductor. La presencia de estos defectos favorecería procesos de recombinación y falta de conductividad que para este caso resultan no deseados en el sistema.

La Figura 14 muestra micrografías SEM de secciones transversales de los recubrimientos de películas de TiO_2 constituidas por (a) una y (b) dos capas, dichos recubrimientos fueron realizados mediante el sistema screen printing, se puede ver que el recubrimiento de una capa tiene un espesor entre 5 y 7 micras, mientras la película de dos capas tiene un espesor de $\sim 20 \mu\text{m}$.

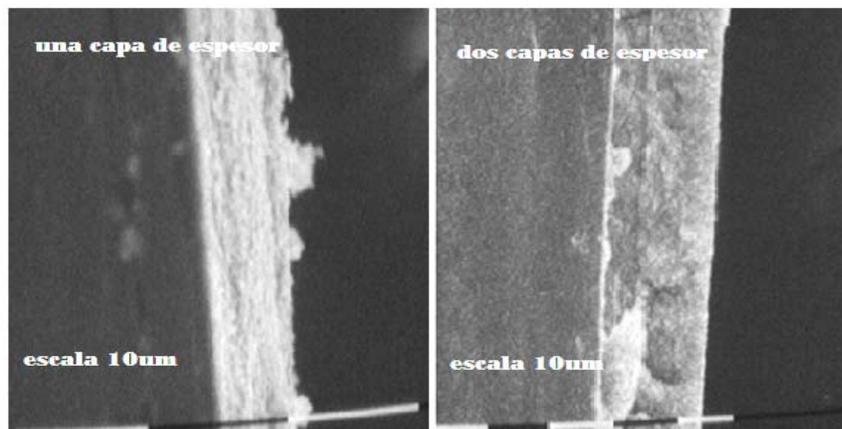


Figura 14. Micrografías SEM de los espesores de las películas de TiO_2 de una y dos capas de depósito.

2.5 Espectroscopía infrarroja con transformada de Fourier (FTIR) de las películas de TiO_2

La Figura 15 muestra el espectro de

absorción en la región infrarroja de un recubrimiento de dióxido de titanio antes y después del proceso de sensibilización. Claramente se pueden identificar grupos

funcionales asociados al colorante en la película sensibilizada, tal como se puede

apreciar en dicha figura.

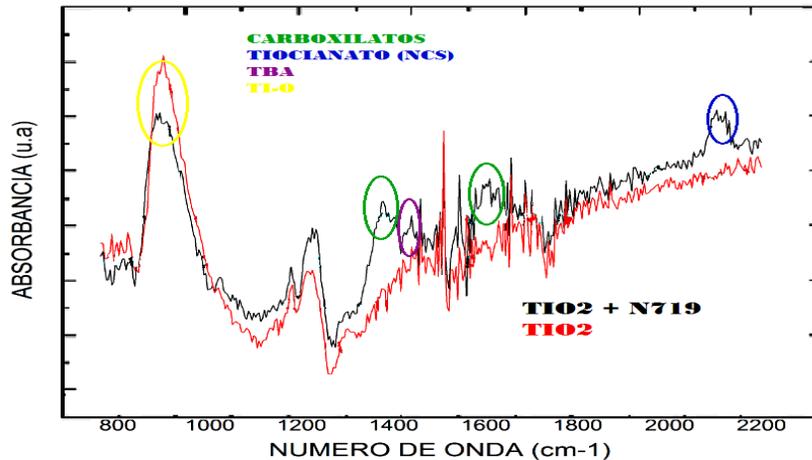


Figura 15. Espectro de absorción FTIR de la película de TiO_2 sin colorear y coloreada.

2.6 Caracterización corriente-voltaje de las celdas sensibilizadas de TiO_2

Para efectuar las mediciones de la respuesta fotoeléctrica de las celdas solares se tomó como referencia el diagrama mostrado en la Figura 16, que muestra los componentes de las distintas capas con que cuenta la celda.

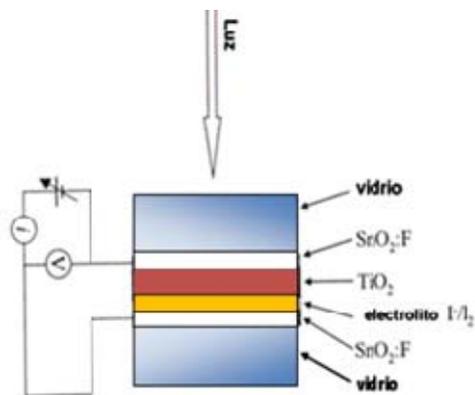


Figura 16. Representación del circuito para la medida de las características corriente-voltaje de las celdas solares sensibilizadas a base de óxido de titanio nanoporoso.

2.7. Influencia de la intensidad de iluminación sobre la respuesta corriente-voltaje de la celda

Se estudió la variación de la eficiencia de las celdas con respecto a la intensidad de la iluminación que recibe utilizando distintas intensidades de iluminación, esto se consiguió alejando o acercando la fuente de

luz a la celda en evaluación. Una mejor respuesta se consiguió con la intensidad estándar de 1000 W/m^2 tal como se aprecia en la Figura 17.

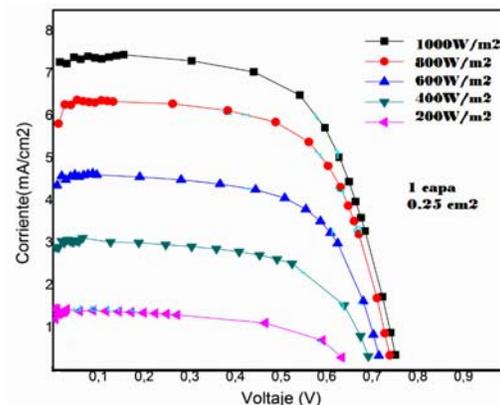


Figura 17. Variación de la eficiencia de la celda de TiO_2 con respecto a la intensidad de la luz.

La Figura 18 muestra la evaluación corriente-voltaje de una celda solar ensamblada empleando como electrodo de trabajo una película de óxido de titanio P25. Como se observa, el voltaje de circuito abierto alcanza un valor máximo de 880 mV y la corriente de corto circuito un valor de 2.7 mA.

Por otro lado, la Figura 19 muestra la curva característica corriente-voltaje para una celda ensamblada usando un electrodo de trabajo depositado empleando la pasta comercial Dyesol.

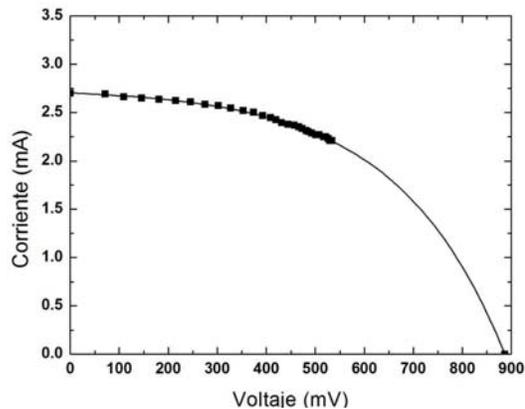


Figura 18. Característica corriente-voltaje para una celda solar basada en una pasta preparada a base de nanopartículas de óxido de titanio comercial P25.

Se pudo observar que el voltaje de circuito abierto muestra un valor aproximado de 830 mV y la corriente de corto circuito está aproximadamente en 3.26 mA.

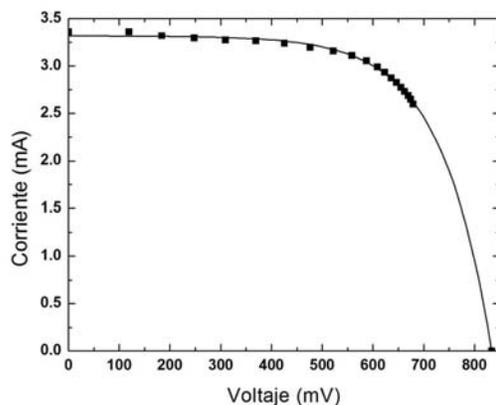


Figura 19. Característica corriente-voltaje para una celda solar basada en pasta comercial de óxido de titanio Dyesol.

3. Discusión de resultados

Se obtuvieron recubrimientos de TiO_2 de espesor definido sobre vidrios conductores, la caracterización cristalina de estas películas fue realizada mediante difracción de rayos X y de electrones, se comprobó la presencia de la anatasa y rutilo, así como las transformaciones de fase durante el tratamiento térmico y con tamaños de grano que se encuentran entre 30 y 50 nm respectivamente.

La morfología de los recubrimientos fue analizada por microscopía de luz, electrónica de transmisión y de barrido, donde se pueden observar las modificaciones que se presentan

en las películas antes y después del tratamiento térmico.

Las características corriente-voltaje de las celdas dio como resultado que para una celda con P25 el voltaje de circuito abierto alcanza un valor máximo de 880 mV y la corriente de corto circuito un valor de 2.7 mA y para la pasta Dyesol, 830 mV y la corriente de corto circuito es de aproximadamente 3.26 mA.

Los logros alcanzados hasta ahora son solo el punto de partida, ya que los materiales, dispositivos, la experiencia adquiridas por los investigadores y estudiantes servirán para continuar con proyectos mayores hasta alcanzar un completo dominio de la construcción de celdas solares sensibilizadas amigables con el medio ambiente y aportando soluciones a problemas energéticos.

4. Agradecimientos

Al CONCYTEC por la subvención del Proyecto PROCYT : 341-2011 CONCYTEC OAJ.

5. Bibliografía

- [1]. Brattain WH, Garrett CGB. Bell Syst. Tech. J. 34: 129 (1955)
- [2]. O'Regan B, Grätzel M. Nature 353,737 (1991).
- [3]. SOLARONIX SA. [homepage de Internet]. Disponible en: <http://www.solaronix.com/>
- [4]. Gomez Mónica. Photoelectrochemical and physical properties of sputter deposited titanium oxide electrodes—A new option for dye-sensitised nanocrystalline solar cells.[Tesis Ph.D.]. Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ciencias; 2001.
- [5]. Fahmi A, Minot C. Phys. Rev. B 47: 11717(1993).
- [6]. Dyesol Limited (ASX: DYE) [homepage de Internet]. Disponible en: <http://www.dyesol.com/>
- [7]. Xia J, Yanagida S. Solar Energy 85, 12:3143 (2011).
- [8]. Miguel Angel Martín Barreales Miguel. Sensores de estado sólido para gases contaminantes integrados en un sistema de redes neuronales. [Tesis Ph.D.]. Madrid, España: Universidad Complutense de Madrid; 2000.

Origen de los manantiales de la Costa Verde

Rubén Rojas¹, Modesto Montoya^{1,2,*}, Enoc Mamani¹, Eduardo Montoya¹, Óscar Baltuano¹, José Maguiña¹, Patricia Bedregal¹, Lucy Coria², Alcides Guerra³, Santiago Justo³, Tania Churasacari³

¹ Instituto Peruano de Energía Nuclear, Canadá 1470, San Borja, Lima, Perú

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

³ Universidad Ricardo Palma, Av. Benavides 5440, Santiago de Surco, Lima, Perú

Resumen

Este trabajo trata de determinar el origen de los manantiales de la playa Costa Verde, situada en los distritos de Barranco, Miraflores y Magdalena de la provincia de Lima, Perú. Esos manantiales, cerca y a nivel del mar, sobreviven al proceso de urbanización de los terrenos de cultivo, iniciado en la década de los años 70, el que mermó el nivel freático del acuífero de Lima e hizo desaparecer las filtraciones de agua en los acantilados. Para identificar el origen se ha efectuado análisis isotópico, físico químico y bacteriológico de muestras tomadas de 5 manantiales. Los valores de conductividad y temperatura, determinados *in situ*, son similares a los obtenidos en aguas del acuífero de Lima. Los análisis en laboratorio no mostraron indicios significativos de coliformes fecales ni totales, descartando posibles filtraciones de la red de alcantarillado de Lima. Las concentraciones isotópicas del agua difieren del promedio de las obtenidas para las aguas del acuífero de Lima, recargado por infiltraciones del río Rimac. Estos resultados sugieren que las aguas de los manantiales de la Costa Verde provienen de una recarga directa en la cuenca media del río, producto de la infiltración del río o de precipitaciones a una altitud del orden de 3600 m.

Descriptor: Acuífero, Agua, Costa, Hidrología isotópica

Abstract

This paper tries to determine the origin of springs on the beach Costa Verde, located in the district of Barranco, Miraflores and Magdalena, province of Lima, Peru. These springs, near and at sea level, survive the process of urbanization of agricultural land, started in the early 70s, which decreased the water table aquifer of Lima, and wiped the water leaks into the cliffs. To identify the source isotope physical, chemical and bacteriological of samples taken from five springs analysis has been carried out. The conductivity and temperature, measured *in situ*, are similar to those obtained on Lima aquifer waters. The laboratory analysis showed no significant signs of total or fecal coliform, discarding possible leakage from sewerage Lima. The water isotopic concentrations on springs differ from the average obtained on Lima aquifer waters, recharged by infiltration of the Rimac River. These results suggest that the water from the springs of Costa Verde come from a direct recharge in the basin of the river, due to infiltration of rainfall or river at an altitude of about 3600 m.

Keywords: Aquifer, Water table, Coast, Isotopic hydrology

1. Introducción

Entre los 1989 y 1992, profesionales del IPEN y del Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima (SEDAPAL), empresa encargada del abastecimiento de agua a Lima, con el auspicio y asesoramiento del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), llevaron a cabo estudios sobre el acuífero de Lima [1] y sobre el origen de las aguas del túnel Graton [2]. En estos estudios se aplicaron técnicas isotópicas, con el fin de obtener mayor información hidrogeológica para una mejor gestión de los recursos hídricos para la ciudad de Lima. Los análisis isotópicos fueron efectuados en los laboratorios del OIEA de

Viena, Austria; y los análisis químicos se realizaron en los laboratorios de la empresa SEDAPAL. En estos estudios, i) se verificó que las aguas del acuífero de Lima provienen de la infiltración de los ríos Rímac y Chillón en la zona costera de sus cuencas, y se identificó sus respectivas áreas de recarga ii) se determinó que una parte de las aguas del túnel Graton proviene de infiltraciones de lluvias de la cuenca alta del río Mantaro iii) se determinó la gradiente de altitud de concentraciones de ²H y ¹⁸O en precipitaciones de las cuencas de los ríos Rímac y Chillón.

* Correspondencia autor: mmontoya@ipen.gob.pe

El túnel Graton fue construido por la empresa Cerro de Pasco Corporation en los años 50 con fines de drenaje de las galerías de mina de Casapalca. Este túnel tiene una longitud de 12 km; la boca, que se encuentra en la cuenca alta del río Rímac, tiene una cota de salida de 3200 msnm; y entrega un caudal que fluctúa entre 4 y 6 m³/s al río Rímac, el que junto al río Chillón y los más de 300 pozos perforados por la empresa SEDAPAL, abastecen de agua a Lima Metropolitana y el Callao, ciudades que juntas cuentan actualmente con una población de cerca de 10 millones de habitantes.

Por haber ocurrido frente a la playa, el proceso de extinción de manantiales de Lima ha sido más evidente en los acantilados de las playas de la Costa Verde, que es como se denomina al conjunto de playas de Barranco, Miraflores y Magdalena. Hasta los años 60, los bañistas todavía los usaban como duchas al salir del mar. Ahora solo quedan algunos manantiales a nivel del mar. Parte de las aguas que drenan se usan para riego de jardines de la zona, y el resto se vierte directamente al mar.

En este trabajo se tratará de determinar el origen y la hidrodinámica de los manantiales

remanentes de la playa Costa Verde. Para ello se efectuaron análisis isotópico, químico y bacteriológico.

2. Análisis isotópico

Los análisis isotópicos de las aguas de los manantiales de la Costa Verde fueron efectuados en los laboratorios del IPEN con el analizador isotópico de agua líquida LGR (de tecnología láser), con el que se determinó las concentraciones de los isótopos estables de ²H y ¹⁸O del agua, $\delta^2\text{H}$ y $\delta^{18}\text{O}$, respectivamente, de los manantiales estudiados. Los resultados de la concentración isotópica son expresados en valor δ en partes por mil (o/oo) referido a VSMOW (Vienna Standard Mean Ocean Water, patrón provisto por el OIEA). Los resultados son mostrados en la Tabla 1.

En la Figura 1 se ha graficado los valores $\delta^2\text{H}$ vs $\delta^{18}\text{O}$ de la Tabla 1 junto a los obtenidos en el año 1990 para el acuífero de Lima. Se puede apreciar que los valores de $\delta^2\text{H}$ de los manantiales de las playas de la playa Costa Verde están entre -101.92 o/oo y -108.31 o/oo y los de $\delta^{18}\text{O}$ están entre -14.41 o/oo y -15.41 o/oo.

Tabla 1. Valores de las concentraciones (δ) de ²H y ¹⁸O y desviaciones estándar (DE) de las aguas de manantiales de La Costa Verde (compuesta por playas de Barranco, Miraflores y Magdalena de Lima, Perú); de Huarangal en la cuenca del río Chillón, y del distrito de Villa María del Triunfo, efectuadas en noviembre y diciembre del 2012.

| Origen | $\delta^2\text{H}$ Valor (o/oo) | $\delta^2\text{H}$ DE (o/oo) | $\delta^{18}\text{O}$ Valor (o/oo) | $\delta^{18}\text{O}$ DE (o/oo) |
|-------------|---------------------------------|------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|
| Barranquito | -104.73 | 0.39 | -14.60 | 0.19 |
| Huarangal 1 | -96.36 | 0.59 | -13.01 | 0.03 |
| Huarangal 2 | -95.56 | 0.87 | -13.00 | 0.07 |
| La Estrella | -104.63 | 0.24 | -14.41 | 0.14 |
| Paraisol | -96.13 | 0.53 | -13.76 | 0.19 |
| Barranquito | -101.92 | 1.64 | -14.67 | 0.24 |
| La Estrella | -102.77 | 0.36 | -14.78 | 0.15 |
| Los Yuyos | -105.83 | 1.31 | -14.63 | 0.07 |
| Barranquito | -108.31 | 0.09 | -15.01 | 0.05 |
| La Estrella | -105.42 | 0.73 | -15.41 | 0.14 |
| La Estrella | -103.07 | 1.25 | -14.51 | 0.06 |
| Agua Dulce | -102.33 | 1.16 | -14.51 | 0.16 |
| Barranquito | -102.70 | 1.42 | -14.80 | 0.17 |
| Magdalena | -104.86 | 1.09 | -14.64 | 0.12 |

Nota: Resultados expresados en δ (o/oo) (delta por mil) referido al estándar VSMOW.

Estos valores muestran un desplazamiento del promedio de concentraciones isotópicas del $\delta^2\text{H}$ y $\delta^{18}\text{O}$ obtenido en los análisis isotópicos efectuados en el acuífero de Lima entre 1989 y 1990 en el sector recargado por el río Rímac (-102.9 y -13.97, respectivamente), hacia un sector que indica el empobrecimiento isotópico de las aguas, y sugiere proviene de una recarga directa de filtraciones de precipitaciones ocurridas en una zona ubicada a una altitud promedio del orden de 3600 msnm, según la gradiente de altitud isotópica determinada con la información de los años 1989 y 1990. En la Figura 2 se presenta las relaciones entre concentración y altura de las precipitaciones, medidas para estudiar el origen del túnel Graton, a ser publicadas por Rubén Rojas (IPEN) y Juan Carlos Ruíz (SEDAPAL) y comunicadas en forma personal.

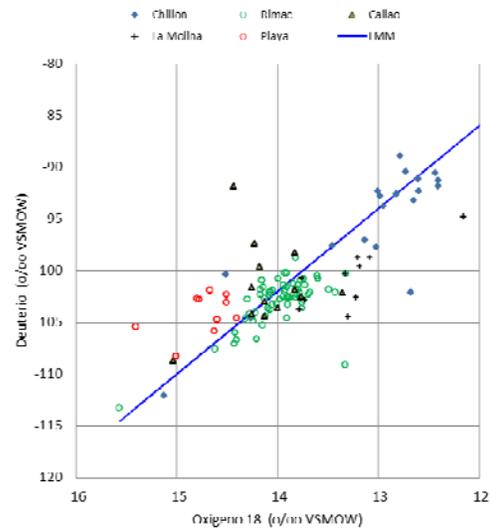


Figura 1. Isótopos estables de aguas del acuífero de Lima y de manantiales de la Costa Verde.

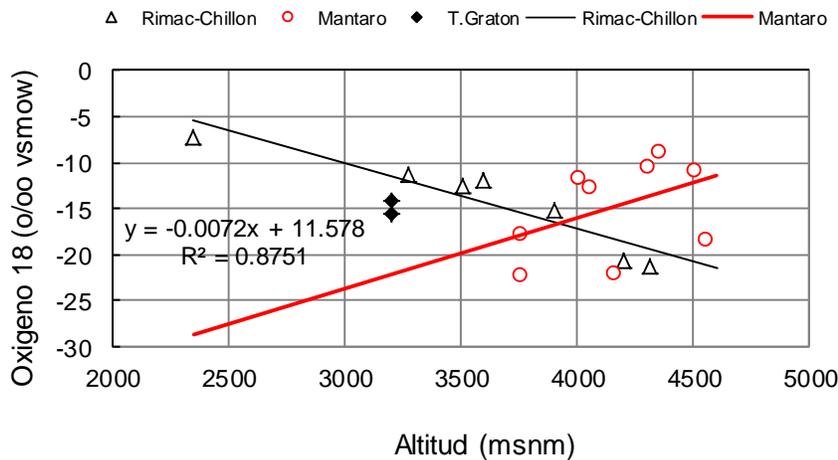


Figura 2. Concentraciones de aguas y la altura de su precipitación y concentraciones del agua del río Rímac y del túnel Graton. Datos comunicados por Rubén Rojas (IPEN) y Juan Carlos Ruiz (SEDAPAL).

Los valores de muestras del manantial MHUA1 y MHUA2 ubicados frente al Centro Nuclear de Huarangal, son compatibles con las características de aguas de la cuenca del río Chillón al que pertenece. Las aguas de los manantiales de Villa María del Triunfo (sur de Lima) muestran un origen diferente al resto que requiere estudios adicionales.

2.1 Análisis físico químico

Las aguas de las playas Barranquito y La Estrella tienen una temperatura de 23 °C y 22.5 °C, respectivamente; mientras que el agua del mar tiene una temperatura de

17.7 °C. El agua de Barranquito tiene una conductividad de 0.77 mS/cm, y la de La Estrella 0.93 mS/cm; mientras que la del mar tiene una muy alta conductividad que esta fuera del rango de medición del equipo. Ver Tabla 2.

Tabla 2. Parámetros físico químicos medidos en campo.

| Manantial | Conductividad Eléctrica (mS/cm) | Temp (C) |
|-------------|-------------------------------------|----------|
| Barranquito | 0.77 | 23 |
| Estrella | 0.93 | 22.5 |
| Mar | Muy alta, fuera de rango del equipo | 17.7 |

En la Tabla 3 se presenta los valores de pH y las concentraciones ($\mu\text{g} / \text{L} \pm \text{IC}$) de algunos

Tabla 3. Resultados de la medición de pH y de las concentraciones ($\mu\text{g} / \text{L} \pm \text{IC}$) de algunos elementos de los manantiales de la Costa Verde. Los valores están en los rangos permitidos. El manantial de Magdalena muestra mayor concentración de As que los otros.

| | pH | As | Cd LD=1 | Co | Cr LD=.5 | Cu | Fe LD=1 | Pb LD=.5 |
|----------------|------|-----------------|------------|-------|-------------|------|------------|-------------|
| CV Agua Dulce | 7.03 | 1.80 \pm 0.10 | ND | < 0.5 | < 0.7 | < 6 | ND | ND |
| | 6.95 | 2.0 \pm 0.3 | ND | <0.5 | ND | <0.6 | ND | ND |
| Los Yuyos | 7.13 | 2.0 \pm 0.5 | ND | < 0.5 | < 0.7 | < 6 | ND | ND |
| | 7.12 | 1.90 \pm 0.20 | ND | <0.5 | ND | <6 | ND | ND |
| CV Barranquito | 7.16 | 1.5 \pm 0.4 | ND | <0.5 | <0.7 | <6 | ND | ND |
| | 7.23 | 1.80 \pm 0.20 | ND | <0.5 | ND | <6 | ND | ND |
| CV La Estrella | 7.14 | 2.00 \pm 0.10 | ND | <0.5 | <0.7 | <6 | ND | ND |
| | 7.2 | 2.20 \pm 0.10 | ND | <0.5 | <0.7 | <6 | ND | ND |
| CV Magdalena | 6.88 | 5.60 \pm 0.20 | ND | <0.5 | ND | <6 | ND | ND |
| | 6.97 | 5.70 \pm 0.10 | ND | <0.5 | 0.7 | <6 | ND | ND |
| | 6.95 | 6.0 \pm 0.4 | ND | <0.5 | ND | <6 | ND | ND |

2.2 Análisis bacteriológico

Los análisis bacteriológicos fueron llevados a cabo en los laboratorios de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Ricardo Palma.

Para la determinación del total de coliformes se ha usado la técnica estándar por fermentación 9221B para el análisis de agua y desagüe [3]. Los resultados son presentados en la Tabla 3. Los coliformes son 7 por 100 ml para el manantial de Barranquito y 13 por 100 ml para el manantial de la playa Estrella.

El número de coliformes fecales se ha medido con el procedimiento 9221E para el análisis de agua y desagüe [3]. No se ha detectado coliformes fecales en ninguno de los dos manantiales analizados cuando no hay riesgo de contaminación por bañistas.

elementos en muestras de los manantiales de la Costa Verde. Para los análisis se ha usado la técnica de espectrometría de absorción atómica. Los resultados muestran que el agua está limpia. Todas las muestras presentan concentraciones de contaminantes menores que el máximo permisible y en varios casos ni siquiera son concentraciones detectables. Las tres muestras de Magdalena presentan concentraciones de arsénico claramente superiores que el resto de las muestras.

La contaminación por *Escherichia coli* se medió por el método estándar para el análisis de agua y desagüe 9221 F [3]. No se encontraron evidencias de contaminación bacteriológica en aguas de los acuíferos de la playa Costa Verde, pero si en las muestras de aguas de Villa María del Triunfo, donde se determinó que el total de coliformes es de 1600 y el número de coliformes fecales es de 319 por 100 ml.

La diferencia en el nivel de contaminación orgánica de los manantiales de la playa Costa Verde y los de Villa María del Triunfo, sugiere que estos últimos atraviesan zonas contaminadas cercanas a la superficie, debido a la alta densidad de población con limitados servicios de agua y desagüe que caracterizan la zona.

En los laboratorios de química analítica del IPEN se midió los contenidos de plomo, cadmio, mercurio y arsénico en las aguas de los manantiales de Villa María del Triunfo. Se usó la técnica de “Square Wave Anodic

Stripping Voltammetry” (SWASV). Los contenidos de plomo, cadmio, mercurio y arsénico resultaron, respectivamente, menores a 2 microgramos por litro.

Tabla 4. Resultados del análisis bacteriológico de las aguas de los manantiales La Estrella y Barranquito de la Costa Verde (realizados en diciembre del 2012), así como de un pozo y un manantial del distrito de Villa María del Triunfo (Sur de Lima).

| Manantial y coordenadas | Fecha y hora | N.M.P Col./100ml | | H |
|--|--------------|------------------|---------|----|
| | | Totales | Fecales | |
| Agua Dulce 12°9'31.71''S 77°1'35.43''O Elev. 2m | 15/02/13 | 4 | 0 | 35 |
| Los Yuyos 12°9'14.24''S 77°1'44.42''O Elev. 10m. | 15/02/13 | 2 | 0 | 41 |
| Barranquito 12°8'42.57''S 77°1'33.37''O Elev. 9m. | 18/12/12 | 13 | 0 | 12 |
| | 15/02/13 | 4 | 0 | |
| Estrella 12°8'14.88''S 77°1'43.77''O elev. 10m | 18/12/12 | 7 | 0 | |
| Magdalena 12°6'22.23''S 77°3'40.63''O Elev. 14m. | 24/01/13 | 0 | 0 | |
| VMT Paraíso1 12°08'47.52''S 76°56'08.82''O Elev. 319m | 02/01/13 | >1600 | 319 | |
| VMT Paraíso2 12°08'41.82''S 76°55'30.81''O Elev. 467m | 02/01/13 | 0 | 500 | |

3. Conclusiones

Los análisis isotópicos de aguas de los manantiales de la Costa verde de los distritos Miraflores y Magdalena de la provincia de Lima, Perú, sugieren que tienen una hidrodinámica un tanto diferente del acuífero de Lima y provienen de filtraciones de precipitaciones ocurridas en zonas ubicadas a una altitud promedio del orden de 3600 msnm.

El bajo o nulo número coliformes fecales y coliformes totales en muestras tomadas el mes de diciembre, antes de la temporada veraniega, refuerzan esta hipótesis. Los resultados mostrados son preliminares y requieren análisis de mayor cantidad de muestras en diversos periodos del año, así como análisis de los tiempos de residencia.

4. Agradecimientos

Agradecemos a Wilfredo Cárdenas Sulca, estudiante de Ingeniería Ambiental y Darío Ccaccya Ccaccya, estudiante de Ingeniería Ambiental, ambos de la Universidad Nacional Tecnológica del Cono Sur de Lima (UNTECS), por haber ubicado y habernos

guiado a los manantiales Paraíso del distrito de Villa María del Triunfo, y por su labor de promoción y preservación de la biodiversidad en la zona.

5. Referencias

- [1]. J.C. Ruiz y R. Rojas Molina. Estudio hidrológico del acuífero de Lima (Perú) aplicando técnicas isotópicas, Estudios de Hidrología Isotópica en América Latina 1994. IAEA TECDOC – 635, Organismo Internacional de Energía Atómica, octubre 1995.
- [2]. A. Plata Bedmar y R. Rojas Molina. Origen de las aguas que drena el túnel Graton. Informe OIEA. INIS-PE-95-02, 1995.
- [3]. Standard Methods for the examination of water and wastewater 21st. Edition 2005.

Efecto de la radiación en las características microbiológicas, físico químicas y evaluación sensorial de la Cúrcuma (*Curcuma longa*)

Johnny Vargas*, Mónica Vivanco, Emma Castro

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

Resumen

La cúrcuma o palillo es una especia que se utiliza en los alimentos como condimento o colorante, es susceptible a la contaminación microbiana, pudiendo producir enfermedades y descomposición de los alimentos. En este estudio se presentan los resultados de la evaluación en cúrcuma o palillo micropulverizado y entero empleando radiación gamma a dosis de 3, 5, 8 y 12 kGy (Análisis dosimétrico, análisis microbiológico de recuento de microorganismos aerobios mesófilos y número de Coliformes totales). En otro lote de cúrcuma muestras de 500 g fueron irradiadas en el equipo Gammacell 220 a dosis de 0, 4, 5 y 6 kGy. La tasa de dosis inicial fue de 5.82 kGy/h. Las muestras fueron sometidas a los siguientes análisis: microbiológicos (Aerobios mesófilos, anaerobios, entero bacterias, *Salmonella/Shigella*, Coliformes totales, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus* grupo D Lancefield, *Bacillus cereus*, *Clostridium* sulfito reductor, mohos y levaduras); físico-químicos (cenizas totales, cenizas insolubles en HCl, extracto alcohólico, aceite esencial y extracto etéreo); evaluación sensorial (color, olor y sabor mediante untest descriptivo). Los métodos de análisis, fueron los recomendados por la FDA, APHA, AOAC y las NTP. A las diferentes dosis ensayadas, no se encontraron diferencias en los análisis físico-químicos y sensoriales. La dosis mínima que garantiza la inocuidad de la cúrcuma fue de 6 kGy que redujo la población de microorganismos aerobios mesófilos en 5 ciclos logarítmicos de $1,3 \times 10^5$ a <10 UFC/g. También fue suficiente para reducir la población de levaduras, *Bacillus cereus*, *Clostridium* sulfito reductor en 2 ciclos logarítmicos a <10 UFC/g, cumpliendo con las especificaciones requeridas y sin alterar las características físico-químicas y la evaluación sensorial.

Abstract

Turmeric or stick is a spice used in food as a flavouring or coloring, it is capable to microbial contamination, which can cause disease and food spoilage. In this study we present the results of the evaluation on turmeric or stick micropulverized integer by using gamma radiation at doses of 3, 5, 8 and 12 kGy (Analysis dosimetry, microbiological analysis of aerobic plate count and total coliform number). In another batch, samples of turmeric, with masses of 500 g were irradiated at Gammacell equipment 220 at doses of 0, 4, 5 and 6 kGy. The initial dose rate was 5.82 kGy/h. The samples were subjected to the following tests: microbiological (mesophilic aerobes, anaerobes, Enterobacteriaceae, Salmonella /Shigella, total coliforms, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, Streptococcus group D Lancefield, *Bacillus cereus*, *Clostridium* sulphite reducer, molds and yeasts); physical chemical (total ash, ash insoluble in HCl, alcoholic extract, essential oil and ether extract) sensory evaluation (color, smell and taste by a descriptive test). Analytical methods were those recommended by the FDA, APHA, AOAC and NTP. At different tested doses, we found no differences in physical-chemical and sensory. The lowest dose that ensures the safety of turmeric was 6 kGy reduced the mesophilic population over 5 log units of 1.3×10^5 to <10 CFU/g. It was also enough to reduce the population of yeast, *Bacillus cereus*, *Clostridium* sulfite reducer 2 log cycles at <10 CFU/g, meeting the required specifications without altering the physics-chemical and sensory evaluation.

1. Introducción

La cúrcuma o palillo es una especia que se utiliza en los alimentos como condimento o colorante y es susceptible a la contaminación microbiana, que puede producir enfermedades y descomposición de los alimentos. Por lo general se utiliza en pequeñas cantidades, pero la alta población microbiana, la presencia de microorganismos indicadores

y patógenos puede afectar la salud del consumidor.

Las especias contienen frecuentemente gran número de microorganismos causantes de descomposición o de enfermedades cuando se incorporan a los alimentos, la población microbiana puede sobrepasar el nivel de 10^8

* Correspondencia autor: jvargas@ipen.gob.pe

UFC/g (cien millones de unidades de microorganismos formadores de colonias) y la carga de hongos puede llegar a veces a 10^5 - 10^6 UFC/g [1].

El problema de la cúrcuma puede estar dado por la contaminación cruzada, ya sea en los hogares o la industria, por lo que es importante que el producto llegue inocuo a la cocina o planta de procesamiento. La ventaja de la tecnología de irradiación es su gran penetrabilidad y se puede procesar grandes volúmenes de alimentos ya sea envasados, sellados dentro de cajas, tambores o cilindros, garantizando su inocuidad sin elevar la temperatura, por lo que se le conoce como físico de radiaciones electromagnéticas pico-onda en frío. La irradiación puede ser utilizada para corregir deficiencias de calidad y deberá evitarse la excesiva contaminación con microorganismos e insectos antes de la irradiación.

Cuando se efectúan pruebas mediante métodos apropiados de muestreo y análisis, las especias, hierbas y otros sazoadores vegetales no tratados, cosechados y manipulados bajo adecuadas condiciones higiénicas deberán presentar:

- No más de 10^4 bacterias coliformes por g.
- No más de 10^5 propágulos de mohos por g [2].

Los objetivos de la irradiación en Cúrcuma molida fueron:

- Reducir la población microbiana de microorganismos aerobios mesófilas, mohos y levaduras.
- Reducir el número de bacterias patógenas sin alterar significativamente sus características físico-químicas y sensoriales.

La irradiación no se utiliza para la preservación de estos productos, ya que este proceso se obtiene mediante el empaque, almacenamiento adecuado y secado apropiado.

1.1. Características del producto a irradiar

Las consideraciones tomadas en cuenta son la calidad y el uso de las buenas prácticas de producción. La irradiación puede ser utilizada para corregir deficiencias de calidad. Deberá evitarse la excesiva contaminación con

microorganismos antes de la irradiación.

2. Experimental

Se obtuvieron las muestras de empresas agroexportadoras. Antes de la irradiación de las muestras se realizó la dosimetría ASTM E 1026 – 2004 Practice for Using the Fricke Reference Standard Dosimetry System, para hallar la tasa de dosis y calcular los tiempos de exposición a la radiación gamma y aplicar las diferentes dosis seleccionadas para la investigación.

Esta práctica se aplica solamente a rayos gamma, rayos X y electrones de alta energía; asimismo, señala que el intervalo de dosis absorbida debe ser entre 20 a 400 Gy y la tasa de dosis no debe superar $10^6 \text{Gy}\cdot\text{s}^{-1}$ [3].

Los métodos empleados en los análisis físico-químicos y las especificaciones para cúrcuma fueron consultados de la AOAC y las Normas Técnicas Nacionales (1984).

Los métodos empleados en los análisis microbiológicos fueron realizados de acuerdo con lo señalado por la FDA (6ta. Edición)

La evaluación sensorial se realizó mediante la prueba de comparación que permite encontrar diferencias entre dos o más muestras cuando estas son presentadas a los panelistas, quienes dan sus respuestas o calificaciones a través de términos descriptivos. Con el objeto de obtener una medición cuantitativa se puntuaron los resultados sobre una escala hedónica de 1 a 5 puntos, donde:

| | |
|---------------|------------|
| Excelente | - 5 puntos |
| Bueno | - 4 puntos |
| Satisfactorio | - 3 puntos |
| Regular | - 2 puntos |
| Malo | - 1 punto |

Intervinieron en el desarrollo de esta prueba 5 panelistas.

3. Resultados y Discusión

En la Tabla 1 podemos apreciar que la cúrcuma presenta una elevada contaminación de aerobios mesófilos de $1,3 \times 10^5$ UFC/g y al aplicarse la dosis de 6 kGy se logra reducir 5 ciclos logarítmicos (<10 UFC/g) en lo que respecta a los hongos, podemos notar que es suficiente una dosis de 4 kGy para reducir completamente la presencia de hongos $a < 10$ UFC/g.

Tabla 1. Análisis microbiológico en cúrcuma.

| Determinaciones | Control | 4 kGy | 6 kGy |
|--------------------------------------|---------------------|---------------------|---------|
| R. Aerobios mesófilos UFC/g | 1,3x10 ⁵ | 7,9x10 ³ | <10 |
| Recuento de Hongos UFC/g | 1,5x10 | <10 | <10 |
| Recuento Levaduras UFC/g | 1,8x10 ² | <10 | <10 |
| R. Anaerobios UFC/g | 5,7x0 ⁴ | <10 | <10 |
| Enterobacterias UFC/g | <10 | <10 | <10 |
| D. <i>Salmonella/Shigella</i> (25g) | Ausente | Ausente | Ausente |
| Coliformes totales (NMP/g) | 4,3 | <0,3 | <0,3 |
| Detección <i>E. coli</i> (en 25g) | Ausente | Ausente | Ausente |
| R <i>Clostridium sulfito r</i> UFC/g | 10 ² | <10 | <10 |
| <i>Staphylococcus aureus</i> en 5 g | Ausente | Ausente | Ausente |
| Streptococos GD Lancefield | 110 | <0,3 | <0,3 |
| <i>Bacillus cereus</i> UFC/g | 1,8x10 ² | <10 | <10 |

También a dosis de 6 kGy se reduce en 2 ciclos logarítmicos la presencia de levaduras, *Bacillus cereus*, *Clostridium sulfito reductor* (<10 UFC/g).

Tabla 2. Análisis físico-químico en curcuma.

| Determinaciones | Control | 4 kGy | 6 kGy |
|---------------------------|---------|-------|-------|
| Cenizas totales (%) | 6,25 | 6,35 | 6,28 |
| Cenizas insolubles HCl% | 1,35 | 1,27 | 1,10 |
| Extracto alcohólico (%) | 13,65 | 13,72 | 13,97 |
| Aceite esencial (ml/100g) | 1,70 | 1,50 | 2,00 |
| Extracto etéreo total (%) | 10,66 | 10,17 | 10,43 |

En lo que respecta a los análisis físico-químicos no hay diferencias a las dosis ensayadas y están dentro de las especificaciones de la Tabla 3, excepto en el porcentaje de aceite esencial que exige un mínimo de 4 % y los resultados de la investigación arrojan resultados entre 1,5 y 2, 8 % para el control y 6 kGy, sin influir en estos datos las dosis administradas y en el análisis de extracto etéreo, la norma demanda como mínimo un 10 % y en las muestras ensayadas, todas las muestras están por encima del 10,00 por lo que el efecto de la irradiación no tiene influencia en esta comparación.

Tabla 3. Especificaciones de análisis químico [4].

| Determinación | Especificación | Referencia |
|----------------------|----------------|--------------------|
| Cenizas totales | Máximo 8.0 % | N. ITINTEC 209.199 |
| Ceniza insoluble HCl | Máximo 1.5 % | N. ITINTEC 209.199 |
| Extracto alcohólico | Mínimo 5.0 % | N. ITINTEC 209.199 |
| Extracto etéreo | Mínimo 10.0 % | N. ITINTEC 209.199 |
| Aceite esencial | Mínimo 4.0 % | N. ITINTEC 209.199 |

Con relación al análisis sensorial no se encontraron diferencias entre el control y las diferentes dosis ensayadas, al evaluarse cuantitativamente, los jueces panelistas

calificaron con un promedio de puntaje de 4 sobre una escala hedónica de 1 a 5, correspondiendo a este puntaje una calificación de Bueno para todos los tratamientos.

Tabla 4. Análisis sensorial en cúrcuma.

| Atributo | Control | 4 kGy | 6 kGy |
|----------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Color | Característico | Característico | Característico |
| Olor | Aromático punzante | Aromático punzante | Aromático punzante |
| Sabor | Picante | Picante | Picante |
| Califica | Bueno | Bueno | Bueno |
| Puntaje | 4 | 4 | 4 |

4. Conclusiones

A dosis de 6 kGy las características físico-químicas y sensoriales no son afectadas significativamente; mientras que a una dosis de 6 kGy, en cúrcuma molida, reduce la población de microorganismos de aerobios mesófilos en 5 ciclos logarítmicos, cumpliendo con las especificaciones. Dosis de 6 kGy elimina microorganismos levaduras, *Bacillus cereus* y *Clostridium sulfito reductor*

La muestra presentó una calidad microbiológica con predominio de microorganismos aerobios mesófilos del orden de 1,3x10⁵ UFC/g y recuento de anaerobios de 5,7x10⁴UFC/g, *Bacillus cereus* 6,0 x 10², hongos y levaduras.

En la muestra de cúrcuma molida no se encontró *Salmonella/Shigella*, *Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus*.

5. Bibliografía

- [1] Farkas J. Tratamiento de las especias por irradiación. En: IAEA. La irradiación de alimentos en Latinoamérica. IAEATECDOC 331. Viena, 1985. p. 123-143.
- [2]FAO/OIEA/OMS. Documento GCIIA N° 5. Código de las buenas prácticas de irradiación para el control de patógeno y otra microflora en especias, hierbas y otros sazoadores Vegetales.Viena, 1991.
- [3] American Society for Testing and Materials (ASTM). ASTM 1026 – 2004. Practice for using the Fricke reference standard dosimetry System. New York; 2004.
- [4] Instituto de Investigación Tecnológica Industrial y de Normas Técnicas. Norma ITINTEC 209.239, 1984

Evaluación de la contaminación atmosférica en puntos críticos de la ciudad de Lima y Callao, utilizando *Tillandsia capillaris* como biomonitor

Patricia Bedregal^{1,*}, Marco Ubillús¹, Jazmín Hurtado², Pablo Mendoza¹

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

² Facultad de Ciencias y Filosofía. Universidad Peruana Cayetano Heredia, Av. Honorio Delgado N° 430. Urb. Ingeniería, San Martín de Porres. Lima, Perú

Resumen

Se realizó una evaluación del nivel de contaminación atmosférica por metales pesados en la zona de Puerto Nuevo, Callao, empleando como biomonitor *Tillandsia capillaris*. Se aplicó el mismo monitoreo en el distrito residencial de San Isidro como control negativo a contaminación y como control positivo en el distrito de Ate, basados en un estudio previo realizado en ocho distritos de Lima Metropolitana. La cuantificación de los elementos químicos, se realizó utilizando la técnica de análisis por activación neutrónica instrumental, para la mayoría de elementos y espectrometría de absorción atómica, para cuantificar cadmio, cobre y plomo. Los resultados revelaron contaminación antropogénica con arsénico, cadmio, cobre, plomo, antimonio, selenio y zinc en los puntos críticos del Callao C 1, C 3 y C4 del Callao y en los puntos A 1, A 2 y A 3 de Ate, debido a emisiones vehiculares e industriales.

Abstract

An assessment of the level of contamination by heavy metals was conducted in the zone of Puerto Nuevo, Callao, using as biomonitor *Tillandsia capillaris*. The same monitoring was conducted in the residential district of San Isidro as a negative control of contamination and in the district of Ate as a positive one, based in a previous study carried out in eight districts of Metropolitan Lima. The quantification of the elements was performed using instrumental neutron activation analysis, for most of the elements and atomic absorption spectrometry to determine cadmium, copper and lead. The results revealed anthropogenic contamination with arsenic, antimony, cadmium, copper, lead, selenium and zinc in the sites C 1, C 3 and C4 of Callao and in the sites A 1, A 2 and A 3 of Ate.

1. Introducción

Lima-Callao corresponde al área metropolitana conformada por la ciudad de Lima y su proyección hacia el Norte, Sur y Este, que abarca gran parte de las provincias de Lima y Callao [1].

El crecimiento demográfico acelerado ha ocasionado, que algunas industrias ubicadas inicialmente en la periferia, queden dentro de la ciudad, rodeadas de viviendas y centros poblados. A esto se suma el incremento del tráfico vehicular en algunas zonas de la ciudad, emitiéndose contaminantes tóxicos a la atmósfera, cuya inhalación incrementa las posibilidades de experimentar problemas de salud en la población. La EPA [2] define un contaminante tóxico del aire, como una sustancia venenosa que proviene de fuentes naturales o antropogénicas y que puede dañar

el ambiente o la salud. Por otro lado, de acuerdo con la World Health Organization (WHO), la causa de enfermedades debidas a la contaminación del aire, responsables de más de dos millones de muertes prematuras cada año, pueden ser atribuidas a los efectos de la contaminación del aire exterior, e interior. Más de la mitad de estas enfermedades se producen en poblaciones de los países en desarrollo [3].

Así, por ejemplo, el cadmio y plomo son metales pesados con efectos adversos sobre la salud provocando, en el caso de cadmio, daño a los riñones, pulmones y huesos, y en el caso de plomo, al sistema nervioso, riñones y sistema reproductivo. Ambos son acumulativos, con una vida media biológica de varios años.

* Correspondencia autor: pbedregal@ipen.gob.pe

Preocupados por el nivel de contaminación en algunas zonas de Lima Metropolitana, se realizó un biomonitorio pasivo, utilizando como biomonitor, *Tillandsia capillaris* para conocer el nivel de contaminación por metales, en la zona de Puerto Nuevo y alrededores de la provincia constitucional del Callao y en dos distritos de Lima: Ate con control positivo a contaminación y San Isidro con control negativo a contaminación proveniente de actividades industriales [4]. Se utilizaron dos técnicas analíticas para cuantificar 30 elementos en el biomonitor utilizado, después de ser expuesto durante tres meses en las zonas de influencia, considerando que *Tillandsia capillaris*, ha sido utilizada satisfactoriamente en estudios de calidad atmosférica [5].

2. Experimental

2.1. Muestreo y preparación de muestras

Se realizó el biomonitorio pasivo trasplantando el biomonitor, *Tillandsia capillaris*, a los sitios de estudio. En la Tabla 1 se muestra las coordenadas de los puntos de muestreo. En la zona del Callao, se colocaron

los biomonitores en 5 sitios de muestreo, distribuidos en el área de Puerto Nuevo y en 4 sitios de muestreo en los distritos de Ate y San Isidro, tal como se muestra en la Figura 1; asimismo, 2 muestras de biomonitores se preservaron como control.

Tabla 1. Coordenadas de los puntos de muestreo, expresadas en grados decimales.

| Sitios de muestreo | Lugar | Latitud | Longitud |
|--------------------|------------|----------|----------|
| C 1 | Callao | 12.04582 | 77.13802 |
| C 2 | Callao | 12.04640 | 77.13530 |
| C 3 | Callao | 12.05218 | 77.13507 |
| C 4 | Callao | 12.05101 | 77.13654 |
| C 5 | Callao | 12.04616 | 77.12604 |
| A 1 | Ate | 12.04087 | 76.92601 |
| A 2 | Ate | 12.06060 | 76.93391 |
| A 3 | Ate | 12.03849 | 76.93389 |
| A 4 | Ate | 12.04385 | 76.93389 |
| SI 1 | San Isidro | 12.10523 | 77.03392 |
| SI 2 | San Isidro | 12.09111 | 77.04054 |
| SI 3 | San Isidro | 12.09027 | 77.03657 |
| SI 4 | San Isidro | 12.09022 | 77.04777 |

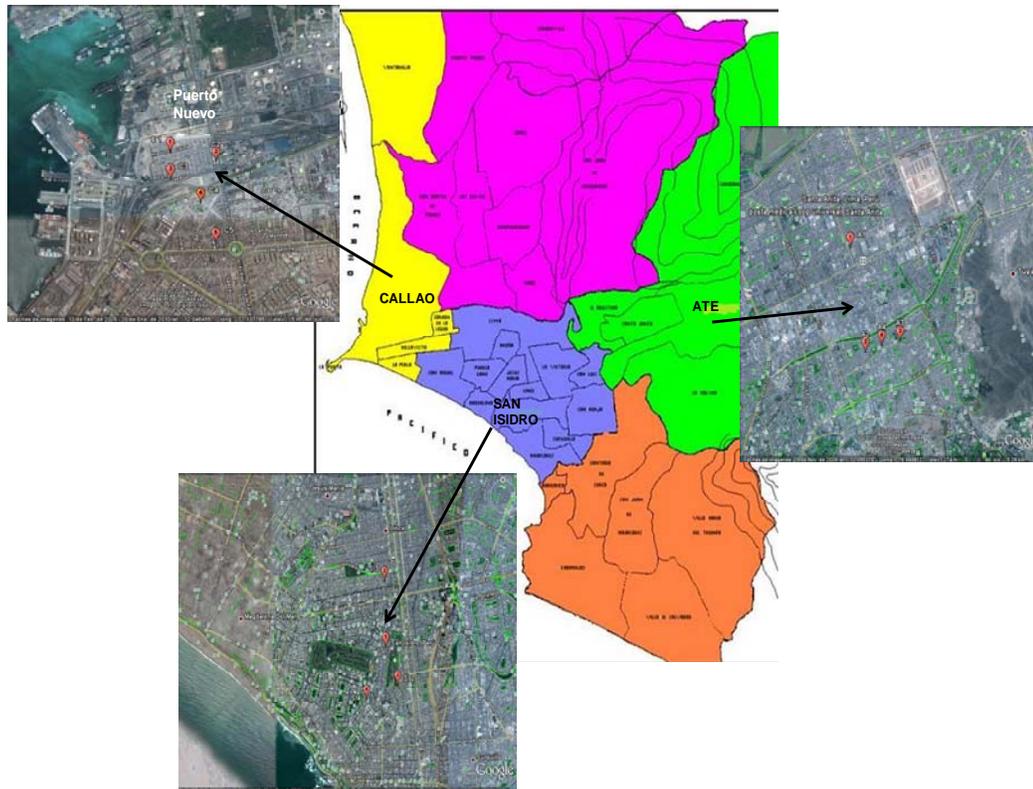


Figura 1. Sitios de muestreo.

Después de tres meses de exposición, las muestras fueron recolectadas y transportadas al laboratorio, luego las 13 muestras de biomonitor, incluida la de control, fueron preparadas para el análisis, de acuerdo con el siguiente procedimiento, se lavaron con agua desionizada, enjuagaron con agua milli Q (18m Ω) y molieron en molino criogénico. Luego fueron secadas a $80 \pm 1^\circ\text{C}$, homogenizadas y almacenadas en frascos de polietileno estériles para el análisis.

2.2. Análisis de biomonitores

Los elementos Al, As, Ba, Br, Cr, Ca, Cl, Co, Cr, I, Fe, K, Mg, Mn, Na, Rb, Sb, Sc, Se, Sm, Sr, V y Zn, se analizaron mediante la técnica de análisis por activación neutrónica, basada en el método del *ksubcero* (AAN- k_0) y los elementos Cd, Cu y Pb mediante espectrometría de absorción atómica (AAS).

Para el AAN- k_0 , se emplearon dos procedimientos: En el primero; se pesaron 200 mg de muestra y material de referencia en viales de polietileno, luego fueron acondicionados junto con comparadores de sodio en cápsulas de polietileno, para ser irradiadas en el reactor nuclear RP-10, a un flujo térmico de neutrones de $3 \cdot 10^{11}$, durante 600 segundos, utilizando el sistema neumático de transferencia de muestras. Después de un tiempo de decaimiento entre 600 y 800 segundos, las muestras, comparadores y materiales de referencia fueron medidos por 1000 segundos, a una geometría de 211 mm con un detector de germanio hiperpuro (GeHP) de 15 % de eficiencia relativa y 1.8 keV de resolución para el pico de 1332.5 keV de ^{60}Co . Bajo estas condiciones se cuantificaron Al, Mn, Mg, I, Ca, Na, Cl y V.

En el segundo procedimiento se prepararon pastillas de muestras, materiales de referencia y comparadores de 13 mm de diámetro y 300 mg de muestra aproximadamente. Para el comparador, se depositaron 100 μg de solución estándar de sodio sobre discos de papel filtro whatman 42, se dejaron secar bajo lámpara IR para luego ser prensados en forma de pastillas. Luego, se acondicionaron en canes de aluminio e irradiaron en una posición de la grilla del núcleo del reactor a un flujo térmico de neutrones de $3 \cdot 10^{13}$ n

$\text{cm}^{-2} \text{ s}$, durante 5 horas. Después de 2 días de decaimiento se midieron por 10000 segundos, a una geometría de 24.1 mm en un detector de GeHP de 70% de eficiencia relativa y 1.9 keV de resolución para el pico de 1408 keV de ^{152}Eu . Enseguida, se cuantificaron As, Ba, Br, Cr, Co, Rb, Sb, Sc, Se, Sr y Zn.

La adquisición y evaluación de los espectros se realizó utilizando el software Genie 2000 de CANBERRA. Para los cálculos de concentración se utilizó un programa en MS-Excel, desarrollado en el mismo laboratorio.

Los análisis de Cd, Cu y Pb se realizaron utilizando la técnica de espectrometría de absorción atómica. Para ello se pesaron 0.400 gramos de muestra en vasos de teflón, para ser pre-digestadas con ácido nítrico de calidad suprapur por 16 horas. Luego, se les agregó peróxido de hidrógeno y ácido fluorhídrico; posteriormente se llevaron a digestión en un sistema cerrado de microondas a temperatura y presión controladas por 45 minutos. Después del enfriamiento las muestras fueron aforadas a 50 mL y analizadas: Cu y Pb utilizando el método de llama y Cd utilizando el de horno de grafito.

El control de calidad en ambas técnicas, se llevó a cabo analizando junto con las muestras los materiales de referencia: BCR-CRM 281 Trace elements in Rye Grass, RM-IAEA 336 Trace and Minor Elements in Lichen y BCR-CRM 482 Trace Elements in Lichen.

3. Resultados y Discusión

En las Tablas 2 y 3 se muestra el promedio de concentración de los elementos cuantificados, con una incertidumbre expandida al 95 % de nivel de confianza aproximadamente, obtenidos en los biomonitores en cada sitio de muestreo. La Tabla 2 muestra la concentración en porcentajes de los macro elementos, en los que no se observa variación significativa entre los sitios de muestreo. Ca, Cl, K, Mg y Na están presentes en la mayoría de organismos en los niveles de concentración encontrados. Cl y Na presentan concentraciones un poco más altas en los sitios de muestreo cercanos al litoral marino, Callao y San Isidro. Al y Fe no presentan diferencia significativa en comparación con

la muestra de control, salvo el sitio A1, donde el índice de acumulación es de 1.78 para ambos elementos.

En la Tabla 3 se muestra la concentración de los elementos menores y traza y en la Tabla 4 los índices de acumulación de los elementos en el biomonitor, calculados mediante la razón de concentración del elemento y la muestra de control. Valores de índices mayores a 1 nos indican acumulación del elemento. Así tenemos que el plomo es el elemento que se ha acumulado significativamente en los sitios de muestreo seleccionados. Los puntos de muestreo C 1 y C 4 del Callao, A 1, A 2 y A 3 de Ate

muestran mayores índices de acumulación de plomo así como los puntos C1 y C 2, de cadmio. En general, los resultados muestran acumulación de As, Br, Cd, Cu, Pb, Sb, Se y Zn en el sitio C 1; Al, Br, Cd, Cu, Sb, Se y Zn en el sitio C 2; Br, Cd, Cu, Pb, Sb Se y Zn en el sitio C 3; Br, Cd, Cu, Pb, Se y Zn en el sitio C 4; Br, Pb y Sb en el sitio C 5; todos los elementos en el sitio A 1; Br, Cd, Cu y Pb en el sitio A 2; Br, Cd, Pb, Sb y Se en el sitio A 3; Br, Pb, Sb y Se en el sitio A 4; Br, Cd, Pb, Se y Zn en el sitio SI 1; Br, Cd, Pb, Se y Zn en el sitio SI 2; Br, Cd, Pb, Sb y Se en el sitio SI 3; Br, Pb, Se y Zn en el Si 4.

Tabla 2. Resultados de concentración de elementos mayores (% ± U, 95 % aprox.), expresados en base seca.

| Sitios de muestreo | Al | Ca | Cl | Fe | K | Mg | Na |
|--------------------|----------------------|---------------------|----------------------|----------------------|---------------------|----------------------|----------------------|
| | Control 0.56±0.10 | Control 0.9 ±0.2 | Control 0.15±0.03 | Control 0.28±0.02 | Control 1.0±0.07 | Control 0.15±0.04 | Control 0.20±0.01 |
| C 1 | 0.43±0.08 | 1.0 ± 0.2 | 0.90±0.2 | 0.30±0.015 | 0.30±0.015 | 0.24±0.06 | 0.60±0.03 |
| C 2 | 0.55±0.10 | 1.0 ± 0.2 | 0.40±0.10 | 0.30± 0.017 | 0.90 ±0.07 | 0.23±0.06 | 0.30±0.02 |
| C 3 | 0.50±0.09 | 0.9 ±0.2 | 0.60±0.10 | 0.25±0.014 | 0.80±0.06 | 0.22±0.06 | 0.40±0.02 |
| C 4 | 0.52±0.09 | 1.0±0.2 | 1.0 ±0.2 | 0.28±0.016 | 0.52±0.04 | 0.30±0.08 | 0.60±0.03 |
| C 5 | 0.53±0.10 | 1.0±0.2 | 0.20±0.04 | 0.30±0.016 | 0.90±0.06 | 0.23±0.06 | 0.20±0.010 |
| A 1 | 1.0± 0.20 | 1.7±0.4 | 0.20±0.04 | 0.50±0.03 | 0.40±0.03 | 0.32±0.08 | 0.30±0.02 |
| A 2 | 0.60±0.10 | 1.2 ±0.3 | 0.40±0.08 | 0.30 ±0.02 | 0.90±0.30 | 0.25±0.06 | 0.30±0.015 |
| A 3 | 0.50±0.09 | 1.1±0.3 | 0.30±0.06 | 0.25±0.014 | 0.90±0.06 | 0.24±0.06 | 0.20±0.012 |
| A 4 | 0.51±0.09 | 1.0±0.2 | 0.23±0.04 | 0.27±0.015 | 1.0±0.07 | 0.24±0.06 | 0.20±0.010 |
| SI 1 | 0.60±0.09 | 1.0±0.3 | 0.80±0.15 | 0.30±0.015 | 0.65±0.02 | 0.23±0.06 | 0.50±0.03 |
| SI 2 | 0.53±0.10 | 1.3±0.3 | 0.80±0.15 | 0.30±0.02 | 0.70±0.05 | 0.30±0.08 | 0.45±0.02 |
| SI 3 | 0.50±0.10 | 1.1±0.3 | 0.65±0.10 | 0.25±0.010 | 0.69±0.05 | 0.30±0.07 | 0.35±0.02 |
| SI 4 | 0.50±0.09 | 1.0±0.2 | 0.62±0.10 | 0.30±0.015 | 0.90±0.06 | 0.30±0.07 | 0.30±0.02 |

Las Figuras 2 y 3 muestran los resultados del factor de enriquecimiento (FE). Valores de FE mayores a 10 indican la presencia de contaminación antropogénica. Para el cálculo de estos factores se ha utilizado como elemento de referencia el escandio por no presentar variabilidad entre los sitios de muestreo.

$$FE = \frac{[X / Sc]_{muestra}}{[X / Sc]_{referencia}} ;$$

X: elemento estudiado.

As, Br, Cd, Cu, Pb, Sb, Se y Zn, muestran FE mayores a 10, definiéndose contaminación antropogénica.

Asimismo, en la Tabla 5 se muestra el análisis de componentes principales. El primer componente define el 43.40 % de la varianza. La contribución para este componente es afectada por las concentraciones de los elementos Cd, Zn, Cu, Sb y As. El segundo componente principal explica el 26.93 % de la varianza, afectado por Br y Pb. Estos elementos, están correlacionados cuando la fuente de contaminación proviene del uso de

combustible vehicular con contenido de plomo. Considerando que los sitios de muestreo de mayor contaminación, Callao y Ate, están ubicados en áreas industriales y de mayor carga vehicular, las fuentes de contaminación antropogénica de estos elementos son: los procesos de combustión del carbón, el uso de vehículos motorizados para el transporte y las fundiciones de Zn, Cd y Pb [6,7]. Los puntos de muestreo en San Isidro (SI) muestran, principalmente,

contaminación antropogénica debido al tráfico vehicular y uso de combustible con contenido de plomo, puesto que siendo un lugar residencial, no se espera contaminación de fuentes industriales cercanas a los sitios de muestreo. Las concentraciones relativamente altas de Br, Pb, Cu y Zn, lo confirman.

Los resultados obtenidos en los materiales de referencia analizados dieron una muy buena concordancia con los valores del certificado.

Tabla 3. Resultados de concentración de elementos menores y trazas (mg/kg \pm U, 95% aprox.), expresados en base seca.

| Sitios de muestreo | As | Br | Cd | Co | Cr | Cu | I | Mn | Pb | Sb | Sc | Se | V | Zn |
|--------------------|--------------------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|-------------------------|-----------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------------|---------------------------|
| | Control 6.0 \pm 0.6 | Control 13.0 \pm 0.7 | Control 0.30 \pm 0.02 | Control 1.8 \pm 0.10 | Control 26.0 \pm 2.0 | Control 9.0 \pm 0.10 | Control 5.0 \pm 0.9 | Control 190 \pm 30 | Control <0.5 | Control 0.50 \pm 0.10 | Control 0.70 \pm 0.04 | Control 0.09 \pm 0.02 | Control 6.0 \pm 1.0 | Control 55.0 \pm 3.0 |
| C 1 | 55.0 \pm 3.0 | 49.0 \pm 3.0 | 19.0 \pm 3.0 | 2.0 \pm 0.10 | 12.0 \pm 1.0 | 103.0 \pm 2.0 | 15.0 \pm 3.0 | 190 \pm 36 | 122.0 \pm 7.0 | 2.6 \pm 0.50 | 0.60 \pm 0.04 | 0.30 \pm 0.05 | 6.0 \pm 1.0 | 560 \pm 30 |
| C 2 | 10.0 \pm 1.0 | 35.0 \pm 2.0 | 35.0 \pm 2.0 | 35.0 \pm 2.0 | 31.0 \pm 2.0 | 55.0 \pm 5.0 | 12.0 \pm 2.0 | 190 \pm 36 | 190 \pm 36 | 4.0 \pm 0.7 | 0.70 \pm 0.04 | 0.22 \pm 0.04 | 7.0 \pm 1.0 | 330 \pm 20 |
| C 3 | 6.5 \pm 0.6 | 44.0 \pm 2.0 | 0.50 \pm 0.010 | 1.8 \pm 0.10 | 14.0 \pm 1.0 | 19.0 \pm 2.0 | 12.0 \pm 2.0 | 160 \pm 30 | 29.0 \pm 1.0 | 1.4 \pm 0.3 | 0.70 \pm 0.04 | 0.25 \pm 0.05 | 6.0 \pm 1.0 | 110.0 \pm 6.0 |
| C 4 | 7.0 \pm 0.6 | 64.0 \pm 3.0 | 0.70 \pm 0.015 | 2.0 \pm 0.10 | 36.0 \pm 2.0 | 26.0 \pm 1.5 | 23.0 \pm 4.0 | 190 \pm 30 | 90.0 \pm 3.0 | 0.70 \pm 0.10 | 0.70 \pm 0.04 | 0.20 \pm 0.04 | 7.0 \pm 1.0 | 120.0 \pm 6.0 |
| C 5 | 7.2 \pm 0.6 | 31.0 \pm 1.7 | 0.30 \pm 0.010 | 2.0 \pm 0.10 | 17.0 \pm 1.0 | 9.2 \pm 0.6 | 2.0 \pm 0.30 | 190 \pm 30 | 7.0 \pm 1.0 | 1.30 \pm 0.20 | 0.70 \pm 0.04 | 0.10 \pm 0.01 | 6.0 \pm 1.0 | 55.0 \pm 3.0 |
| A 1 | 11.0 \pm 1.0 | 57.0 \pm 3.0 | 0.50 \pm 0.010 | 3.0 \pm 0.20 | 37.0 \pm 2.0 | 22.0 \pm 1.0 | 9.0 \pm 2.0 | 300 \pm 56 | 60.0 \pm 5.0 | 1.10 \pm 0.20 | 1.3 \pm 0.07 | 0.30 \pm 0.05 | 11.0 \pm 2.0 | 102.0 \pm 6.0 |
| A 2 | 7.0 \pm 0.6 | 50.0 \pm 3.0 | 0.50 \pm 0.03 | 2.0 \pm 0.10 | 26.0 \pm 2.0 | 14.0 \pm 1.0 | 13.0 \pm 2.5 | 195 \pm 36 | 83.0 \pm 4.0 | 0.70 \pm 0.10 | 0.90 \pm 0.05 | 0.10 \pm 0.02 | 8.0 \pm 2.0 | 74.0 \pm 4.0 |
| A 3 | 6.0 \pm 0.5 | 35.0 \pm 2.0 | 0.40 \pm 0.06 | 2.0 \pm 0.10 | 12.0 \pm 1.0 | 12.0 \pm 1.0 | 9.0 \pm 2.0 | 190 \pm 30 | 87.0 \pm 6.0 | 1.30 \pm 0.20 | 0.70 \pm 0.04 | 0.20 \pm 0.03 | 6.0 \pm 1.0 | 72.0 \pm 4.0 |
| A 4 | 7.0 \pm 0.6 | 29.0 \pm 1.5 | 0.30 \pm 0.010 | 2.0 \pm 0.10 | 15.0 \pm 1.0 | 10.0 \pm 1.0 | 4.0 \pm 0.7 | 190 \pm 30 | 9.5 \pm 1.0 | 1.30 \pm 0.20 | 0.70 \pm 0.04 | 0.20 \pm 0.03 | 5.0 \pm 1.0 | 54.0 \pm 3.0 |
| SI 1 | 7.0 \pm 0.6 | 66.0 \pm 3.0 | 0.40 \pm 0.04 | 2.0 \pm 0.10 | 15.2 \pm 1.0 | 13.0 \pm 1.0 | 23.0 \pm 4.0 | 190 \pm 30 | 14.0 \pm 1.0 | 0.60 \pm 0.10 | 0.70 \pm 0.04 | 0.30 \pm 0.05 | 5.5 \pm 1.0 | 94.0 \pm 5.0 |
| SI 2 | 7.0 \pm 0.6 | 76.0 \pm 4.0 | 0.60 \pm 0.010 | 2.0 \pm 0.10 | 25.3 \pm 2.0 | 18.0 \pm 1.0 | 23.0 \pm 4.0 | 200 \pm 38 | 26.0 \pm 1.0 | 0.70 \pm 0.10 | 0.80 \pm 0.04 | 0.33 \pm 0.06 | 7.0 \pm 1.0 | 100.0 \pm 6.0 |
| SI 3 | 6.3 \pm 0.6 | 62.0 \pm 3.0 | 0.40 \pm 0.02 | 2.0 \pm 0.10 | 22.0 \pm 1.0 | 14.0 \pm 1.0 | 17.0 \pm 3.0 | 200 \pm 37 | 32.0 \pm 2.0 | 1.10 \pm 0.20 | 0.70 \pm 0.04 | 0.30 \pm 0.05 | 6.0 \pm 1.0 | 77.0 \pm 4.0 |
| SI 4 | 7.0 \pm 0.6 | 66.0 \pm 3.0 | 0.40 \pm 0.02 | 2.0 \pm 0.10 | 21.0 \pm 1.0 | 12.0 \pm 1.0 | 17.0 \pm 3.0 | 190 \pm 30 | 38.0 \pm 2.0 | 0.50 \pm 0.10 | 0.70 \pm 0.04 | 0.25 \pm 0.04 | 5.0 \pm 1.0 | 84.0 \pm 4.0 |

Tabla 4. Índice de acumulación de elementos en *Tillandsia capillaris*

| Sitios | As | Br | Cd * | Co | Cr | Cu * | Mn | Pb * | Sb | Sc | Se | V | Zn |
|--------|-----|-----|------|-----|-----|------|-----|------|-----|-----|-----|-----|------|
| C 1 | 2.0 | 3.8 | 71 | 1.1 | 0.5 | 11.2 | 1.0 | 245 | 5.2 | 0.9 | 3.1 | 0.9 | 10.2 |
| C 2 | 1.7 | 2.7 | 25 | 1.1 | 1.2 | 6.0 | 1.0 | 1.0 | 7.9 | 1.0 | 2.4 | 1.1 | 6.0 |
| C 3 | 1.0 | 3.4 | 1.8 | 1.0 | 0.5 | 2.0 | 0.8 | 58 | 2.8 | 0.9 | 2.8 | 0.9 | 2.0 |
| C 4 | 1.1 | 5.0 | 2.5 | 1.1 | 1.4 | 2.8 | 1.0 | 182 | 1.4 | 1.0 | 2.2 | 1.1 | 2.1 |
| C 5 | 1.2 | 2.4 | 1.1 | 1.1 | 0.7 | 1.0 | 1.0 | 13 | 2.6 | 1.0 | 0.1 | 0.9 | 1.0 |
| A 1 | 1.8 | 4.4 | 2.0 | 1.7 | 1.5 | 2.4 | 1.6 | 123 | 2.2 | 1.8 | 3.1 | 1.9 | 1.9 |
| A 2 | 1.2 | 3.8 | 1.8 | 1.2 | 1.0 | 1.5 | 1.0 | 165 | 1.3 | 1.2 | 1.0 | 1.2 | 1.3 |
| A 3 | 1.0 | 2.7 | 1.6 | 1.1 | 0.5 | 1.3 | 1.0 | 174 | 2.7 | 0.9 | 2.1 | 0.9 | 1.3 |
| A 4 | 1.1 | 2.2 | 1.1 | 1.0 | 0.6 | 1.1 | 1.0 | 19 | 2.7 | 1.0 | 2.1 | 0.8 | 1.0 |
| SI 1 | 1.1 | 5.1 | 1.6 | 1.3 | 0.6 | 1.4 | 0.9 | 29 | 1.2 | 0.9 | 3.0 | 0.9 | 1.7 |
| SI 2 | 1.1 | 5.9 | 2.1 | 1.2 | 1.0 | 1.9 | 1.1 | 52 | 1.4 | 1.0 | 3.6 | 1.1 | 1.8 |
| SI 3 | 1.0 | 4.8 | 1.6 | 1.1 | 0.8 | 1.5 | 1.0 | 64 | 2.3 | 0.9 | 2.9 | 0.9 | 1.4 |
| SI 4 | 1.1 | 5.2 | 1.5 | 1.2 | 0.8 | 1.3 | 0.9 | 76 | 1.1 | 1.0 | 2.7 | 0.9 | 1.5 |

Tabla 5. Análisis de Componentes Principales de un grupo de elementos en *Tillandsia capillaris*.

| Elemento | Factor 1 | Factor 2 | Factor 3 |
|--------------------------|-------------|-------------|-------------|
| Cd | .982 | .062 | -.097 |
| Zn | .973 | .197 | -.077 |
| Cu | .957 | .217 | .022 |
| Sb | .931 | .107 | .046 |
| As | .865 | .013 | .463 |
| Br | .089 | .939 | .124 |
| Cl | .301 | .846 | -.382 |
| Pb | -.075 | .804 | .135 |
| Na | .464 | .785 | -.184 |
| Sc | -.037 | -.009 | .988 |
| Fe | .119 | -.010 | .985 |
| | | | |
| Varianza | 43.40 | 26.93 | 21.75 |
| Varianza acumulativa (%) | 43.40 | 70.33 | 92.08 |

4. Conclusiones

El biomonitorio realizado revela la existencia de contaminación antropogénica significativa, por arsénico, cadmio, cobre, plomo, antimonio, selenio y zinc en los puntos críticos C 1, C 3 y C4 del Callao y en los puntos A 1, A 2 y A 3 de Ate, debido a emisiones vehiculares e industriales.

En los puntos de muestreo del distrito de San Isidro existe contaminación vehicular.

5. Agradecimientos

Se agradece a la Agencia Internacional de Energía Atómica (IAEA) por la oportunidad de compartir experiencias y conocimientos en el tema de biomonitorio con otros países de la Región de América Latina y el Caribe.

6. Bibliografía

- [1] Instituto Nacional de Estadística, INEI. Lima Metropolitana: Conformación por distritos. [homepage de Internet]. Disponible en <http://www.inei.gob.pe>.
- [2] Environmental Protection Agency EPA. Risk assessment for toxic air pollutants: A citizen guide. [homepage de Internet]. Disponible en: <http://epa.gov>.
- [3] World Health Organization WHO. Air Quality Guidelines. Global Update 2005.
- [4] Bedregal P, Mendoza P, *et al.* El uso de *usnea sp.* y *Tillandsia capillaris*, como biomonitores de la contaminación ambiental en la ciudad de Lima, Perú. Rev. Soc. Quim Perú. 2009; 75(4):479- 487.
- [5] Pignata ML, Giudiño GL, *et al.* Atmospheric quality and distribution of heavy metals in Argentina employing *Tillandsia capillaris* as a biomonitor. Environmental Pollution. 2002; 120(1):59-68.
- [6] Mason BJ. Introduction to geochemistry. 3rd. Ed. New York: John Willey; 1996.
- [7] Taylor S R. Abundance of chemical elements in the continental crust: A new table. Cosmochin. Acta. 1964; 28:1273-85.

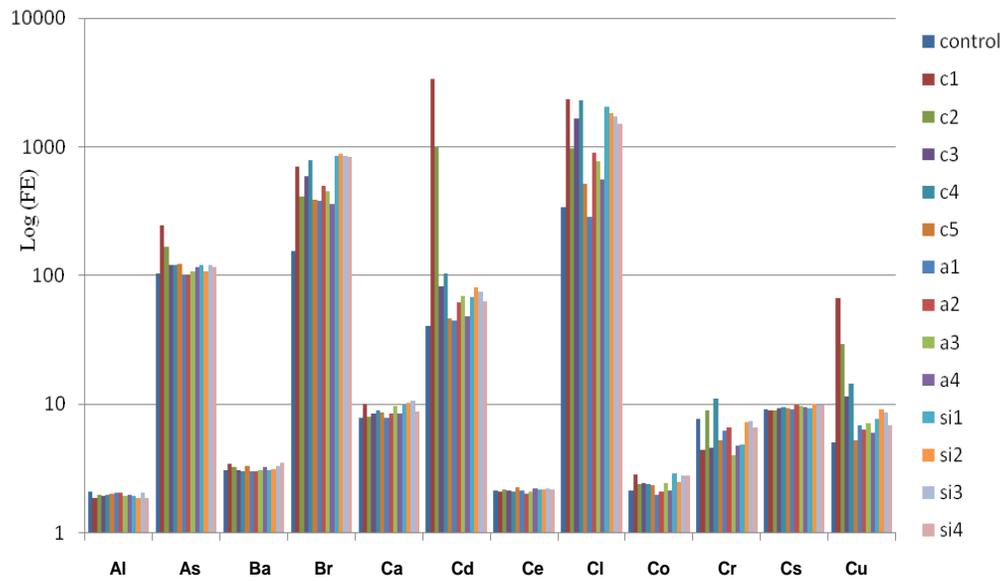


Figura 2. Factores de enriquecimiento.

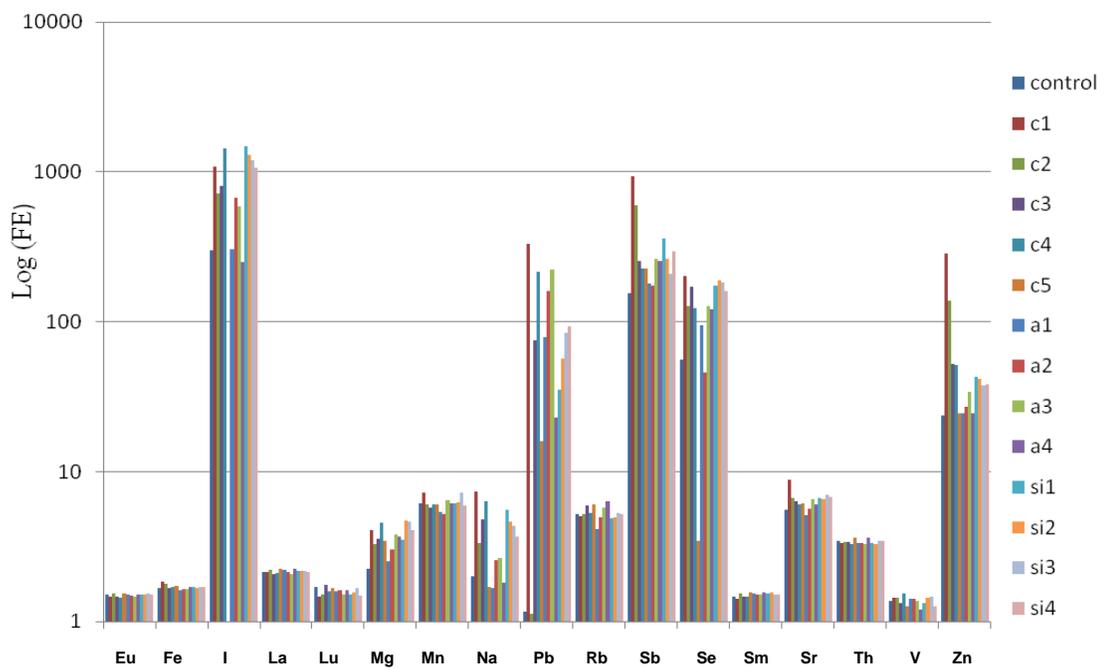


Figura 3. Factores de enriquecimiento.

Protein interactors of the cellular tumor antigen p53 with response to ionizing radiation

Silvia Vasquez^{1,3,4,*}, Roberto Pineda², Mohanalatha Chandrasekharan³, Prashanth Suravajhala^{3,4}

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

² Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Ricardo Palma, Av. Benavides 5440, Surco, Lima 33, Perú

³ Bioclues.org, IKP Knowledge Park, Secunderabad, 500009 AP, India

⁴ Bioinformatics Organization, Hudson, Massachusetts, United States of America

Abstract

TP53 interacts with the genes CDKN1A, CSNK1A1, CSNK1D, BAX, ATM, MDM2, HIF1A, SP1. This consensus network has many binding regions involved in phosphorylation. To find whether or not the interactions are involved in ionizing radiation (IR), we used protein interaction mining and visualization tools to decipher the network. We conclude that ATM, PCNA, TP53 and CDKN1A show protein interactions on cellular response to IR.

Resumen

TP53 interactúa con los genes CDKN1A, CSNK1A1, CSNK1D, BAX, ATM, MDM2, HIF1A y SP1. La red consensual mencionada presenta varias regiones de unión que intervienen durante la fosforilación. Para encontrar si estas interacciones participan o no en la respuesta a la radiación ionizante (IR) analizamos la minería de interacciones proteicas y las herramientas de visualización para descifrar la red. Concluimos que ATM, PCNA, TP53 y CDKN1A presentan interacciones proteicas en la respuesta celular a IR.

1. Introduction

The cellular tumor antigen p53[1] participates in the regulation of the cellular cycle and the tumor suppression as a cellular response. The gene TP53 is located on the chromosome 17 (17p13.1) in humans with the encoded protein for 393 amino acids and four units or domains where one domain activates the transcription factors while another recognizes specific DNA sequences. Together they are called the core domains and are responsible for the protein tetramerization recognizing the DNA damage. Earlier, we had explored the role of p53 in cardiovascular diseases CVD [2]. Our erstwhile approach, we believe has narrowed down the experimentation in finding better candidates for p53 in cardiovascular system. While MSH2 is known to be found in both mitochondria and cytoplasm (or nucleus), the subcellular location studies we had employed has given a validation that MSH2 might also play an important role in deciphering the role of these proteins linked to p53, towards CVD. We believe and envisage that the other

proteins could also be better candidates and it would be interesting to run pull down assays for these proteins to check for their candidacy in CVD. With TP53 interacting with host of genes, viz. CDKN1A, CSNK1A1, CSNK1D, BAX, ATM, MDM2, HIF1A, SP1, a consensus protein interaction networks of physical interactions need to be built which would allow us to find genes involved in phosphorylation of Thr-145 by Akt or of Ser-146. These impair binding to PCNA while phosphorylation at Ser-114 by GSK3-beta enhances ubiquitination by the DCX (DTL) complex. Phosphorylation of Thr-145 by PIM2 is known to enhance CDKN1A stability and inhibits cell proliferation. Whereas phosphorylation of Thr-145 by PIM1 results in the relocation of CDKN1A to the cytoplasm and enhanced CDKN1A protein stability, ubiquitination by MKRN1 leads to polyubiquitination and 26S proteasome-dependent degradation.

* Corresponding author: svasquez@ipen.gob.pe

2. Methods

Through this study, we exploited the protein interaction partners by showing evidence of interactions for ATM and CDKN1A, known to be involved in cellular response to IR [3]. We used protein interaction mining and visualization tools in the form of Genecards [4], Genemania [5] and String [6] to bring out the interactions and analyze them towards radiosensitivity studies. The methods discussed can be linked to our previous studies [2].

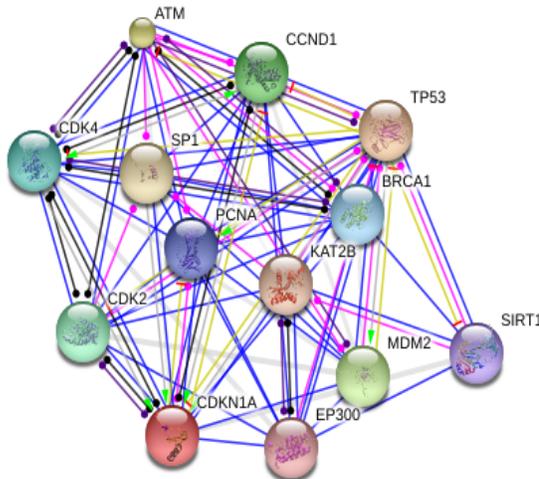


Figure 1. ATM, PCNA, TP53 and CDKN1A in a cloud of interactome.

3. Results and Discussion

We reviewed that CDKN1A is an important intermediate by which p53 mediates its role as an inhibitor of cellular proliferation in response to DNA damage. Further, it binds to and inhibits cyclin-dependent kinase activity, preventing phosphorylation of critical cyclin-dependent kinase substrates and blocking cell cycle progression while ataxia telangiectasia mutated (ATM) is a serine/threonine protein kinase involved in activation of checkpoint signaling upon double strand breaks (DSBs), apoptosis and genotoxic stresses (Figure 1). This allows the gene act as a DNA damage sensor. Further, it recognizes the substrate consensus sequence [ST]-Q phosphorylates 'Ser-139' of histone variant H2AX/H2AFX at

double strand breaks (DSBs) thereby regulating DNA damage response mechanism. Also known to be involved in signal transduction and cell cycle control, the gene plays a very important role as a tumor suppressor.

4. Conclusion

There is a lacunae of PPI studies involving cardiovascular diseased genes. We aimed to delve into these PPI studies as a whole allow to find the interacting genes involved in participation of cellular repertoire after the IR. Our analysis found ATM, PCNA, TP53 and CDKN1A as evident interactors related to IR. We now aim to identify genes and proteins participating at different levels of the cellular systems and validate the approaches in the wet lab.

5. References

- [1] PO4637 (Reviewed entry), UniProtKB /Swiss-Prot. Database. *UniProtKB*, Last modified May 29; 2013. Versión 209. Access date Jun. 10. 2013.
<http://www.uniprot.org/uniprot/P04637>
- [2] Chandrasekharan M, Vasquez S, Galimudi RK, Suravajhala P. Toward understanding the role of p53 in cardiovascular diseases. *J. Biomedical Science and Engineering*. 2013; 6:209-212.
- [3] Pernot E, Hall J, *et al*. Ionizing radiation biomarkers for potential use in epidemiological studies. *Mutation Research*. 2012; 751:258-286.
- [4] The GeneCards human gene database, *Genecards*, Last modified Apr 28; 2013. Versión 3.10, Access date Jun. 15. 2013.
<http://www.genecards.org>
- [5] GeneMANIA networks, *GeneMANIA*, Last modified Jul 19; 2012. Version 3.1.2, Access date Jun.15. 2013.
<http://www.genemania.org>
- [6] Franceschini A, Szklarczyk D, Frankild S, Kuhn M, Simonovic M, Roth A, Lin J, Minguez P, Bork P, von Mering C, Jensen LJ. STRING v9.1: protein-protein interaction networks, with increased coverage and integration. *Nucleic Acids Res*. 2013 Jan; 41(Database issue):D808-15.

Identificación de biomarcadores asociados con la infección de *Mycobacterium bovis* y la respuesta inmunológica protectora a la tuberculosis en alpacas

Juan Agapito^{1,*}, Rufino Quilla², Silvia Capristano³, Pilar García³, Angel Montes¹, Heinner Guio^{3,4}

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, Puno, Perú

³ Instituto Nacional de Salud, Av. Defensores del Morro 2268 Chorrillos. Lima, Perú

⁴ Asociación Latinoamericana de Biotecnología. Av. Caminos del Inca 275 Surco

Resumen

La tuberculosis bovina es una enfermedad infectocontagiosa que afecta una amplia gama de hospederos en los que se encuentra la alpaca. El objetivo de este estudio fue evaluar las características inmunológicas de la tuberculosis latente, utilizando como herramienta diagnóstica una técnica de inmunoensayo (ELISA) para medición de la citoquina interferón gamma (INF- γ), secretada por los leucocitos sensibilizados durante un periodo de cultivo de 24 horas con antígenos específicos (ESAT-6 y CFP10) al *Mycobacterium tuberculosis* complex. Adicionalmente se evaluó la proteína PPD (derivado proteico purificado) que se emplea en la prueba de reacción cutánea, así como también la utilidad de la secuencia de inserción IS6110 del complejo *Mycobacterium tuberculosis* y una PCR anidado dirigida contra el gen de la proteína MPB70 de *Mycobacterium bovis*. Se evaluaron un total de 52 alpacas entre sanas y enfermas sin antecedentes de tuberculosis, provenientes del Fundo Huaycuyo-Puno. Los resultados mostraron que un 98.1 % (51/52) de las alpacas dieron resultados negativos al ensayo de IFN- γ , y 1.9 % (1/52) dio resultado indeterminado. Así mismo, no hubo amplificación por PCR al segmento IS6110, ni al MPB70. Sin embargo, en 9 alpacas evaluadas con antígenos específicos de *Mycobacterium tuberculosis* se encontró una secreción de INF- γ en 22 % con ESAT-6, 44 % con CFP-10 y 44 % usando el PPD. Estos resultados son una primera aproximación cuantitativa del IFN- γ en los linfocitos de las alpacas ubicadas a 3925 msnm después de una exposición antigénica. Sin embargo no podemos concluir cual sería el mejor antígeno inmunodominante en alpacas, debido a un bajo número de muestras evaluadas.

Palabras clave: Tuberculosis bovina, Prueba sanguínea de IFN- γ y PCR

Identification of biomarkers associated with *Mycobacterium bovis* infection and protective immune response to tuberculosis in alpacas

Abstract

Bovine tuberculosis is an infectious disease that affects a wide range of host in which there is the alpaca. The objective of this study was to evaluate the immunological characteristics of latent tuberculosis, as a diagnostic tool using an ELISA assay, based on detection of interferon-gamma cytokine (INF- γ), secreted by leukocytes sensitized for a 24 hours culture period with specific antigens (ESAT-6 and CFP10) which are specific for *Mycobacterium tuberculosis* complex. Additionally, we evaluated the PPD (purified protein derivative) used in the skin test, the utility of the insertion sequence IS6110 from *M. tuberculosis* complex and the nested PCR directed against the gene for the MPB70 protein of *Mycobacterium bovis*. We evaluated a total of 52 sick and healthy alpacas with no history of tuberculosis, from the Fundo Huaycuyo-Puno. The results showed that 98.1% (51/52) were negative to the IFN- γ responses, and 1.9 % (1/52) was an indeterminate results. Likewise, there was no PCR amplification segment IS6110, either the MPB70. However, after specific *Mycobacterium tuberculosis* antigen evaluation we found INF- γ response in 9 alpacas, 22 %, 44 % and 44% in ESAT-6, CFP10 and PPD stimulation respectively. These results are a first quantitative approach of IFN- γ in lymphocytes of alpacas located at 3925 m after antigen exposure. Futures studies including larges samples should be considered to make conclusions.

Keywords: Bovine tuberculosis, Blood test and PCR IFN- γ

* Correspondencia autor: jagapito@ipen.gob.pe

1. Introducción

La tuberculosis bovina (TB) es una enfermedad bacteriana crónica de los animales y del hombre, causada por *Mycobacterium bovis*. En muchos países es una enfermedad infecciosa importante del ganado vacuno y de otros animales domésticos, incluyendo las llamas y las alpacas [1].

En nuestro país, desde el año 1999 el Ministerio de Agricultura mediante el Servicio Nacional de Sanidad Agraria (SENASA) viene ejecutando Programas de Control y Erradicación de la Tuberculosis Bovina (PCETB) y ha establecido como método oficial para el diagnóstico de la enfermedad el uso de la prueba de tuberculina, que consiste en la inoculación intradérmica del derivado de proteína purificada (PPD) del *M. bovis*, que por ser una prueba de diagnóstico de tipo indirecto, no garantiza afirmar en un 100 % que un animal reactor positivo sea debido a una infección por *M. bovis* [2].

El PPD no tiene un comportamiento uniforme y se sabe que se producen reacciones cruzadas por sensibilizaciones originadas con otras micobacterias no específicas, usualmente no patógenas para los bovinos, como los de origen humano, aviar, incluso los de vida libre; en consecuencia gran número del resultado obtenido son falso positivos [3, 4]. Así mismo, la prueba del PPD también ha sido empleada en alpacas y llamas, donde se reporta cierta inconsistencia de la prueba debido a una baja sensibilidad [5].

De acuerdo con los protocolos de SENASA-PCETB, todo animal reactor al PPD debe ser sometido a la prueba doble comparativa, y de resultar nuevamente positivo, debe ser sacrificado sin considerar la posibilidad de ser reactores falsos positivos, lo que se traduce en pérdidas económicas para los ganaderos. Por otro lado, el cultivo y aislamiento de la micobacteria es un proceso lento y difícil que dura entre 6 a 8 semanas de acuerdo con los métodos convencionales y la tipificación por especie no resulta fácil, especialmente si se emplea métodos bioquímicos [6].

Recientemente, un nuevo método de diagnóstico, basado en el la incubación de muestras de sangre en presencia de PPD y la

detección adicional de la liberación de la citoquina interferón gama (INF- γ) por medio de un inmunoensayo (ELISA), ha sido desarrollado en varios países [7]. Esta prueba ha demostrado tener la capacidad de diagnosticar animales infectados por medio de la determinación de niveles de gamma interferón en una prueba *in vitro* con sangre entera. Esta prueba rápida y fácil, utiliza anticuerpos monoclonales anti-interferón gamma, que permite diferenciar las infecciones debidas a *M. bovis* y *Mycobacterium avium* [8], con una sensibilidad entre un 88 % a un 96,6 % y una especificidad entre un 96,2 % a un 98 %, lo que permite detectar la infección en una fase más temprana, comparada con la prueba intradérmica de la tuberculina [9].

El objetivo de este trabajo fue evaluar la eficacia diagnóstica de una prueba de ELISA para medición de interferón gamma y así poder definir las características inmunológicas de la tuberculosis latente en una población de alpacas de la zona Sur del Perú, donde no existe manifestaciones clínicas que evidencien infección por *M. bovis*.

2. Material y Métodos

2.1 Muestras

El estudio se realizó con un muestreo de 52 alpacas proveniente del Fundo Huaycuyo, Ganadería Alta Gracia SCRL, distrito de Santa Rosa, provincia de Melgar, departamento de Puno.

2.2 Aislamiento de células mononucleares y criopresevación

A cada animal se le extrajo 8 ml de sangre total, en un tubo con citrato de sodio como anticoagulante y con ficoll hypaque para la separación de células (cell preparation tube with sodium citrate, BD Vacutainer[®]CPT[™]).

La sangre colectada fue transportada a temperatura ambiente por un lapso no mayor a 24 horas para su procesamiento. Para el aislamiento de las células mononucleares (PBMC) se procedió a centrifugar los tubos a 3500 rpm por 30 min a temperatura ambiente. Al término de la centrifugación se observó la formación del anillo celular y con la ayuda de una pipeta de transferencia se extrajo la interfase que contenía las células

mononucleares. Las células extraídas fueron colocadas en un tubo de 50 ml conteniendo 10 ml de RPMI. En este paso se realizó el conteo celular en cámara de Neubauer mezclando 20 μ l de esta suspensión en una proporción 1:1 con azul de trypan (Sigma, St. Louis, MO, USA).

Después de la colección de la muestra para conteo celular se procedió a completar a un volumen de 40 mL con RPMI. Esta suspensión celular fue centrifugada a 2000 rpm/15 minutos a 20 °C. El sedimento fue resuspendido en el volumen restante y se adicionó 5 ml de RPMI suplementado con 10 % Suero fetal Bovino (SFB, Sigma, St Louis, MO, USA). Se homogenizó y centrifugó nuevamente a 20 °C por 15 min a 2000 rpm, luego se resuspendió el sedimento en el volumen restante de medio RPMI + 10 % SFB. Las células fueron suspendidas en RPMI y medio de criopreservación (SBF + DMSO 10 %) a una concentración final de 1×10^6 cél/mL y fueron almacenadas a -80 °C.

2.3 Descongelamiento de Linfocitos

Se retiraron las muestras almacenadas a -80 °C e inmediatamente se trasladaron al baño María (37 °C) para el descongelamiento (punto crítico para la viabilidad de las células). Cada muestra fue resuspendida en 1 ml de RPMI + 10 % de SBF. Posteriormente, las células fueron transferidas a un tubo cónico de 15 ml con 9 ml de medio RPMI, realizando movimientos en espiral. Se centrifugó por 5 minutos a 1,500 rpm (500 x g) y luego se descartó el sobrenadante. Se resuspendieron nuevamente las células en 1 ml de RPMI suplementado con 10 % de SBF y se procedió a realizar el conteo celular antes descrito.

2.4 Antígenos

La estimulación se realizó empleando tres antígenos: ESAT-6 (early secretory antigenic target), CFP-10 (culture filtrate protein) y PPD. El antígeno PPD (Statens Serum Institut 5 Artillerivej 2300, Copenhagen-Dinamarca) y los antígenos recombinantes ESAT-6 (5 μ g/ml) y CFP-10 (5 μ g/ml) fueron proporcionados por el Instituto Nacional de Salud (INS). El mitógeno Fitohemaglutinina (PHA control positivo) fue proporcionado por el Laboratorio de Biotecnología y Biología

Molecular de la Universidad Peruana Cayetano Heredia.

2.5 Estimulación de PBMC

Se trabajó con una suspensión de células a una concentración de 1000 cél/ μ L en medio RPMI suplementado. Se colocaron 200 μ L de esta suspensión en cada pozo de la placa para las diferentes muestras a analizar. Luego de la adición de los antígenos se incubó la placa por 24 horas a 37 °C para luego extraer el sobrenadante a analizar por la técnica de ELISA.

2.6 ELISA para medición de INF gamma

El inmunoensayo enzimático (ELISA) se realizó de acuerdo con las instrucciones del fabricante (Cellestis Limited, Carnegie, Australia). Los resultados fueron interpretados utilizando el software de análisis suministrado por el fabricante. Brevemente, una respuesta positiva fue determinada si el valor del IFN- γ de la muestra con antígenos de TB corregido con el control negativo era $\geq 0,35$ UI/mL, mientras que las muestras con $< 0,35$ UI/mL fueron consideradas negativas. Resultados indeterminados se definieron como: a) niveles del IFN- γ en los controles negativos de $> 8,0$ UI/mL, o b) respuestas de IFN- γ en los controles positivos (corregidos con el control negativo) de $< 0,5$ UI/mL.

2.7 Extracción de ADN

Se extrajo ADN genómico (ADN nuclear) a partir de 250 μ l de sangre con anticoagulante utilizando el método de fenol/cloroformo proteinasa K [10]. El ADN fue cuantificado en un espectrofotómetro NanoDrop™ 1000 y las lecturas se realizaron a 260 nm y a 280 nm,

2.8 Ensayo de PCR

Para la amplificación de *IS6110* se utilizaron los primers INS1 e INS2 descritos [11], que amplifican un segmento de 245 pb de la secuencia del ADN. La amplificación fue efectuada en un volumen final de 10 μ l, utilizando el kit Multiplex PCR (QUIAGEN), y conteniendo: Master mix Quiagen 1X, MgCl₂ Quiagen 3.0 mM; dNTPS Quiagen 2 mM, HotStarTaq DNA polymerase 1U, primers 10 pmol. El programa de amplificación consistió en una denaturación inicial a 94 °C por 15 minutos, seguido de 33

ciclos de 94 °C por 45 segundos, 65 °C por 60 segundos y 72 °C por 30 segundos y una extensión final de 72 °C por 5 minutos. Los productos de la RPC fueron analizados por electroforesis en geles de agarosa al 1.5 % teñidos con bromuro de etidio y visualización en transiluminador de luz ultravioleta, en comparación con marcadores de peso molecular.

También se realizó la PCR simple para el diagnóstico de TB mediante la amplificación de un segmento de 372 pb del gen MPB70, la cual es considerado por ser especie específico para *M. bovis* [12,13], utilizando los siguientes oligonucleótidos: (TB1F 5' GAA CAA TCC GGA GTT GAC AA 3' y TB1R 5' TAC ATG ATT GAC AGC GTC CT 3'). El protocolo de amplificación fue de 94 °C por 2 min, seguido de 35 ciclos a 95 °C por 30 s, 58 °C por 1 min, 72 °C por 1 min y una extensión final de 72 °C por 5 min. Los productos de PCR fueron separados en gel de agarosa al 2 %. Posteriormente, utilizando una décima parte del producto obtenido en la reacción anterior se procedió a la amplificación de un fragmento de 208 pb del gen MPB70, dentro de la región de 372 pb,

mediante una PCR anidada con los oligonucleótidos descritos (M22/3 5'GCT GAC GGC TGC ACT GTC GGG C 3' y M22/4 5'CGT TGG CCG GGC TGG TTT GGC C 3'): 35 ciclos de 94 °C por 30 s, 58 °C por 30 s, 72 °C por 1 min y una extensión final de 72 °C por 5 min [12, 13, 14].

3. Resultados y Discusión

El presente estudio es una primera aproximación en cuantificar citoquinas en alpacas ubicadas a 3925 msnm. Se evaluaron 52 animales mediante un kit comercial de ELISA. Del total, hubo 51 (98.1 %) animales negativos a la prueba y 1 (1.9 %) dio resultado indeterminado (ID) posiblemente como respuesta negativa a los antígenos de TB, tal vez debido a un número insuficiente de actividad linfocitaria o a un fenómeno de inmunodepresión del propio animal. Este resultado correspondió a una alpaca de la raza Huacaya con un fenotipo regular. Así mismo todos ellos tuvieron valores de DO en la prueba por debajo del punto de corte (0.5 DO₄₅₀) Figura 1.

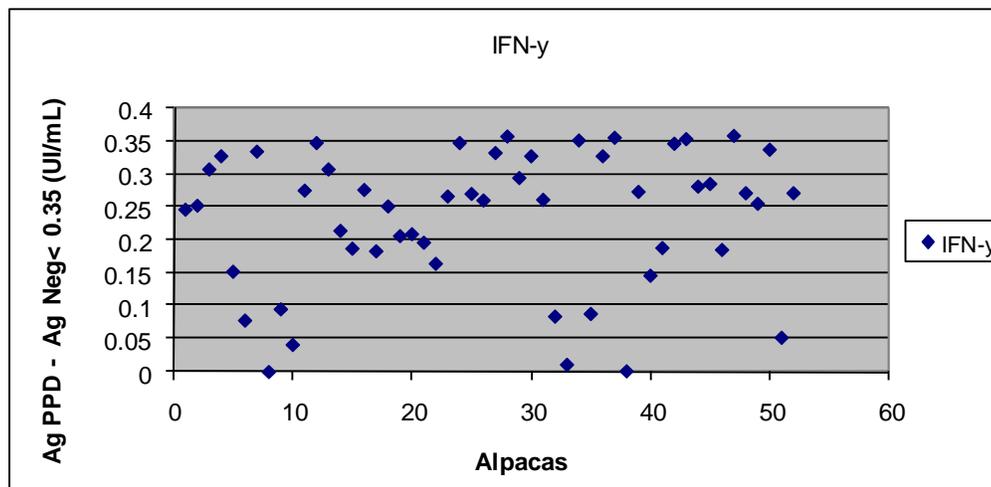


Figura 1. Respuesta individual de las alpacas, estimuladas con Ag. PPD – Control Negativo (blanco). Los resultados se presentan como respuesta a los antígenos (≤ 0.35 UI/mL para el ensayo de IFN- γ .)

3.1 Estimulación celular con antígenos de *Mycobacterium* y medición de INF-gamma mediante ELISA:

Se analizaron los antígenos asociados con *M. tuberculosis* y *M. bovis* (ESAT-6, CFP-10 y PPD) y mitógeno (PHA) para evaluar la

viabilidad celular frente a la estimulación *in vitro* de PBMC. Esta estimulación se llevó a cabo con 9 alpacas, en quienes previamente se obtuvo un mejor rendimiento de células mononucleares (PBMC). Como resultado se encontró que las muestras 4, 5, 6, y 9 tuvieron baja o nula viabilidad celular, las

muestras 7 y 8 tuvieron viabilidad intermedia y una mejor viabilidad en las muestras 1, 2 y 3. Siendo la muestra 2, la que tuvo mejor respuesta del mitógeno y a la producción de $INF-\gamma$. El porcentaje de respuesta frente a los antígenos evaluados fue de 22 % con ESAT-

6, 44 % con CFP-10 y 44 % usando el PPD. Los resultados obtenidos en este estudio, en pequeña escala, encuentran una respuesta de $INF-\gamma$ de parte de los linfocitos después de una exposición antigénica. Figuras 2, 3 y 4.

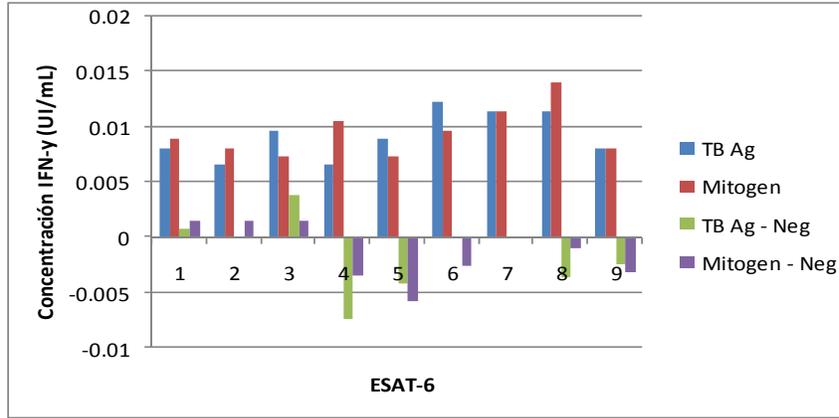


Figura 2. Respuesta del $INF-\gamma$ frente al antígeno ESAT-6 en la prueba de estimulación con péptidos.

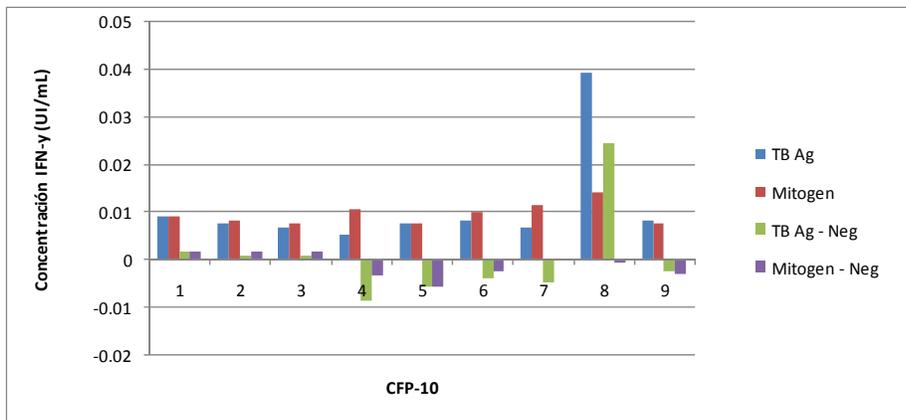


Figura 3. Respuesta del $INF-\gamma$ frente al antígeno CFP-10 en la prueba de estimulación con péptidos.

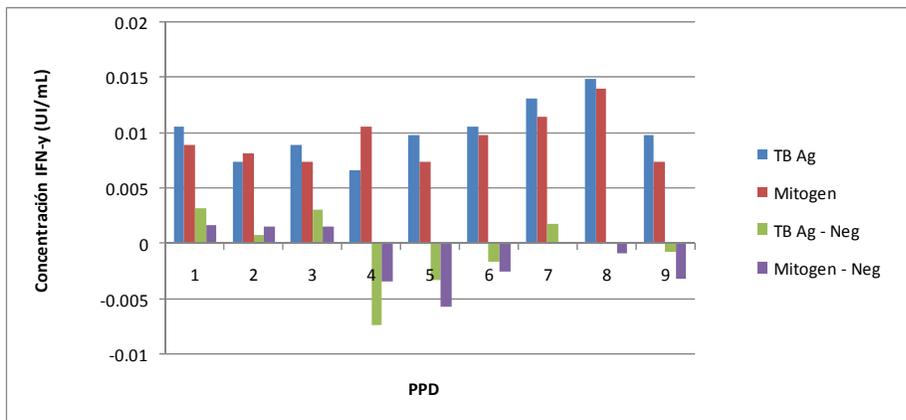


Figura 4. Respuesta del $INF-\gamma$ frente al antígeno PPD en la prueba de estimulación con péptidos.

3.2 Ensayos de PCR

Todas las muestras que resultaron negativas para INF- γ , también resultaron negativas para PCR, en la cual se amplificó con primers específicos del complejo *Mycobacterium tuberculosis* IS6110 que incluye al *M. bovis*. [15, 16].

4. Conclusiones

Nuestro análisis encuentra una respuesta de IFN- γ de parte de los linfocitos; sin embargo, no podemos concluir cual sería el mejor antígeno inmunodominante en alpacas, debido a un bajo número de muestras.

Consideramos que futuros estudios incluyendo controles positivos son necesarios para corroborar nuestros hallazgos. Las limitaciones en el presente proyecto fueron la ausencia de un laboratorio en la zona de residencia de las alpacas para extraer y criopreservar inmediatamente las células y obtener una mejor viabilidad al momento del descongelamiento en la ciudad de Lima para estimulación antigénica. Asimismo, es necesario desarrollar comparaciones futuras con la prueba de tuberculina, técnica que el ensayo de QuantiFERON-TB ha tratado de homologar en su utilidad para el diagnóstico de la enfermedad en las alpacas.

La técnica del PCR simple y PCR anidada, empleadas en este estudio permitieron aumentar la sensibilidad del diagnóstico, al confirmar que todas las alpacas que dieron negativo a INF- γ , lo fueron por PCR.

5. Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por el fondo concursable CONCYTEC-PROCYT 2011.

6. Bibliografía

- [1] O'Reilly LM, Daborn CJ. The epidemiology of *Mycobacterium bovis* infections in animals and man: A review. *Tubercle Lung Dis.* 1995; 76:1-46.
- [2] Ministerio de Agricultura, SENASA. 2003. [homepage de Internet]. Disponible en: http://www.senasa.gob.pe/sanidad_animal/programas_zoosanitarios/ce_brucelosis_tuberculosis_bovina/tuberculosis_bovina.htm.
- [3] Doherty ML, Monaghan ML, Bassett HF, Quinn PJ. Effect of a recent injection of

purified protein derivative on diagnostic tests for tuberculosis in cattle infected with *Mycobacterium bovis*. *Research in Veterinary Science.* 1995; 58:217-221.

- [4] Rieder HL. Bases epidemiológicas del control de la tuberculosis. Unión Internacional contra la tuberculosis y enfermedades respiratorias. 1999. París. 9 pp.
- [5] Fernández OM, Rosadio AR. Aplicación de tuberculina en alpacas. *Rev. Inv. Pec. IVITA (Perú).* 1998; 9(2):48-53.
- [6] De Kantor IN, De Kantor EN, Ritacco V. La tuberculosis bovina en América Latina y el Caribe: Situación actual, el control y erradicación programas. *Microbiología Veterinaria.* 1994; 40(1-2):5-14.
- [7] Rothel JS, Jones SL, Corner LA, *et al.* A sandwich enzyme immunoassay for bovine interferon-gamma and its use for the detection of tuberculosis in cattle. *Australian Veterinary Journal.* 1990; 67:134-137.
- [8] Torres PM. Situación de la tuberculosis bovina en la República de Argentina. SENASA-Argentina. 2006. http://www.senasa.gov.ar/oldweb/sanidad/tuberculosis/situacion_actual.pdf.
- [9] Domingo M, Liebana E, Vilafranca M, Aranaz A, Vidal D, Prats N, Mateos A, Casal J, Domínguez L. A field evaluation of the interferon-gamma assay and the intradermal tuberculin test in dairy cattle in Spain. In: *Tuberculosis in Wildlife and Domestic Animals.* Griffin F. & de Lisle G., eds. *Proceedings of the Second International Conference on Mycobacterium bovis.* 1995. 28 August-1 September 1995. University of Otago, New Zealand, 304-306.
- [10] Millar A, *et al.* A simple salting procedure for extracting DNA from human nucleated cells. *Nucleic Acids.* 1988. Res. 16:215.
- [11] Van Soolingen D, Hemans PWM. Epidemiology of tuberculosis by DNA fingerprinting. *Eur Respir J.* 1995; 8:649s-56s.
- [12] Liébana E, Aranaz A, Domínguez L, *et al.* The insertion element IS6110 is a useful tool for DNA fingerprinting of *Mycobacterium bovis* isolates from cattle and goats in Spain. *Veterinary Microbiology.* 1997; 54:223-233.
- [13] Diaz F, Banda V, Jaramillo L, Arriaga C, Gonzales D, Estrada C. Identificación de

bovinos portadores de *Mycobacterium bovis* aplicando técnicas inmunológicas y Moleculares. Vet. Mex. 2003; 34(1):13-26.

[14] González Llamazares OR, Gutiérrez Martín CB, Aranaz Martín A, Liébana Criado E, Domínguez Rodríguez L, Rodríguez Ferri EF.. Comparison of different methods for diagnosis of bovine tuberculosis from tuberculin- or interferon- γ -reacting cattle in Spain. Journal of Applied Microbiology. 1999; 87:465-471.

[15] Van Embden JDA, Cave MD, Crawford JT, *et al.* Strain identification of

Mycobacterium tuberculosis by DNA fingerprinting: recommendation for a standardized methodology. J Clin Microbiol. 1993; 31:406-9.

[16]] Retamal Patricio M, Martínez T. M. Angélica, Avalos P. Pedro. Secuencia de inserción IS6110 e IS1081 en cepas de *Mycobacterium bovis* provenientes de bovinos beneficiados en la Región Metropolitana. Rev. Chil. Infect. 2003; 20(3):166-170.

Desarrollo de un medidor autónomo de bajo costo para la determinación de calidad química del agua

Óscar Baltuano^{1,*}, Adolfo La Rosa Toro², Lucy Coria², Américo Cjuno³, Julio Santiago³, José Morales³, Yuri Hernández¹, Eduardo Montoya¹

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. Túpac Amaru 210, Rímac, Lima 25, Perú

³ Facultad de Química e Ingeniería Química, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Calle Germán Amézaga N° 375, Lima 1, Perú

Resumen

Se presenta detalladamente el desarrollo de un prototipo de medidor autónomo de bajo costo, para la determinación de plomo (II) y otros metales pesados disueltos en agua, así como de pH, conductividad y temperatura. El prototipo incluye un potencióstato, operado de manera autónoma por un micro-controlador, así como un sistema de comunicación mediante tecnología GSM, en la modalidad de mensajes de texto. Se muestran y discuten los resultados experimentales, obtenidos en condiciones de campo, en un puquio del río Lurín. Los resultados indican concentraciones de Pb(II), Cd(II), Cu(II) y Hg(II), por debajo de 5 µg/L, así como pH de 7,3 y conductividad específica de 14 µS/cm. La presente publicación está basada en el informe final del proyecto PROCYT 308 2011 financiado por CONCYTEC.

Abstract

The development of a prototype of an autonomous measuring device, for the determination of Pb(II) and other heavy metal ions dissolved in water, as well as of pH, conductivity and temperature. The prototype includes a potentiostat, operated by a microcontroller in an autonomous way, as well as a communication system by GSM technology, in the modality of text messages. Experimental results, obtained under field conditions, in a water eye of the Lurin River, are shown and discussed. The results indicate concentrations below of 5 µg/L, for Pb(II), Cd(II), Cu(II) y Hg(II), as well as a pH value of 7,3 and a conductivity value of 14 µS/cm. This article is based on the final report of the CONCYTEC research contract PROCYT 308 2011.

1. Introducción

Las aguas procedentes de diversas industrias como la minera, de recubrimientos metálicos, de fundición, etc., suelen estar contaminadas con diversos metales. Cuando estas aguas llegan al cauce de los ríos o lagos, provocan problemas serios de contaminación ambiental. Los iones disueltos de los metales pesados, como el plomo, cadmio y mercurio, son muy tóxicos y acumulables por los organismos que los absorben, los cuales a su vez son fuente de contaminación de las cadenas alimenticias al ser ingeridos por alguno de sus eslabones.

Al ser ingeridos por el hombre en el agua o alimentos contaminados, los compuestos de mercurio, plomo o cadmio provocan ceguera, amnesia, raquitismo, miastenia o hasta la muerte. Por esta razón, desde el punto de vista de la Salud Pública, la medición

permanente de los niveles de estos contaminantes en los ríos es de suma importancia.

Comúnmente, debido al alto costo de movilizar personal y equipo a zonas remotas, el muestreo se realiza únicamente en escasos puntos de las cuencas y con baja frecuencia (~ 4 veces/año). Esto permite que puedan haber variaciones grandes en los niveles de contaminantes del agua, sin que sean detectados por el monitoreo habitual, ocasionando graves problemas a las poblaciones involucradas, así como la flora y la fauna aledañas.

En la literatura se han descrito diversos sistemas para monitoreo remoto de parámetros ambientales [1-4]. El presente trabajo describe la construcción de un

* Correspondencia autor: obaltuano@ipen.gob.pe

monitor autónomo de bajo costo, para muestreo y determinación continua de un conjunto de parámetros de calidad química de las aguas en ríos o lagos. Los parámetros elegidos son: pH, conductividad, temperatura y concentraciones de metales pesados como Cu(II), Hg(II) y Pb(II). El equipo trabaja en forma automática, sin requerir la presencia de personal operador en el lugar de monitoreo y la información obtenida se transmite de forma remota, mediante telefonía celular en la modalidad de mensajes de texto. El prototipo construido se ha puesto a prueba realizando mediciones en puquiales del río Lurín.

2. Materiales y métodos

2.1 Instrumentación

El desarrollo del prototipo de medidor autónomo se realizó en los laboratorios de química y electrónica, de la Dirección de Investigación y Desarrollo del Instituto Peruano de Energía Nuclear. Las mediciones y monitoreo de señales transitorias, de potencial eléctrico y corriente eléctrica, se realizaron empleando un osciloscopio digital de marca Tektronix modelo TDS-3032B. Las mediciones de masa se realizaron empleando una balanza analítica de 04 decimales, de marca Shimadzu y modelo AW-320, con certificado de calibración vigente. Los volúmenes de las soluciones estándar se midieron empleando una micro-pipeta Eppendorf de volumen variable (0 – 1 mL). Experimentos complementarios de desarrollo de micro-electrodos de trabajo de oro, se realizaron en los laboratorios de electroquímica de la Facultad de Química e Ingeniería Química de la Universidad Nacional Mayor de san Marcos, así como en los laboratorios de electroquímica de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Ingeniería.

2.2 Productos químicos

Todos los reactivos químicos usados (ácido acético, acetato de sodio, cloruro de potasio, nitrato de plata, ácido clorhídrico) fueron de calidad para análisis y se emplearon sin ninguna purificación adicional. Se emplearon también soluciones estándar comerciales de Bi(III), Cd(II), Cu(II), Hg(II) y Pb(II) de 1000 mg / L, de las marcas Merck y Fluka,

provistas de sus correspondientes certificados de concentración y pureza.

2.3 Diseño del prototipo

2.3.1 Criterios de diseño

Los principales requerimientos del medidor autónomo desarrollado fueron:

- Sistema químico sin mercurio u otros productos nocivos al ambiente.
- Uso de pequeñas cantidades de productos químicos.
- Bajo costo y gran versatilidad.
- Instrumentos livianos, pequeños, de bajo consumo energético, compactos y robustos, adecuados para operar en condiciones de campo.
- Prestaciones analíticas adecuadas para el propósito (precisión, veracidad, límites de detección, robustez, etc.).
- Operación satisfactoria en presencia del oxígeno disuelto en el agua (no debe necesitar eliminación de oxígeno).
- Operación continua prolongada, sin necesidad de intervenciones personales, *in situ*, para mantenimiento (se permite la intervención remota).

2.3.2 Ingeniería básica del prototipo

El prototipo desarrollado consta de dos sistemas principales denominados: Sistema Remoto y Sistema Local.

El sistema remoto está constituido por el equipo autónomo de medición en sí mismo y, el sistema local puede estar formado por cualquier hardware que permita el envío y recepción de mensajes de texto sobre una red de telefonía celular GSM/GPRS. De esta forma, el control, la configuración y la operación misma del sistema remoto se realizan mediante mensajes de texto o SMS.

Estos mensajes pueden ser enviados y recibidos a través de un teléfono celular convencional (Opción 1 utilizada) o mediante un módulo celular conectado directamente a una PC (Opción 2) (Figura 1). En cualquiera de los casos, se requiere que tanto los sistemas local como remoto tengan instalados los chips (tarjeta SIM) de telefonía celular correspondientes, con un número de celular asignado y la disponibilidad de envío de SMS.

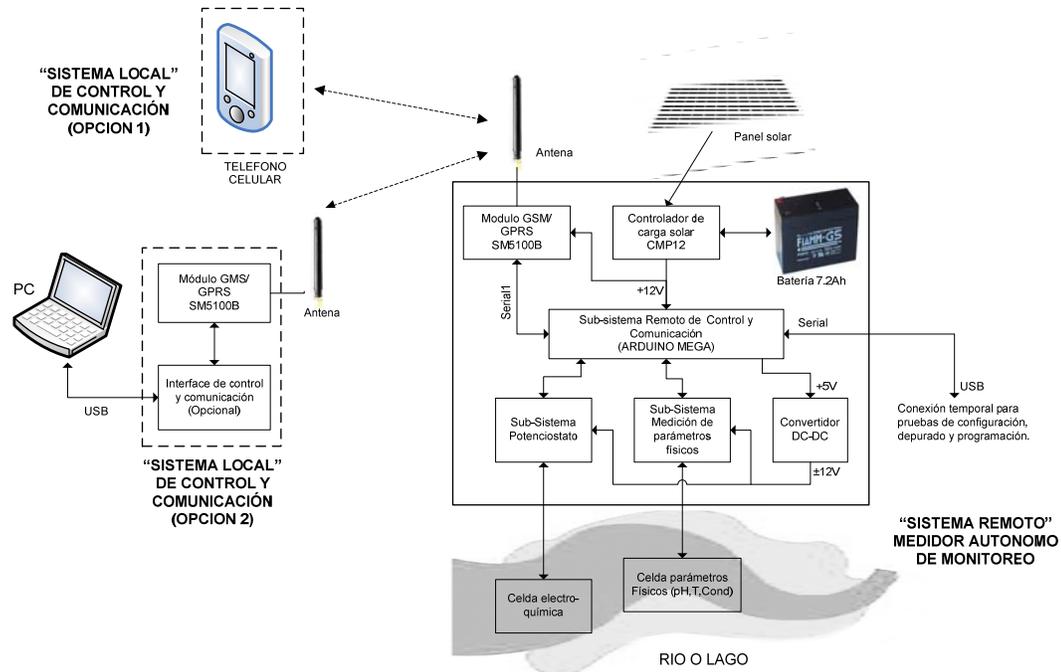


Figura 1. Diagrama de bloques del sistema desarrollado.

El sistema remoto está constituido por el medidor autónomo de monitoreo y sobre este sistema se ha realizado la mayor parte del desarrollo. Este sistema dispone de una autonomía para funcionar sin necesidad de estar conectado a una toma de corriente eléctrica, debido a que adquiere energía mediante un panel solar y la almacena en una batería sellada de plomo-ácido. Igualmente, incluye un módulo de telefonía celular, una tarjeta Arduino Mega que realiza el control de todo el sistema y circuitos electrónicos complementarios que permiten la interconexión de los sensores físicos y químicos utilizados. Una conexión USB temporal es utilizada para hacer la carga del firmware sobre la tarjeta Arduino Mega, así como para la depuración del software durante las pruebas de operación.

2.3.3 Subsistema de comunicación GSM/GPRS

Está constituido por un módulo de comunicación celular GSM/GPRS cuatribanda SM5100B (Figura 2) fabricado por la empresa Spreadtrum Communications Inc. [5]. Este módulo se ha instalado sobre un *shield* para plataforma Arduino, lo que permite realizar su montaje directamente sobre la tarjeta Arduino Mega [6] utilizada. El módulo SM5100B se configura y se

comunica a través de una comunicación serial RS-232, utilizando los comandos AT según el manual de fabricante. Una tarjeta SIM prepago ha sido instalada en el módulo para realizar la comunicación vía mensajes de texto.



Figura 2. "Shield" para plataforma Arduino con módulo SM5100B utilizado.

2.3.4 Subsistema de análisis electroquímico

Para esta aplicación se ha adaptado la tarjeta de control de un potencióstato analítico de bajo costo y altas prestaciones desarrollado en el IPEN [7], sin embargo se cambió la tarjeta Arduino Duemilanove [6] contemplada en el diseño original por una tarjeta Arduino Mega de mayor capacidad, la que se utiliza para generar la secuencia de señales que son aplicadas al contra electrodo de la celda electroquímica. Fue necesario realizar

algunas adaptaciones debido a que la tarjeta del potenciómetro diseñada originalmente para funcionar como “*shield*” sobre una plataforma Arduino Duemilanove [6], no es totalmente compatible con la distribución de pines de la plataforma Arduino Mega, en especial, las líneas de comunicación para el puerto SPI.

2.3.5 Subsistema de medición de parámetros físicos (pH, temperatura, conductividad)

Los parámetros físicos son medidos a través de tres sensores diferentes, cada uno asociado a distintos circuitos de acondicionamiento analógico. La medición de pH se realiza a través de un electrodo de pH comercial, el cual está acoplado a un circuito simple, con un OPAMP CA3140 con $1.5T\Omega$ de impedancia de entrada. Un desplazador de nivel realiza las correcciones en los niveles de voltaje de la señal, para que el rango dinámico se encuentre entre 0V y 1V. Esta señal es ingresada a una de las entradas analógicas de la tarjeta Arduino Mega con una resolución de 10 bits y un voltaje de referencia de 1,1 V.

Para las lecturas de pH se empleó un offset de + 513 mV, con la finalidad de poder leer valores de pH ácidos y alcalinos. Así, un valor de pH = 7 dará una lectura de 513 mV y para hallar el pH de una solución cualquiera, a 25 C, se debe usar la ecuación:

$$\text{pH} = 7,00 + (E_{\text{medido}} - 513) \text{ mV} / (59,2 \text{ mV/ unidad de pH})$$

El medidor de conductividad [5] está basado en una celda de dos electrodos, sobre la cual se aplica una onda triangular con una amplitud de 70 mV de valor pico (valor eficaz = 44 mV). La corriente que circula a través de los electrodos es directamente proporcional a la conductividad del agua. Esta corriente pasa a través de un convertidor I-V y la señal es posteriormente rectificada para obtener un valor continuo, proporcional a la conductividad, el cual es medido a través de una de las entradas analógicas de la tarjeta Arduino Mega.

Para las medidas de conductividad se utilizó una resistencia de retroalimentación de 51 k Ω , en el amplificador operacional U10 (Figura 5) y una celda con una constante de 30 cm⁻¹. Así, por ejemplo, si se obtiene una

lectura de 35 unidades del ADC, el valor de la señal, en mili voltios será:

$$E = 35 \times 1100 / 1023 = 37,6 \text{ mV}$$

Para obtener la conductancia se emplea la ecuación de transferencia del amplificador operacional U10 (Figura 5). Es decir:

$$(1/R) = 37,6 \text{ mV} / (44 \text{ mV} \times 51K\Omega) = 1,68 \times 10^{-5} \text{ S}$$

Finalmente, el valor de la conductividad específica de la muestra analizada será:

$$\kappa = 30 \text{ cm}^{-1} \times 16,7 \mu\text{S} = 501 \mu\text{S}$$



Figura 3. Imagen de los circuitos de tratamiento analógico para medición de parámetros físicos: pH, conductividad y temperatura.

El valor de la temperatura es medido utilizando un sensor de temperatura de precisión LM35, el cual tiene una sensibilidad de 10mV/°C. Esta señal no requiere ningún procesamiento analógico y es directamente leída a través de una entrada analógica de la tarjeta Arduino Mega, según la siguiente expresión:

$$T (\text{°C}) = (\text{Valor Leído}) \times 1.1 / 10,23$$

En la Figura 3 se muestra la electrónica del subsistema de medición de conductividad, pH y temperatura. Para la medición de estos parámetros se colocaron los sensores respectivos fuera de la celda.

2.3.6 Subsistema de alimentación (convertidor DC-DC)

Esta etapa (Figura 4) está basada en un CI MAX743 que genera voltajes de +12V y -12V a partir de un voltaje fijo de +5V. Estos voltajes son necesarios para la operación de todas las etapas de tratamiento analógico de las señales. Este módulo opera con un chopper oscilando a 150KHz, sin embargo los niveles de ruido de las líneas analógicas

se han filtrado lo suficiente para estar por debajo 5mV.



Figura 4. Convertidor DC-DC montado sobre tarjeta tipo "shield" que es insertada sobre la tarjeta del potencióstato.

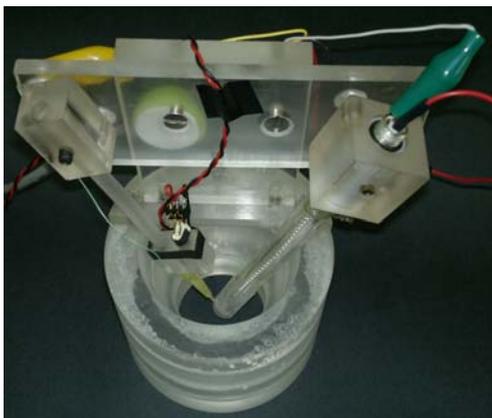


Figura 5. Detalle de la celda electroquímica. A la izquierda, electrodo de trabajo de oro y motor vibrador para incremento de la sensibilidad. A la derecha electrodo combinado de referencia y contra-electrodo.

2.3.7 Celda electroquímica

La celda electroquímica ha sido construida en material de acrílico, el cual ha sido torneado para forma una vasija cilíndrica sin fondo. Los electrodos de trabajo y el electrodo combinado de platino y Ag/AgCl se han montado con soportes verticales, de tal forma que la región sensible de cada uno se encuentre dentro del contenedor cilíndrico de acrílico. Esto permite sumergir la celda directamente en el medio a analizar, logrando que los electrodos se encuentren en contacto con el medio. Como electrodo de trabajo se utiliza alambre de oro de 250 μm de diámetro y sobre el cuerpo del mismo, se instaló un pequeño motor vibrador para aumentar la sensibilidad de medición (Figura 5).



Figura 6. Detalle del montaje e integración de las diversas partes del equipo construido. (Se observan: la tarjeta Arduino Mega, el módulo GSM/GPRS, el potencióstato y el convertidor DC-DC montados en forma vertical).

3. Resultados y discusión

Todas las etapas electrónicas del prototipo fueron montadas dentro de un gabinete de aluminio (Figuras 6 y 7) y sometidos a pruebas de campo en distintos puquiales correspondientes a la cuenca del río Lurín. Para el análisis electroquímico se utilizaron pulsos de 25 mV y tiempos de muestro de 3 ms posteriores a la aplicación del pulso. Una rampa tipo escalera con alturas de 1 mV fue aplicada sobre la señal anterior.

Los resultados de las pruebas anteriores pueden observarse en la Figura 8, donde se grafica la respuesta de las señales del prototipo obtenidas para el agua del río Lurín y para una solución patrón de 100 $\mu\text{g/L}$ de Pb(II), 40 $\mu\text{g/L}$ de Cu(II) y 40 $\mu\text{g/L}$ de Hg(II). No se detecta contaminación del agua por ninguno de estos iones metálicos, lo que indica que sus concentraciones están por debajo de los límites de detección del instrumento, que están alrededor de 2 $\mu\text{g/L}$.

Asimismo, las mediciones de pH, temperatura y conductividad nos han dado valores de pH = 7,30; T = 24 C y κ = 14 μS , ésta última en el límite de detección del instrumento empleado.

Se concluye que la muestra de agua analizada no está contaminada.



Figura 7. Medidor autónomo trabajando en condiciones de campo en un puquial del río Lurín.

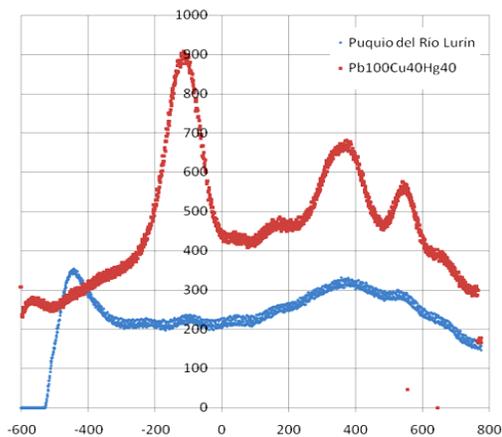


Figura 8. Respuesta del potenciómetro al agua del Río Lurín (azul) y a una solución patrón que contiene 100 µg/L de Pb(II), 40 µg/L de Cu(II) y 40 µg/L de Hg(II).

4. Conclusiones

- Se ha desarrollado y probado exitosamente el equipo construido.
- El sistema realiza mediciones de pH, conductividad, temperatura y concentraciones de Cd(II), Cu(II), Hg(II) y Pb(II).
- La operación es remota a pedido del usuario, mediante mensaje de texto. El prototipo de medidor envía los resultados de la misma forma.
- El prototipo es de bajo costo, portátil, robusto, confiable y de fácil operación.

- El resultado del análisis del agua de un puquio que contribuye a las aguas del río Lurín, ubicado cerca de Villa Salvador, no presenta contaminación debida a iones de metales tóxicos.

5. Bibliografía

- [1] Carvalho V, Gabriel J, Ramos H, Corrêa F; City-Wide Mobile Air Quality Measurement System; 978-1-4244-5335-1/09/\$26.00 ©2009 IEEE - IEEE SENSORS 2009 Conference, 2009: 546-551.
- [2] Khedo K, Perseedoss R, Mungur A; A Wireless Sensor Network Air Pollution Monitoring System, International Journal of Wireless & Mobile Networks (IJWMN), Vol2, No2, May 2010..
- [3] Al-Ali A, Zualkernan I, Aloul F; A Mobile GPRS-Sensors Array for Air Pollution Monitoring; 1530-437X/\$26.00 © 2010 IEEE; IEEE SENSORS JOURNAL, VOL. 10, NO. 10, OCTOBER 2010.
- [4] Hasenfratz D, Saukh O, Sturzenegger S, Thiele L. Participatory air pollution monitoring using smartphones. 2nd International Workshop on Mobile Sensing; ACM 978-1-4503-1227-1/12/04 \$10.00; 2nd International Workshop on Mobile Sensing.
- [5] Spreadtrum Communications, Inc. [homepage de Internet]. Disponible en: <http://www.spreadtrum.com/en/>
- [6] Arduino Electronics. [homepage de Internet]. Disponible en: <http://www.arduino.cc/>
- [7] Baltuano O, Montoya E, Hernández Y. Desarrollo de potenciómetro analítico de bajo costo y altas prestaciones. Informe Científico Tecnológico 2012. Lima, 2013. [In press].

Detección y caracterización molecular de *Escherichia coli* productor de Toxina Shiga en sistemas de producción aviar

Jorge Rodríguez^{1,*}, Ysabel Koga¹, Arnaldo Alvarado¹, Katherine Porturas¹, Juan Agapito², Robert Tinoco¹

¹ Laboratorio Microbiología, Biología Molecular, Bioservice S.R.L. Av. Nicolas de Pierola 1228, Lima 35, Perú

² Laboratorio de Genómica y Biología Molecular, Instituto Peruano de Energía Nuclear, Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

Resumen

El objetivo del presente estudio fue determinar la presencia de factores de virulencia y patrones de resistencia antibiótica en 46 cepas de *Escherichia coli* aisladas en aves de corral (Pollos de carne - Broiler). Las 46 cepas de *Escherichia coli* fueron resistentes a ciprofloxacina, enrofloxacin, colistina, amoxicilina, florfenicol, doxiciclina, oxitetraciclina, fosfomicina y sulfatrimetropin. Análisis molecular de REP-PCR y BOXA1R confirmó la presencia de 46 cepas genéticamente diferentes obtenidas a partir de los aislados clínicos. Toxinotipificación mediante PCR para los genes de Toxina Shiga 1 (stx1), Toxina Shiga 2 (stx2) encontró solo la presencia de genes productores de Toxina Shiga 2 en 6 cepas de *Escherichia coli* (6/46; 13,04 %). El presente estudio constituye uno de los primeros reportes de *Escherichia coli* productora de shigatoxina 2 en sistemas de producción de pollos de carne en la costa peruana. En base a los resultados obtenidos, se sugiere la presencia *Escherichia coli* multidrogo resistente y productora de toxinas en cuadros clínicos aviares.

Detection and molecular characterization of *Escherichia coli* Shiga toxin-producing poultry production systems

Abstract

The aim of this study was to determine the presence of virulence factors and antibiotic resistance patterns of 46 *Escherichia coli* strains isolated from poultry. The 46 strains of *Escherichia coli* were resistant to ciprofloxacin, enrofloxacin, colistin, amoxicillin, florfenicol, doxycycline, oxytetracycline, fosfomycin and sulfatrimetropin. Molecular analysis and BOXA1R REP-PCR confirmed the presence of 46 genetically different strains obtained from clinical isolates. PCR for Shiga toxin 1 (stx 1), Shiga toxin 2 (Stx2) genes found only the presence of Shiga toxin 2 in six strains of *Escherichia coli* (6/46; 13.04 %). This study is one of the first reports of Shiga-toxin 2 producing *Escherichia coli* in poultry production systems in the Peruvian coast. Based on the results obtained, it suggests the presence multidrug resistant and toxin-producing *Escherichia coli* from avian clinical cases.

1. Introducción

Escherichia coli patogénica aviar (APEC) usualmente se asocia a infecciones extra intestinales causantes de enfermedades respiratorias, septicemia, síndrome de cabeza hinchada, celulitis entre otros, predominando los serotipos O1, O2, O35 y O78 [1]. Algunas de las propiedades que caracterizan a las APEC son la producción de pilis específicos que median la adherencia a los tejidos, la secreción de aerobactina, la resistencia a la actividad bactericida del suero, la formación de capsulas de polisacáridos entre otros [2]. Adicionalmente, las cepas de *Escherichia coli* patogénicas provenientes de mamíferos, producen citotoxinas conocidas como toxina

Shiga 1 y 2 (*Escherichia coli* verotoxigénica), las cuales poseen la capacidad de causar patologías en humanos como la colitis hemorrágica y síndrome urémico, enfermedades producidas debido principalmente al consumo de alimentos contaminados (carne y leche)[3]. Investigaciones epidemiológicas revelaron que el ganado doméstico es el principal responsable de la transmisión de *Escherichia coli* verotoxigénica [4]. Sin embargo, en la actualidad se han venido reportando la presencia de factores de virulencia como la presencia de toxinas tipo Shiga (verotoxinas) en APEC [1]

*Correspondencia autor: jorge.rodriguez.b@upch.pe

constituyendo las aves de corral una fuente potencial de producción de cepas patógenas de *Escherichia coli* para humanos. El objetivo del presente estudio fue determinar la presencia de factores de virulencia y patrones de resistencia antibiótica en 46 cepas de *Escherichia coli* aisladas a partir de casos de colibacilosis clínica en aves de corral.

2. Materiales y Método

Cuarenta y seis cepas de *Escherichia coli*, obtenidas a partir de casos clínicos de colibacilosis en aves de corral, fueron aisladas a partir de cultivo selectivo en Agar Mc Conkey y enriquecidas en caldo Tioglicolato durante 24 horas a 37 °C. Un perfil de resistencia a antibióticos de primera línea y segunda línea: ciprofloxacina, enrofloxacin, colistina, amoxicilina, florfenicol, doxiciclina, oxitetraciclina, fosfomicina y sulfatrimetropin fue realizado.

ADN genómico de *Escherichia coli* fue extraído a partir de 5 colonias utilizando el método de digestión con proteinasa K y solventes orgánicos [5]. El ADN genómico fue cuantificado por espectrofotometría y diluido a una concentración final de 10 ng/uL.

2.1 Huella genética dactilar por BOXA1R y REP-PCR

Fragmentos entre 100 y 1500 pares de bases fueron amplificados mediante BOX A1R y REP-PCR utilizando los cebadores y condiciones descritas por [6]. La reacción de PCR se realizó en un volumen final de 20 uL conteniendo 10 ng ADN genómico, 1X Buffer de PCR (20 mM Tris-HCl, 20 mM KCl, 5 mM (NH₄)₂SO₄), 2.5 mM MgCl₂, 10 pmoles de cada cebador (5'-3'):

REP1:IIIGCGCCGICATCAGGC y
 REP2:ACGTCTTATCAGGCCTAC;
 BOXA1R:CTACGGCAAGGCGACGCTGACG, 0.2 mM de dNTPs, 1U Maxima HotStart- Taq ADN polimerasa (Fermentas). Los ciclos termales utilizados para REP-PCR fueron: 1 ciclo inicial de 95 °C por 3 minutos, 30 ciclos de 90 °C por 30 segundos, 50 °C por 30 segundos, 52 °C por 1 minuto y 72 °C por 1 minuto, finalmente un ciclo de 72 °C por 8 minutos, para BOXA1R: 1 ciclo inicial de 95 °C por 3 minutos, 30 ciclos de 94 °C por 30 segundos, 50 °C por 1 minuto y 65 °C

por 1 minuto, finalmente un ciclo de 65 °C por 8 minutos, la amplificación se llevó a cabo en un termociclador Veriti Thermal Cycler (Applied Biosystems). Los productos de PCR fueron separados por electroforesis en gel de agarosa al 1 % en buffer TBE 1X (Tris, Borato, EDTA), teñidos con una solución de Bromuro de etidio (0.1 ug/mL) y visualizados mediante luz ultravioleta. Una huella dactilar genética (ADN fingerprinting) fue realizada a partir de los patrones de bandas generadas para BOX A1R y REP-PCR utilizando el programa Biodoc Analyze v2.2 (Biometra).

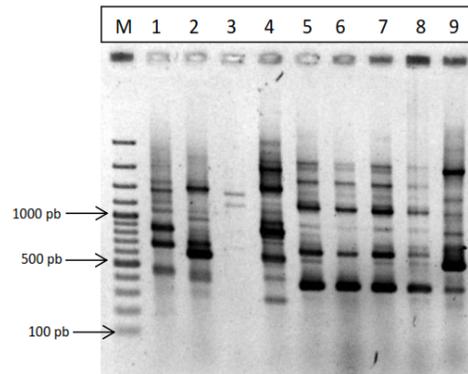


Figura 1. BOXA1R DNA fingerprinting (Huella genética de ADN) de 9 aislados de *Escherichia coli* provenientes aves comerciales (Broilers). Líneas 1-9, aislados clínicos de *Escherichia coli*, Línea M. marcador de peso molecular Generuler 100 bp plus (Fermentas), pb= pares de bases.

2.2 Amplificación del gen de Toxina Shiga1 (*stx1A*) y Toxina Shiga 2 (*stx2A*)

Fragmentos específicos para el gen de Toxina Shiga1 (*stx1A*) y Toxina Shiga 2 (*stx2A*) fueron amplificados mediante reacción en cadena de la polimerasa (PCR) utilizando los cebadores descritos por [7] en un volumen final de 20 uL conteniendo: 10 ng ADN genómico, 1X Buffer de PCR (20 mM Tris-HCl, 20 mM KCl, 5 mM (NH₄)₂SO₄), 2 mM MgCl₂, 5 pmol de cada cebador (5'-3'):

stx1A;
 LP30:CAGTTAATGTCGTGGCGAAGG y
 LP31:CACCAGACAATGTAACCG CTG;
stx2A; LP43: ATCCTATTCCCGG
 GAGTTTACG y LP44: GCGTCAT
 CGTATACACAGGAGC, 0.2 mM de dNTPs, 0.5 U Maxima HotStart- Taq ADN polimerasa (Fermentas). Los ciclos termales fueron los siguientes: desnaturalización inicial de 94 °C por 3 minutos, seguido de 30

ciclos de 94 °C por 30 segundos, 53 °C por 60 segundos, 72 °C por 30 segundos y una extensión final de 72 °C por 5 minutos, la amplificación se llevó a cabo en un termociclador Veriti Thermal Cycler (Applied Biosystems). Los productos de PCR fueron separados mediante electroforesis en gel de agarosa al 1 %, TBE 1X a 100V, teñidos con una solución de Bromuro de etidio (0.1 ug/mL) y visualizados mediante luz ultravioleta.

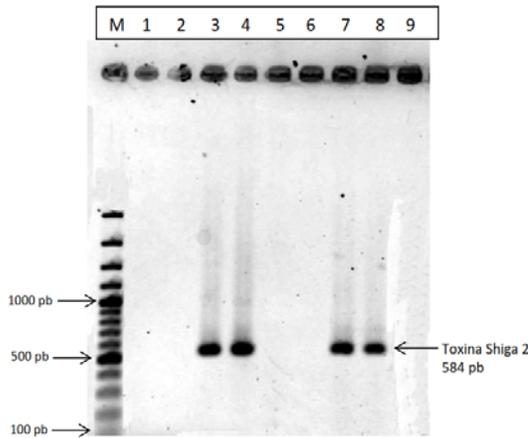


Figura 2. Amplificación por PCR del gen para Toxina Shiga 2 de 7 aislados de *Escherichia coli* provenientes aves comerciales (Broilers). Líneas 1-7, aislados clínicos de *Escherichia coli*, Línea 8. Control positivo (*Escherichia coli* verotoxigénica – Gen Toxina Shiga 2), Línea M. marcador de peso molecular Generuler 100 bp plus (Fermentas), pb= pares de bases.

3. Resultados y Discusión

Un total de 46 cepas diferentes de *Escherichia coli* fueron aisladas a partir de cornetes nasales (8/46, 17.4 %), hígado (4/46, 8.7 %), pulmón (5/46, 10.9 %), saco vitelino (6/46, 13 %), sacos aéreos (8/46, 17.4 %), senos infraorbitarios (6/46, 13 %) y tráquea (9/46, 19.5 %). La identidad de las cepas fue confirmada por la presencia de 46 patrones diferenciados de bandas amplificadas por BOXA1R y REP-PCR (Figura 1). Las 46 cepas aisladas fueron resistentes a antibióticos de primera línea y segunda línea: ciprofloxacina, enrofloxacin, colistina, amoxicilina, florfenicol, doxiciclina, oxitetraciclina, fosfomicina y sulfatrimetropin, resultado igual con lo reportado por otros autores [8,9]. El incremento de los reportes de resistencia antibiótica en *Escherichia coli* en sistemas de

producción animal viene siendo atribuido al uso de antibióticos en dosis subterapéuticas (promotores de crecimiento), el uso de antibióticos de primera y segunda línea en dosis terapéuticas y el uso excesivo de desinfectantes [8,9,10]. Sin embargo, no todas la *Escherichia coli* presentes en aves son potencialmente patógenas para humanos, pero es necesario recalcar la importancia de la potencial transmisión de factores de virulencia o genes de resistencia antibiótica de estas cepas a cepas no patógenas presentes en la microflora intestinal humana [11,12].

Nuestros resultados reportan un total de 6 cepas de *Escherichia coli* aisladas (6/46; 13.04 %) a partir de tráquea, senos infraorbitarios, sacos aéreos, cornetes nasales e hígado que amplificaron un fragmento de 584 pares de bases del gen productor de Toxina Shiga 2 (Figura 2). No se apreció amplificación en ninguna de la 46 cepas de *Escherichia coli* para gen productor de Toxina Shiga 1. Similares resultados han sido reportados para la presencia de *Escherichia coli* verotoxigénica (Toxina Shiga 2 positiva) en aves de corral con colibacilosis (23.8 %, 10/42) [13] en la India. Estudios en Canadá reportan un 53 % (52/97) de cepas portadoras de Toxina 1 o 2 en aves con cuadros clínicos de colibacilosis [1]. En contraste, [14] reportan la presencia de *Escherichia coli* O157 verotoxigénica (Toxina Shiga1 y 2 positivas) en aves de corral sanas en Eslovaquia en un orden de 9.2 %, [15]; en la India, en palomas y aves de corral clínicamente sanas, se reportan en un orden de 4.24 % [16] y en Finlandia, en palomas, se reportan un 3 %; las prevalencias más elevadas del orden del 70 % en aves sanas han sido reportadas en Nigeria [17], indicando la importancia de las aves de corral en la transmisión de esta cepa de *Escherichia coli*. Adicionalmente, reportes de la presencia de Toxina shiga 2 en heces de canarios domésticos (*Serinus canaria domestica*) sanos en Irán (6 %; 3/50) alertan de un nuevo potencial vehículo aviar para la transmisión de *Escherichia coli* verotoxigénica a humanos [18].

4. Conclusiones

El presente estudio constituye uno de los primeros reportes de *Escherichia coli*,

productora de shigatoxina 2 en sistemas de producción de pollos de carne en la costa peruana. Los resultados obtenidos indican la presencia *Escherichia coli* multidrogo resistente y productoras de Toxina Shiga 2 en cuadros clínicos de colibacilosis aviar sugiriendo la importancia de los sistemas de producción aviar en la transmisión de esta cepa de *Escherichia coli* verotoxigenica.

5. Agradecimientos

El presente estudio fue financiado por el Laboratorio de Microbiología - Bioservice S.R.L., los autores agradecen a los MV. Stephane Lovon, Brenda Jara, Madeleine Garcia, Bach. Heberht Uchuya y Jonathan Castro por el apoyo en la colección y preparación de muestras.

6. Bibliografía

- [1] Parreira V, Gyles C. Shiga toxin genes in avian *Escherichia coli*. *Vet Microbiol*. 2002; 87(4):341-352.
- [2] Gomis S, Riddell C, Potter A, Allan B. Phenotypic and genotypic characterization of virulence factors of *Escherichia coli* isolated from broiler chickens with simultaneous occurrence of cellulitis and other colibacillosis lesions. *Can. J. vet. Res*. 2001; 65:1-6.
- [3] Dorn C. Hemorrhagic colitis and hemolytic uremic syndrome caused by *Escherichia coli* in people consuming undercooked and unpasteurized milk. *J. Am. Vet. Med. Assoc. Lett*. 1988; 11:1360.
- [4] Beutin L, Geier D, Steinrück H, Zimmermann S, Scheutz F. Prevalence and some properties of verotoxin (Shiga-like toxin)-producing *Escherichia coli* in seven different species of healthy domestic animals. *J Clin Microbiol*. 1993; 31(9):2483-2488.
- [5] Sambrook J, Fritsch E, Maniatis T. *Molecular Cloning – A Laboratory Manual*, 2nd Edition. Cold Spring Harbour Laboratory Press, New York. 1989.
- [6] Albufera U, Bhugaloo-Vial P, Issack M, Jaufferally-Fakim Y. Molecular characterization of *Salmonella* isolates by REP-PCR and RAPD analysis. *Infection, Genetics and Evolution*. 2009; 9: 322–327.
- [7] Cebula T, Payne W, & Feng P. Simultaneous identification of strains of *Escherichia coli* serotype O157:H7 and their shiga-like toxin type by Mismatch Amplification Mutation Assay-Multiplex PCR. *Journal of Clinical Microbiology*. 1995; 33(1):248-250.
- [8] van den Bogaard E, London N, Driessen C, Stobberingh E.. Antibiotic resistance of faecal *Escherichia coli* in poultry, poultry farmers and poultry slaughterers. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*. 2001;47: 763–771
- [9] Tadesse D, Zhao S, Tong E, Ayers S, Singh A, Barholomew M, McDermott P. Antimicrobial Drug Resistance in *Escherichia coli* from Humans and Food Animals, United States, 1950–2002. *Emerging Infectious Diseases*. 2012; 18(5):741-749.
- [10] McLaren I, Wales A, Breslin M, Davies R. Evaluation of commonly-used farm disinfectants in wet and dry models of *Salmonella* farm contamination. *Avian Pathology*. 2011; 40 (1):33-42.
- [11] Kanai H, Hashimoto H, Mitsuhashi S. Drug resistance and R plasmids in *Escherichia coli* strains isolated from broilers. *Microbiol Immunol*. 1983; 27: 471-478.
- [12] Linton A, Howe K, Bennett P, Richmond M. The colonization of human gut by antibiotic resistant *Escherichia coli* from chickens. *J Appl Bacteriol*. 1977; 43: 465-469.
- [13] Dutta T, Roychoudhury P, Bandyopadhyay S, Wani S, Hussain I. Detection & characterization of Shiga toxin producing *Escherichia coli* (STEC) & enteropathogenic *Escherichia coli* (EPEC) in poultry birds with diarrhoea. *Indian J Med Res*. 2011;133:541-545
- [14] Pilipcinec E, Tkáčiková L, Naas H, Cabadaj R, Mikula I. Isolation of verotoxigenic *Escherichia coli* O157 from poultry. *Folia Microbiol (Praha)*. 1999; 44(4):455-456.
- [15] Farooq S, Hussain I, Mir M, Bhat M, Wani S. Isolation of atypical enteropathogenic *Escherichia coli* and Shiga toxin 1 and 2f-producing *Escherichia coli* from avian species in India. *Lett Appl Microbiol*. 2009; 248(6):692-697.
- [16] Kobayashi H, Pohjanvirta T, Pelkonen S. Prevalence and characteristics of intimin- and Shiga toxin-producing *Escherichia coli* from gulls, pigeons and broilers in Finland. *J Vet Med Sci*. 2002; 64(11):1071-1073.
- [17] Oboegbulem S, Abiade C, Onunkwo, J, Ezenduka E, Chah F, Nwanta J, Anosike C. Incidence of verotoxigenic *Escherichia coli* in

poultry in Nsukka urban area of outtheastern Nigeria. *Animal Science Reporter* 2009;3(4): 128-131.
[18] Gholami-Ahangaran M, Zia-Jahromi N. Identification of shiga toxin and intimin

genes in *Escherichia coli* detected from canary (*Serinus canaria domestica*). *Toxicol Ind Health*. 2012; DOI: 10.1177/0748233712462480.

Actualización del sistema de control electrónico del intercambiador de muestras QUINA a la versión 5.2

Oscar Baltuano*, Pablo Mendoza, Patricia Bedregal, Eduardo Montoya, Javier Gago, Yuri Hernández

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

Resumen

El sistema de control electrónico del intercambiador de muestras QUINA de la División de Técnicas Analíticas Nucleares (TANU) ha sido actualizado a la versión 5.2 que posee funciones adicionales a las de la versión anterior 4.0. Estas funciones incluyen: comunicación serial con una PC para registro de eventos, códigos de posicionamiento para identificación de posición de muestra en el panel frontal como en el software registrador de eventos de la PC, un sistema mejorado de drivers para el motor de pasos, basado en un CI L298 y el cambio del microcontrolador PIC16F84 de la versión anterior por un PIC16F88. Este dispositivo permite la reprogramación a través del puerto serial conectado a la PC gracias al boot-loader cargado en el mismo, antes de su montaje definitivo en el panel de control.

Abstract

The electronic control system of the sample changer "QUINA" of the Division of Nuclear Analytical Techniques (TANU) has been updated to version 5.2 which has additional features to the previous version 4.0. These functions include: serial communication with a PC to register events, positioning codes for identifying sample position on the front panel and in the PC event recorder software, an improved drivers for stepper motor based on CI L298 and the change of the PIC16F84 microcontroller of the previous version by a PIC16F88. This device allows the reprogramming through the serial port connected to the PC through the boot loader loaded therein, before final installation in the control panel.

1. Introducción

El intercambiador de muestras QUINA, de la División de Técnicas Analíticas Nucleares, es un equipo diseñado y construido en los laboratorios del Instituto Peruano de Energía Nuclear. Su primera versión 1.0 [1] entró en funcionamiento el año de 1997 y desde entonces se han realizado trabajos de actualización con la finalidad de adaptarlo a los requerimientos de los nuevos instrumentos con los que está conectado (computadora y analizador multicanal).

En el año 2003 se realizó la actualización del sistema electrónico a la versión 4.0, sin modificación en los actuadores mecánicos ni de los blindajes.

Recientemente, se observó que era necesario implementar nuevas funcionalidades en el equipo, con el fin de optimizar su operación y garantizar la consistencia de los resultados obtenidos. Algunas de estas funciones, como la identificación de la posición de medición de la muestra, requerían realizar modificaciones en el plato posicionador para

incluir algún tipo de codificación.

De la misma manera, se determinó la necesidad de registrar todos los eventos generados por el intercambiador en la PC, con la finalidad de mantener un reporte actualizado que permita hacer el seguimiento de posibles fallas por mal funcionamiento o mala operación del equipo.

Las adición de estas funciones al equipo requirió el rediseño completo del módulo de control electrónico del intercambiador, además de realizar el cambio del plato posicionador y correcciones en el blindaje del detector, entre otras modificaciones.

Estas actualizaciones han sido de tal magnitud que la nueva versión del intercambiador ha sido establecida como versión 5.2.

* Correspondencia autor: obaltuano@ipen.gob.pe

2. Experimental

2.1 Rediseño del módulo de control electrónico y posicionamiento

El nuevo módulo de control electrónico y posicionamiento está basado en un microcontrolador PIC16F88 (Figura 1), el cual a diferencia de la versión 4.0, que usaba un PIC16F84, posee la capacidad de ser programado *in-circuit*, es decir, puede reprogramarse sin necesidad de ser retirado de la tarjeta y a través de un puerto serial RS-232. Esto permite que cualquier modificación en el firmware, tanto para la depuración como la adición de nuevas funcionalidades, no requiera desmontarse el módulo de control o utilizar hardware adicional. Previo al montaje del microcontrolador, el mismo ha sido precargado con el programa *TinyBootloader* [2] que permite programar el microcontrolador a través del puerto serial.

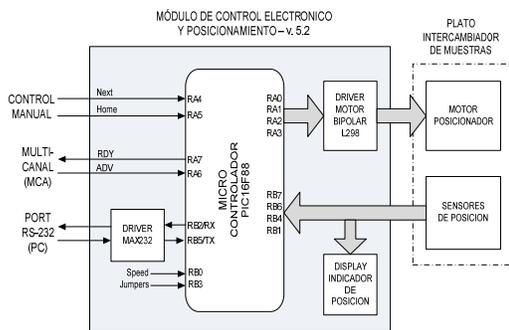


Figura 1. Diagrama de bloques del módulo de control electrónico y posicionamiento rediseñado a la versión 5.2

El driver del motor de pasos bipolar, que en versiones anteriores utilizaba una configuración en puente H implementada con transistores discretos, ha sido reemplazado por un CI L298 lo cual simplifica el diseño y reduce el tamaño de la tarjeta de impreso.

Adicionalmente, se han destinado líneas del microcontrolador [3] PIC16F88 para leer 4 sensores ópticos instalados sobre el plato posicionador con la finalidad de identificar que muestra se encuentra sobre la posición de medición. Esta posición es leída por el microcontrolador y es mostrada en un display de 7 segmentos en el panel frontal, además de ser enviada a la PC para el registro correspondiente.

A través del puerto serial conectado a la PC todos los eventos y operación que realiza el

módulo de control son registrados en la PC, mediante un programa especialmente escrito para este fin.

Además de las funciones anteriores, de la versión 4,0, se han mantenido la posibilidad de realizar el cambio manual de la muestra mediante pulsadores montados sobre el panel frontal y la opción de operar en forma totalmente automática a través del *handshaking* realizado con el analizador multicanal mediante las líneas ADVANCE (ADV) y READY (RDY) que estos equipos poseen (Figura 2). La señal ADV es enviada desde el MCA hacia el sistema de control electrónico para indicar que la muestra actual ha terminado de ser analizada y requiere el cambio de muestra. La señal RDY es enviada desde el sistema de control hacia el MCA para indicar que la nueva muestra se encuentra posicionada y lista para ser analizada. Actualmente, el intercambiador opera en conjunto con un MCA Camberra Multiport II que no admite la señal de retorno RDY, pero no afecta la operación porque el MCA temporiza el tiempo de cambio de muestra. Se ha mantenido la funcionalidad de la línea RDY por compatibilidad de uso con equipos de otros fabricantes.

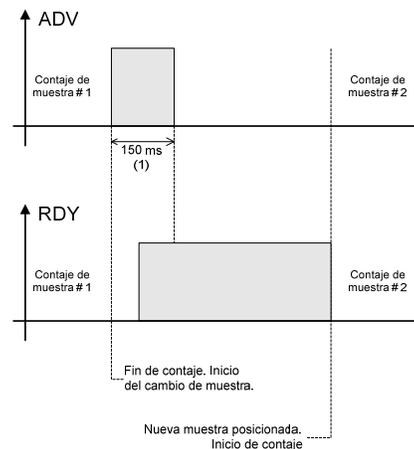


Figura 2. Representación del handshaking realizado entre el módulo de control y el analizador multicanal para operación en modo automático.

2.2 Sensores de posición sobre el plato intercambiador

El plato intercambiador es movido mediante un motor de pasos acoplado en la parte externa del mismo, con la finalidad de ganar torque (Figura 3). El sistema de control electrónico genera la secuencia adecuada para

hacer girar el motor de pasos bipolar que a su vez mueve el plato intercambiador. La posición de la muestra se realiza mediante la lectura de cuatro sensores infrarrojos de transmisión. Sobre la superficie del plato intercambiador semitransparente se colocaron marcas opacas, las cuales son detectadas por los sensores infrarrojos. La calibración de estas marcas opacas y la posición exacta de la muestra se realiza de forma manual durante el montaje del plato intercambiador. Un sensor infrarrojo indica el posicionamiento de la muestra, en tanto los otros tres sensores codifican el número de muestra, tal como se grafica en la Tabla 1.

Tabla 1. Codificación de los sensores de posición.

| POS | Sensores | | | Display Posicion |
|-----|----------|----|----|------------------|
| | D2 | D1 | D0 | |
| 0 | X | X | X | Apagado |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 1 | 0 | 2 |
| 1 | 0 | 1 | 1 | 3 |
| 1 | 1 | 0 | 0 | 4 |
| 1 | 1 | 0 | 1 | 5 |
| 1 | 1 | 1 | 0 | 6 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 7 |

Un display de 7 segmentos, montado sobre la parte frontal del gabinete del sistema de control electrónico (Figura 4), permite visualizar rápidamente cual es el número de muestra que se encuentra en posición de medida en todo instante. Simultáneamente el código de la muestra posicionada es enviado a la PC para su registro en el programa de control.

2.3 Control manual

Sobre el panel frontal se han incluido dos botones para facilitar el control manual de ser necesario. Uno de ellos permite posicionar el plato intercambiador en la “Posición 1” o posición de inicio y el otro permite cambiar el plato a la siguiente muestra (Figura 4). Todos los eventos generados por el control manual son registrados en el programa de la PC.

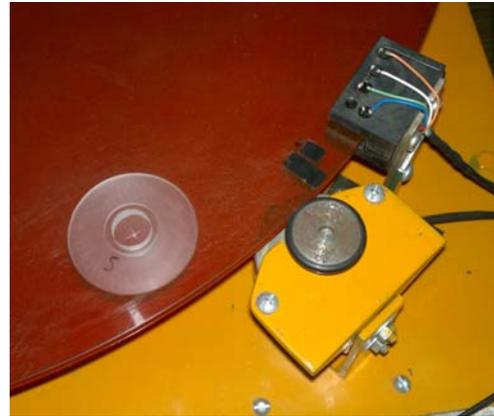


Figura 3. Detalle del motor de arrastre del plato intercambiador y los sensores de posición.

El diagrama esquemático completo del módulo de control electrónico y posicionamiento se muestra en la Figura 7.

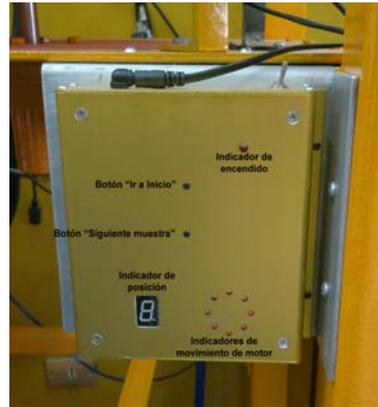


Figura 4. Imagen que muestra el panel frontal del módulo de control electrónico y comunicación.

2.4 Firmware

El firmware grabado en el microcontrolador está compuesto por el programa TinyBootloader [2] de distribución libre, el cual es grabado en el chip antes de ser instalado sobre la tarjeta. Este programa está escrito en ensamblador y ha sido compilado con el compilador MPASM de microchip sobre el entorno MPLAB IDE v8.4. Posteriormente, este *boot-loader* permite cargar, sobre el chip, el firmware de control específico que ha sido escrito para esta aplicación a través del puerto serial desde la PC, el mismo que ha sido desarrollado en lenguaje C++ y compilado usando el compilador de Microchip MPLAB XC8 v1.12 sobre el entorno de desarrollo MPLAB X IDE v1.51. Todos estos programas son de uso libre en sus versiones limitadas.

2.5 Software de control en la PC

Se ha escrito un programa para el control manual desde la PC y el registro de eventos reportados por el intercambiador (Figura 5).

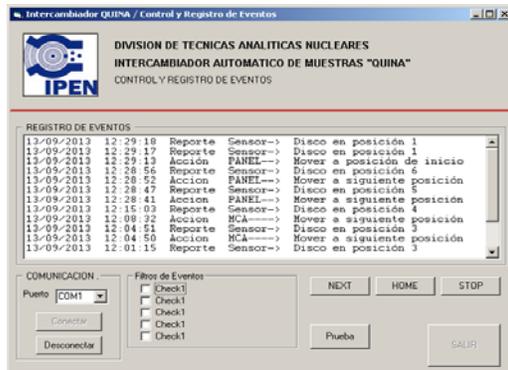


Figura 5. Captura de pantalla del programa de comunicación con la PC.

Esta funcionalidad es posible gracias a que el microcontrolador usado posee un puerto de comunicación estándar RS-232, para realizar la comunicación con la PC. A través de este puerto el sistema de control informa a la PC todos los eventos que se suceden, lo que permite registrar dentro de la PC un archivo con la descripción de los mismos. Este programa ha sido escrito en MS Visual Basic 6.0.

3. Integración y puesta en operación

El nuevo módulo de control electrónico se ha montado dentro de un gabinete de aluminio anodizado e instalado sobre la estructura metálica de soporte del intercambiador (Figura 6). El plato intercambiador fue reemplazado por uno nuevo, cambiándose

también la configuración de los blindajes. La comunicación serial RS232 se hace sobre cable blindado de 3 hilos hacia la PC, la que a su vez controla el analizador multicanal Camberra Multiport II.

Todo el sistema ha sido puesto a operar en forma rutinaria, indistintamente en modo automático y manual, sin reporte de fallas ni necesidad de modificaciones al hardware o software implementado.

4. Conclusiones

Las modificaciones que han permitido actualizar a la versión 5.2 del intercambiador QUINA cumplen las expectativas de los usuarios, ya que se dispone de un equipo con mejores prestaciones y una mayor versatilidad.

La función de registro de eventos, junto con la posibilidad de identificar la muestra que está siendo analizada, ha mejorado considerablemente la depuración e identificación de fallos durante la operación en modo automático.

La necesidad de realizar actualizaciones al hardware utilizado en los laboratorios de investigación, refuerza y confirma la importancia de desarrollar soluciones tecnológicas adaptadas a nuestras necesidades, porque nos permite darle sostenibilidad tecnológica a los equipos utilizados, con una inversión que representa una fracción muy pequeña en comparación a las soluciones comercialmente disponibles.



Figura 6. Imágenes de la versión 4.0 del intercambiador QUINA (izquierda) y la actualización a la nueva versión 5.2 (derecha).

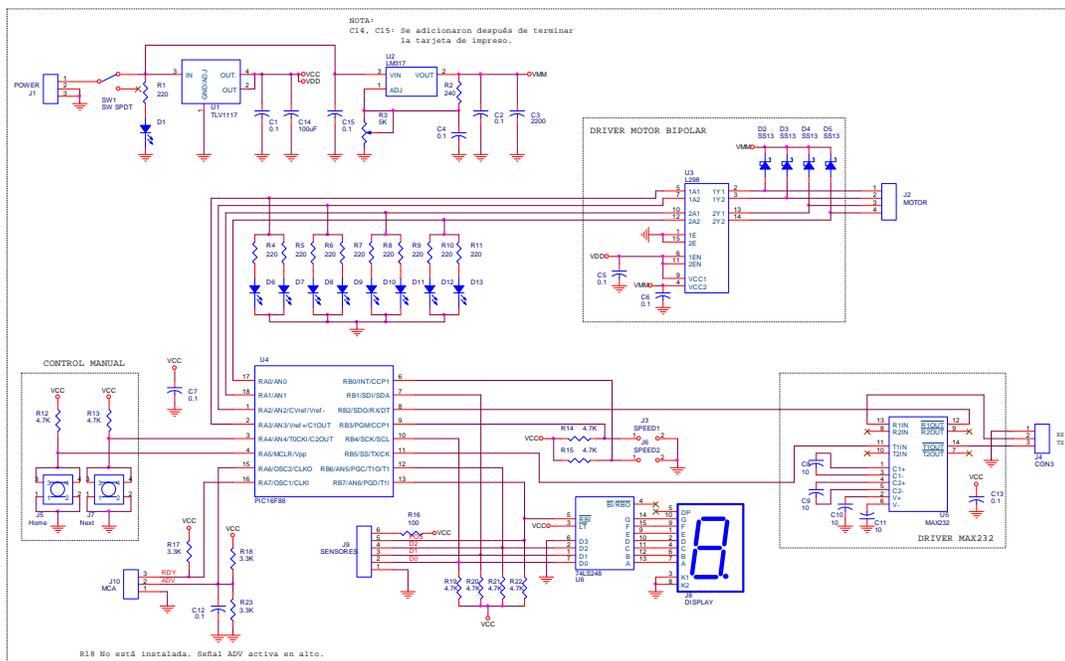


Figura 7. Diagrama esquemático del módulo de control electrónico y posicionamiento versión 5.2

5. Bibliografía

[1] Mendoza M, Baltuano O, Montoya E, Hernández Y. Intercambiador Automático de Muestras. En: Instituto Peruano de Energía Nuclear. Informe Científico Tecnológico 1998-2001. Lima: IPEN; 2002. p. 123-124.

[2] University Dunarea de Jos of Galati. Faculty of Electrical and Electronics Engineering [homepage de Internet]. Disponible en: <http://www.etc.ugal.ro/cchiculita/software/picbootloader.htm>

[3] Microchip Technology Inc. PIC16F87/88 Data Sheet; 18/20/28-pin enhanced flash microcontrollers with nano Watt technology. 2005.

Determinación de uranio empobrecido por espectrometría gamma para pruebas de hermeticidad en equipos de gammagrafía industrial

José Osores*

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

Resumen

Se ha realizado una revisión y evaluación del método por espectrometría gamma para la determinación de uranio empobrecido mediante análisis de sus productos de decaimiento (Th-234 y Pa-234). Este método permite determinaciones por encima de los 0,2 kilobecquerels establecidos en la norma ISO-9978 eficientemente.

Determination of depleted uranium by gamma spectrometry for leakage test in equipments of industrial gammagraphy

Abstract

A review and evaluation of the gamma-spectrometric method for the determination of depleted uranium by analyzing its decay products (Th-234 and Pa-234) was performed. This method allows measurements above 0,2 kilobecquerels established in ISO-9978 efficiently.

1. Introducción

La gammagrafía industrial es una técnica de Ensayos No Destructivos (END) que se utiliza para estudiar la integridad y calidad de soldaduras, material de tuberías, tanques, piezas metálicas diversas, etc. Su uso es intensivo durante la construcción de grandes piezas metálicas, como en el montaje de plantas industriales, en el tendido de oleoductos y durante el mantenimiento de estas instalaciones. También se utiliza para estudiar el estado de estructuras de hormigón armado en las construcciones. Se trata de equipos robustos que pueden instalarse prácticamente en cualquier sitio, el procesamiento de las placas radiográficas es muy sencillo y la técnica confiable; por lo que su uso está muy extendido desde hace años en todo el mundo.

Durante la práctica se coloca una fuente de radiación cerca del objeto que será estudiado y se obtiene una radiografía del mismo. La atenuación diferencial que producen los defectos de las soldaduras o del volumen de la pieza, produce imágenes de los mismos en las placas radiográficas. Actualmente, se utilizan casi exclusivamente fuentes radiactivas encapsuladas de Ir-192 y Co-60, aunque en algunos lugares se siguen utilizando fuentes de Cs-137 [1]. En el caso de la gammagrafía industrial, el alojamiento

blindado de las fuentes varía de acuerdo con el radioisótopo y al uso para el que fue construido. Puede ser portátil o estar montado sobre ruedas, también puede estar diseñado para que la fuente no salga del blindaje o para que se la extraiga del mismo manualmente o en forma remota.

Se llama **uranio empobrecido** a aquel que contiene una fracción de isótopo U-235 inferior a la natural (0,71%). Se trata de un residuo del enriquecimiento y del reprocesamiento del uranio, constituido esencialmente por U-238.

El metal de uranio empobrecido tiene una densidad extremadamente alta (19 g/cm^3), algo mayor que la del uranio natural y mucho mayor que la del plomo. Esta característica lo hace interesante para ciertas aplicaciones civiles y militares. Por su alta densidad el uranio empobrecido se utiliza en la fabricación de blindajes para las fuentes radiactivas utilizadas en medicina y en la industria [2,3]. Una fuente radiactiva sellada es todo material radiactivo permanentemente incorporado a un material, encerrado en una cápsula hermética con resistencia mecánica, suficiente para impedir el escape del radioisótopo o la dispersión de la sustancia radiactiva en las condiciones previsibles de

* Correspondencia autor: josores@ipen.gob.pe

uso y desgaste [4]. Estas fuentes radiactivas selladas, entre ellas el uranio empobrecido utilizado en los blindajes de gammagrafía industrial, suelen caracterizarse por su pequeño tamaño y su movilidad.

En este contexto, el Instituto Peruano de Energía Nuclear establece medidas para proteger la salud de los trabajadores y de la población contra los peligros de las radiaciones ionizantes, existiendo normas básicas al respecto con disposiciones aplicables a las fuentes radiactivas selladas de actividad elevada. En este sentido, se aplica la Norma ISO-9978 utilizada para garantizar la hermeticidad de la fuente radiactiva sellada durante un período de operación determinado; esta norma establece en su numeral 5.1.5, que no se considera fuga radiactiva si los valores de actividad no exceden de los 0,2 kiloBequerelios [5].

2. Metodología

Se utilizó un sistema de espectrometría gamma de alta resolución de germanio hiperpuro, con una eficiencia relativa del 15% asociado al programa de análisis Genie 2000 y como material de referencia una fuente radiactiva de 2.5 cm de diámetro marca Tracerlab código UX2-234B. La actividad de U-238, Th-234 y Pa-238 en equilibrio es de 1.07×10^{-5} microcuries (396 Bequerelios) al 1961-07-01. Esta fuente presenta una incertidumbre estándar del 15% ($k=1$). Se realizaron lecturas con tiempos de recuento de 1000 segundos y se evaluaron los fotopicos correspondientes al U-238, Th-234 y Pa-234 (Tabla 1).

Tabla 1. Nucleídos evaluados por espectrometría gamma [6].

| Nucleido | keV | Emisión gamma |
|----------|---------|---------------|
| U-238 | 49,55 | 0,06% |
| Th-234 | 63,29 | 3,70% |
| Th-234 | 92,38 | 2,13% |
| Th-234 | 92,80 | 2,10% |
| Pa-234 | 1001,03 | 0,84% |

Las variables consideradas en el estudio fueron el área neta, error de recuento, continuo o fondo, eficiencia instrumental y actividad mínima detectable para cada uno de los fotopicos. Se determinaron los valores

medios, desviación estándar, coeficiente de variabilidad y varianza. Para los valores de eficiencia instrumental y actividad mínima detectable se realizaron los análisis de varianza y prueba de comparación de medias de Student, con un nivel de significación del 95%.

3. Resultados y Discusión

En la Figura 1 se pueden identificar tres fotopicos, el de 63,29 keV, la suma de los dos fotopicos 92,38 + 92,80 keV que corresponden al Th-234 y el de 1001,03 keV correspondiente al Pa-234. En ninguno de los espectros evaluados se pudo identificar el fotopico del U-238 (49,55 keV).

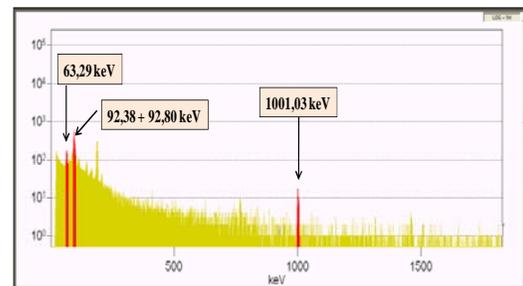


Figura 1. Espectro gamma mostrando los fotopicos del Th-234 y Pa-234.

Para un mejor análisis y considerando que la resolución del detector no permite discriminar los fotopicos de 92,38 y 92,80 keV, se tomó como supuesto un fotopico combinado de 92,59 keV con una emisión gamma de 4,23 %. En el espectro se observa que los dos primeros fotopicos se encuentran dentro del efecto Compton, por lo que su influencia podría afectar el resultado analítico.

La Tabla 2 muestra el área de cada uno de los fotopicos, destacando el de 92,59 keV con un mayor número de cuentas promedio y una menor variabilidad (4511,8 cuentas y 3,11 % de variabilidad).

La Tabla 3 presenta los valores del error de recuento de cada uno de los fotopicos, no se observa una diferencia marcada entre los errores promedio de 63,29 y 1001,03 keV (6,27 % y 9,79 %); sin embargo, el error promedio del fotopico de 92,59 keV es significativamente inferior a los demás (2,95 %).

Tabla 2. Área neta de los fotopicos de Th-234 y Pa-234.

| Replica | Energía (keV) | | |
|--------------|---------------|---------|---------|
| | 63,29 | 92,59 | 1001,03 |
| 1 | 964 | 4580 | 124 |
| 2 | 967 | 4535 | 141 |
| 3 | 929 | 4746 | 107 |
| 4 | 1001 | 4530 | 123 |
| 5 | 921 | 4451 | 120 |
| 6 | 849 | 4516 | 120 |
| 7 | 1072 | 4690 | 110 |
| 8 | 862 | 4432 | 134 |
| 9 | 840 | 4301 | 129 |
| 10 | 949 | 4337 | 139 |
| Promedio | 935,40 | 4511,80 | 124,70 |
| 1 d.s. | 72,39 | 140,32 | 11,31 |
| Variabilidad | 7,74% | 3,11% | 9,07% |

En el caso del continuo existe mucha variabilidad en el fotopico de 1001,03 keV (46,36 %) respecto a los otros dos niveles energético (4,56 % y 3,20 %); esto significa que el rango de amplitud de la actividad mínima detectable será mucho mayor.

Bajo estas circunstancias, los mejores resultados se obtienen al considerar el fotopico combinado de 92,59 keV dado que presenta una mayor emisión gamma y una menor variabilidad.

Tabla 3. Error de recuento de los fotopicos de Th-234 y Pa-234.

| Replica | Energía (keV) | | |
|--------------|---------------|-------|---------|
| | 63,29 | 92,59 | 1001,03 |
| 1 | 6,16% | 2,07% | 9,87% |
| 2 | 5,99% | 2,09% | 8,94% |
| 3 | 6,26% | 1,98% | 11,13% |
| 4 | 5,92% | 2,09% | 9,66% |
| 5 | 6,38% | 2,12% | 9,79% |
| 6 | 7,02% | 2,10% | 10,24% |
| 7 | 5,41% | 2,00% | 10,29% |
| 8 | 6,64% | 2,12% | 8,77% |
| 9 | 6,80% | 2,18% | 10,03% |
| 10 | 6,13% | 2,15% | 9,13% |
| Promedio | 6,27% | 2,09% | 9,79% |
| 1 d.s. | 0,47% | 0,06% | 0,71% |
| Variabilidad | 7,45% | 2,95% | 7,25% |

Tabla 4. Continuo de los fotopicos de Th-234 y Pa-234.

| Replica | Energía (keV) | | |
|--------------|---------------|---------|---------|
| | 63,29 | 92,59 | 1001,03 |
| 1 | 1549 | 2646 | 16 |
| 2 | 1444 | 2712 | 10 |
| 3 | 1480 | 2488 | 21 |
| 4 | 1520 | 2675 | 10 |
| 5 | 1528 | 2685 | 10 |
| 6 | 1633 | 2693 | 18 |
| 7 | 1386 | 2481 | 10 |
| 8 | 1457 | 2659 | 3 |
| 9 | 1459 | 2704 | 24 |
| 10 | 1470 | 2641 | 13 |
| Promedio | 1492,60 | 2638,40 | 13,50 |
| 1 d.s. | 68,06 | 84,39 | 6,26 |
| Variabilidad | 4,56% | 3,20% | 46,36% |

Las eficiencias porcentuales de los tres niveles energéticos fueron: 6,38 % \pm 0,49 % para 63,29 keV, 26,93 % \pm 0,84 % para 92,59 keV y 3,74 % \pm 0,34 % para 1001,03 keV (Tabla 5). Evidentemente la eficiencia deseable para determinaciones analíticas es aquella que presente un mayor valor y un menor error.

Tabla 5. Eficiencia instrumental de los fotopicos de Th-234 y Pa-234.

| Replica | Energía (keV) | | |
|--------------|---------------|----------|----------|
| | 63,29 | 92,59 | 1001,03 |
| 1 | 0,0658 | 0,2734 | 0,0372 |
| 2 | 0,0660 | 0,2707 | 0,0423 |
| 3 | 0,0634 | 0,2833 | 0,0321 |
| 4 | 0,0683 | 0,2704 | 0,0369 |
| 5 | 0,0629 | 0,2657 | 0,0360 |
| 6 | 0,0579 | 0,2696 | 0,0360 |
| 7 | 0,0732 | 0,2800 | 0,0330 |
| 8 | 0,0588 | 0,2646 | 0,0402 |
| 9 | 0,0573 | 0,2568 | 0,0387 |
| 10 | 0,0648 | 0,2589 | 0,0417 |
| Promedio | 0,0638 | 0,2693 | 0,0374 |
| 1 d.s. | 0,0049 | 0,0084 | 0,0034 |
| Variabilidad | 7,74% | 3,11% | 9,07% |
| Varianza | 0,000024 | 0,000070 | 0,000012 |

El análisis de varianza aplicado a la eficiencia instrumental mostró que al menos una de ellas es estadísticamente diferente (Tabla 6), dado que la eficiencia de 92,59 keV es

significativamente mayor, solo se realizó la prueba de Student, considerando varianzas diferentes a las eficiencias de los otros dos niveles energéticos en donde se demuestran que también son estadísticamente diferentes (Tabla 7).

Tabla 6. Análisis de varianza de la eficiencia instrumental.

| Origen de las varianzas | GL | Cuadrados Medios | F calculado | Valor crítico |
|-------------------------|----|------------------|-------------|---------------|
| Entre energías | 2 | 0,16122155 | 4558,77 | 3,35 |
| Dentro de energía | 27 | 3,5365E-05 | | |

Tabla 7. Prueba de Student de comparación de eficiencias de 63,29 y 1001,03 keV.

| | 63,29 keV | 1001,03 keV |
|-------------------------------------|-------------|-------------|
| Media | 0,063841114 | 0,03739893 |
| Varianza | 2,44116E-05 | 1,1514E-05 |
| Observaciones | 10 | 10 |
| Diferencia hipotética de las medias | 0 | |
| Grados de libertad | 16 | |
| Estadístico t | 13,95064059 | |
| P(T<=t) una cola | 1,12776E-10 | |
| Valor crítico de t (una cola) | 1,745883669 | |
| P(T<=t) dos colas | 2,25552E-10 | |
| Valor crítico de t (dos colas) | 2,119905285 | |

Dado que los dos fotopicos del Th-234 se encuentran muy cercanos entre sí y a la vez muy alejados del Pa-234, no es posible elaborar una curva de eficiencia polinomial por lo que se recomienda utilizar el método de interpolación para determinar las eficiencias con el Genie 2000.

En la Tabla 8 se puede observar que para ninguno de los ROIs o niveles energéticos estudiados, la actividad mínima detectable sobrepasa los 200 Becquerelios establecidos en la norma ISO-9978 por lo que el analista puede seleccionar cualquiera de los fotopicos en función de sus capacidades instrumentales y analíticas [7,8].

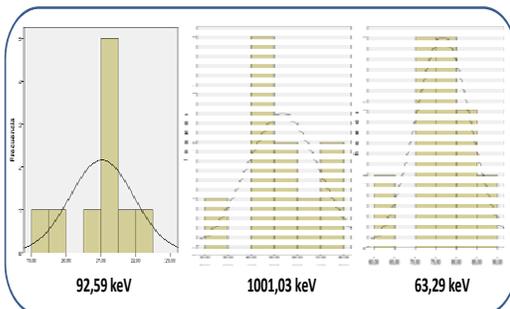


Figura 2. Distribución de la AMD en función de las energías del Th-234 y Pa-234.

Tabla 8. Actividad mínima detectable (Bq) de los fotopicos de Th-234 y Pa-234.

| Replica | Energía (keV) | | |
|--------------|---------------|-------|---------|
| | 63,29 | 92,59 | 1001,03 |
| 1 | 75,34 | 20,73 | 59,53 |
| 2 | 72,52 | 21,19 | 41,39 |
| 3 | 76,42 | 19,39 | 79,03 |
| 4 | 71,87 | 21,07 | 47,44 |
| 5 | 78,32 | 21,48 | 48,63 |
| 6 | 87,83 | 21,21 | 65,24 |
| 7 | 64,09 | 19,60 | 53,05 |
| 8 | 81,72 | 21,47 | 23,85 |
| 9 | 83,91 | 22,31 | 70,08 |
| 10 | 74,55 | 21,87 | 47,87 |
| Promedio | 76,66 | 21,03 | 53,61 |
| 1 d.s. | 6,75 | 0,92 | 15,70 |
| Variabilidad | 8,81% | 4,37% | 29,29% |
| Varianza | 45,58 | 0,85 | 246,55 |

El análisis de varianza así como la prueba de Student muestran que entre los tres ROIs la actividad mínima detectable (AMD) son significativamente diferentes.

Tabla 9. Análisis de varianza de la actividad mínima detectable (AMD).

| Origen de las varianzas | GL | Cuadrados Medios | F calculado | Valor crítico |
|-------------------------|----|------------------|-------------|---------------|
| Entre energías | 2 | 7811,39529 | 79,99 | 3,35 |
| Dentro de energía | 27 | 97,6587996 | | |

Tabla 10. Prueba de Student de comparación de AMD para 63,29 y 1001,03 keV.

| | 63,29 keV | 1001,03 keV |
|-------------------------------------|-------------|-------------|
| Media | 76,65752562 | 53,6114236 |
| Varianza | 45,57754698 | 246,552854 |
| Observaciones | 10 | 10 |
| Diferencia hipotética de las medias | 0 | |
| Grados de libertad | 12 | |
| Estadístico t | 4,263920538 | |
| P(T<=t) una cola | 0,000549928 | |
| Valor crítico de t (una cola) | 1,782287548 | |
| P(T<=t) dos colas | 0,001099856 | |
| Valor crítico de t (dos colas) | 2,178812827 | |

En la Figura 2 se presenta la distribución de las actividades mínimas detectables para cada uno de los niveles energéticos estudiados, destacando una baja AMD para 92,59 keV a pesar que dicha región se encuentra dentro de la zona Compton del espectro gamma. Por otro lado se puede verificar que no tienen una distribución gaussiana dado que los tiempos

de recuento son cortos, pero que sin embargo son suficientes para optimizar el tiempo de análisis de las muestras colectadas para las pruebas de hermeticidad.

4. Conclusiones

Dentro de los alcances de la norma ISO-9978, la espectrometría gamma de alta resolución constituye una herramienta útil, rápida y económica para identificar fugas de uranio empobrecido que no sobrepasen los 0,2 kilobequerelios utilizando para ello las emisiones gamma del Th-234 y Pa-234, radionucleídos que se encuentran en equilibrio secular con el U-238.

5. Agradecimientos

Al Instituto de Radioprotección y Dosimetría (IRD) de Brasil por su valioso aporte para la comprensión de los métodos analíticos por espectrometría gamma.

6. Bibliografía

- [1] Camilaesepu. Gammagrafía Industrial. [homepage de Internet]. Acceso 2013-03-14. Disponible en: <http://www.buenastareas.com/ensayos/Gammagraf%C3%ADa-Industrial/2077327.html>
- [2] Wikipedia. Uranio Empobrecido. [homepage de Internet]. Acceso 2013-03-14. Disponible en:

http://es.wikipedia.org/wiki/Uranio_empobrecido

- [3] Betti M. Civil use of depleted uranium. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2003; 64(2-3):113-119.
- [4] OSMAN. Fuente radiactiva sellada. Observatorio de salud y medio ambiente de Andalucía. Diccionario. [homepage de Internet]. Acceso 2013-03-14. Disponible en: <http://www.osman.es/ficha/12743>.
- [5] International Standard (1992). Radiation Protection – Sealed radioactive sources – leakage test methods. ISO 9978. First Edition. 1992-02-15. Page 8.
- [6] Browne E, Tuli JK. Nuclear Data Sheets for A = 234. *Nuclear Data Sheets*. 2007; 108(3):681-772.
- [7] Shoji M, Hamajima H, Takatsuka K, Honoki H, Nakajima T, Kondo T, Nakanishi T. A convenient method for discriminating between natural and depleted uranium by γ -ray spectrometry. *Applied Radiation and Isotopes*. 2001; 55(2):221-227.
- [8] Vukanac I, Novkovic D, Kandic A, Djurašević M, Milošević Z (2010) A simple method for determination of natural and depleted uranium in surface soil samples. *Applied Radiation and Isotopes*. 2010; 68: 1433-1434.

Espectrómetro de bajo costo y alta performance para radiación visibleⁱ

Eduardo Montoya^{1,2,*}, Óscar Baltuano^{1,3}, Aurelio Arbildo⁴

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

² Facultad de Ciencias y Facultad de Educación, Universidad Peruana Cayetano Heredia, Av. Honorio Delgado 430, Urb. Ingeniería, S.M.P. Lima, Perú

³ Facultad de Física, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Av. Venezuela S/N, Lima 1, Perú

⁴ Facultad de Ingeniería Industrial, Universidad de Lima, Av. Javier Prado Este cuadra 46 s/n, Monterrico, Lima 33, Perú

Resumen

Un problema en la enseñanza – aprendizaje del análisis químico instrumental es el alto costo de la instrumentación comercial, incluyendo aspectos de mantenimiento y servicio. Esto limita el acceso de los estudiantes a la operación directa de los diversos instrumentos, comprometiendo la calidad de su formación profesional. En este trabajo se describe detalladamente un espectrómetro de luz visible de 390 – 650 nanómetros, de fácil construcción, bajo costo, robusto y de altas prestaciones, adecuado para espectro-fotometría de absorción y fluorescencia moleculares y emisión atómica. El espectrómetro no tiene partes móviles y usa como detector una cámara Web conectada a una computadora personal, que permite la adquisición, presentación, procesamiento y registro de los espectros, a condiciones elegidas por el experimentador. El dispersor es la cara metálica interna de un pedazo de DVD virgen, expuesta para obtener una red de difracción de reflexión de primera superficie y la luz se transmite al dispersor mediante una fibra óptica acrílica. Los componentes del instrumento están montados rígidamente sobre una placa de aluminio ennegrecida. Se presentan ejemplos de espectros obtenidos y mediciones de absorbancia y se discuten las ventajas y limitaciones del instrumento.

Low cost and high performance homemade Spectrometer for visible radiation

Abstract

A problem of teaching and learning of instrumental chemical analysis is the high cost of commercial instrumentation, including aspects of maintenance and service. This limits the access of the students to the direct operation of the instruments, compromising the quality of their professional formation. In this work, a homemade spectrometer for visible light of 390 – 650 nanometers is described in detail. The instrument is of easy construction, low cost, robust and of high performance, being useful for spectrometry of molecular absorption, molecular fluorescence and atomic emission. The spectrometer has no mobile parts and uses as detector a web cam, connected to a PC, allowing the acquisition, presentation, processing and recording of the spectra, under controlled conditions chosen by the experimenter. The grating is a piece of the metallic layer of a virgin DVD, exposed in order to get a first surface reflective grating and the light is transmitted to the grating by means of a piece of an acrylic optical fiber. The components of the instrument are rigidly mounted on a darkened aluminum plate. Examples of obtained spectra and absorbance measurements are presented and the advantages and limitations of the instrument are discussed.

1. Introducción

Una dificultad importante en el proceso de enseñanza – aprendizaje del análisis químico instrumental es el alto costo de la instrumentación comercial disponible, que incluye aspectos de mantenimiento y

eventuales reparaciones. Esta dificultad limita el acceso de los estudiantes a la operación directa de los diversos instrumentos, lo que atenta contra la calidad de la formación profesional de dichos estudiantes.

* Correspondencia autor: emontoya@ipen.gob.pe

Una mejora importante, en la formación académica de los estudiantes, sería que pudiesen disponer de instrumentos de bajo costo y buena calidad, que les permitan un trabajo de laboratorio individual o en grupos de no más de dos personas. Pero sería aun mejor si los estudiantes pudiesen construir sus propios instrumentos y aplicarlos obteniendo resultados cuya precisión y veracidad, demuestren experimentalmente que son adecuados para el propósito del análisis químico instrumental cualitativo y cuantitativo. Esto proporcionaría a los estudiantes una valiosa oportunidad de aprendizaje significativo, que les facilitaría la comprensión de los fenómenos y tecnología involucrados en una técnica importante de análisis químico instrumental, como la espectrofotometría de absorción molecular.

En el caso de los métodos ópticos de análisis químico se pueden encontrar, en la literatura, diversas propuestas para la construcción de instrumentos de bajo costo, tales como por ejemplo espectrómetros [1-5], varios de los cuales usan un CD-ROM o un DVD como red de difracción. También se han descrito fotómetros no dispersivos para mediciones de absorción[6-10] y fluorescencia[11]. En el presente trabajo, se describe detalladamente la fabricación y evaluación de un espectrómetro para la radiación electromagnética en la región visible, de fácil construcción, bajo costo y altas prestaciones, adecuado para la implementación de prácticas de laboratorio de análisis químico instrumental cuantitativo y cualitativo, en los temas de espectro-fotometría de absorción molecular, espectrometría de fluorescencia molecular, espectrometría de emisión atómica y turbidimetría, aplicable a los laboratorios que disponen de bajo presupuesto.

2. Metodología

2.1 Construcción del Banco Óptico

El instrumento propuesto utiliza como entrada de luz, una fibra óptica acrílica de las que se usan en equipos de audio. El componente dispersor es un pedazo de un disco DVD virgen, al que se le ha retirado la cubierta plástica, para obtener una red de difracción de reflexión, de primera superficie, evitando así las interferencias debidas a reflexiones múltiples. Finalmente, el detector es una cámara Web *Logitech Quickcam Pro*

9000®, que trabaja conectada a una computadora personal portátil con sistema operativo *Linux*®, en distribución *Ubuntu 12.04 LTS*®.

El espectrómetro descrito es robusto y no tiene partes móviles. Los tres componentes del mismo están montados rígidamente sobre una placa de aluminio de 240 x 100 x 50 mm, que constituye el banco óptico y que se ha ennegrecido con pintura negra no reflectora. Para fijar cada componente se ha empleado pequeñas láminas de metal, también ennegrecidas. El montaje de los tres componentes se muestra en la Figura 1. Todo el conjunto va encerrado en una lata cuyo interior y exterior se han cubierto también con la misma pintura, como se muestra en la Figura 2.



Figura 1. Placa de aluminio conteniendo los tres componentes del espectrómetro.



Figura 2. Vista exterior del espectrómetro.

2.2 Construcción del Dispositivo Porta-Celda para Espectrometría de Absorción y Fluorescencia Moleculares, en Solución

El dispositivo porta-muestras se ha construido con masilla *MOLDIMIX*®, empleando como molde interno una cubeta descartable, envuelta en una delgada lámina de polietileno (que no se adhiere a la masilla). Como molde externo se empleó un envase de rollo fotográfico [8]. Luego del endurecimiento de la masilla, se retiró los moldes interior y exterior, y se perforó agujeros para la entrada y salida de luz. También se perforó un agujero en ángulo recto con los anteriores, para las medidas de fluorescencia y turbidez. Los detalles se muestran en la Figura 3.

2.3 Software

Todo el software empleado en el presente trabajo es de licencia libre. Para enfocar y configurar la Cámara web, se utilizó el software *QT v412* (<http://linuxtv.org/downloads/v4l-utils/>). Para la adquisición de datos, que consiste en la toma de un número dado de fotografías en forma automática, se utilizó el software denominado *Streamer* (Gerd Knorr <kraxel@bytesex.org>). El procesamiento de datos se realizó con una aplicación en forma de macro, utilizando el software *ImageJ* (<http://imagej.nih.gov/ij/>). Finalmente, para la calibración de los espectros en longitudes de onda, se empleó la hoja de cálculo de la suite *Open Office* (www.openoffice.org).



Figura 3. Ejemplos de dispositivos porta-celda.

2.4 Adquisición y procesamiento de datos

Como fuente de radiación se utilizó un diodo emisor de luz (LED) blanca, recubierto con papel celofán amarillo, para atenuar el intenso componente azul. El LED se alimentó con una fuente regulada de 5 voltios, con un potenciómetro en serie para controlar la corriente suministrada, entre 1 y 20 mA. La Figura 4 corresponde a una fotografía del espectro de la luz transmitida cuando el porta-muestras tiene una cubeta descartable conteniendo agua (blanco).

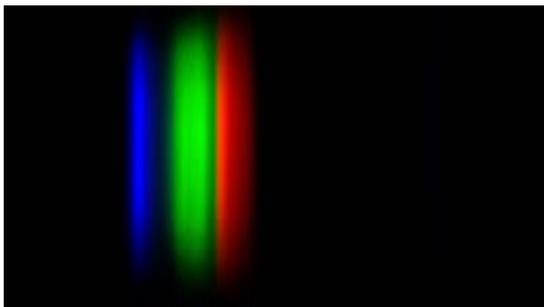


Figura 4. Espectro visible un LED de luz blanca, cubierto por celofán amarillo.

En la Figura 4, cada columna de píxeles contiene información cuantitativa de la intensidad de luz registrada [1-2,10], en función de la longitud de onda. Existe sin embargo algunos detalles que debemos considerar:

- Aunque esté impresa en escala de grises, se trata de una fotografía a color y está constituida por tres canales Rojo (R), verde (G) y Azul (B), que para un trabajo cuantitativo es conveniente considerarlas como tres fotografías independientes (ver Figura 5).

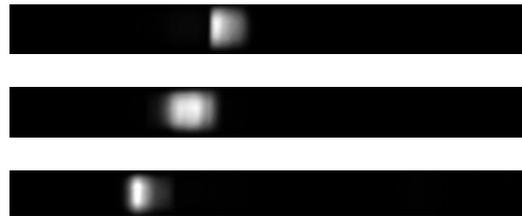


Figura 5. Canales R, G y B, correspondientes a la imagen de la Figura 4.

- En el estándar RGB, la relación entre la potencia de radiación P_i , recibida por un píxel dado y el valor numérico N_i registrado (para un canal dado) no es lineal, sino que obedece a la relación: $N_i = (P_i)^{0,45}$.
- En el estándar RGB de 24 bits, los valores permitidos para N_i corresponden al intervalo (0, 255), para cada canal.

Estas limitaciones de una cámara web, además de una relación señal / ruido algo desfavorable para trabajo fotométrico, nos llevaron a desarrollar el siguiente procedimiento para el procesamiento de imágenes:

- Adquirir un conjunto de 128 fotografías para el blanco.
- Separar cada fotografía en sus respectivos canales R, G y B.
- Convertir cada fotografía R, G y B a formato de 32 bits.
- Elevar todos los píxeles de cada fotografía a la potencia de $(1/0,45) = 2,2222$, como se indica en Suzuki *et al.* [10].
- Para cada canal, sumar las 128 fotografías (píxel a píxel) y obtener una imagen promedio.

6. Sumar las imágenes promedio, correspondientes a los canales R, G y B, para obtener una imagen total, en escala de grises, con profundidad de 32 bits.
7. Repetir los pasos 1 a 6, para la muestra y el fondo (cubeta conteniendo el blanco y fuente de luz apagada).
8. Obtener la imagen neta del espectro del blanco, restando la imagen promedio del fondo de la imagen promedio del blanco.
9. Obtener la imagen neta del espectro de la muestra, restando la imagen promedio del fondo de la imagen promedio de la muestra.
10. Poner el valor mínimo de cada imagen neta en 1, para evitar errores de procesamiento, causados por división entre cero y por logaritmo de cero.
11. Dividir, píxel a píxel, la imagen neta del espectro del blanco entre la imagen neta del espectro de la muestra. El resultado es la imagen neta de absorción.
12. Tomar el logaritmo, base 10, de la imagen neta de absorción. El resultado es la imagen neta de absorbancia.

En el caso de espectrometrías de emisión, se siguen los pasos 1 al 9, omitiendo el paso 8 si es que no se emplea un blanco. Para obtener una curva de calibración fotométrica se sigue los mismos procedimientos, pero empleando soluciones patrón en lugar de muestras.

La calibración del espectrómetro en longitudes de onda se realizó empleando como patrón el espectro discontinuo de emisión, de una lámpara fluorescente compacta.

2.5 Reactivos

Para la obtención de espectros de absorción se usó soluciones diluidas de permanganato de potasio a diferentes concentraciones, que se obtuvieron mediante diluciones a partir de una solución madre, de concentración arbitraria.

Para los experimentos de fluorescencia molecular se obtuvo una solución fluorescente, de concentración arbitraria, sumergiendo en agua destilada la punta de un plumón marcador amarillo [11]. Finalmente, para la obtención del espectro de emisión atómica del sodio, se introdujo una pequeña

gota de solución diluida de cloruro de sodio, en la llama de un mechero de alcohol, empleando un alambre de nicromo.

3. Resultados y Discusión

La Figura 6 es una fotografía del espectro de la luz transmitida cuando el porta-muestras, tiene una cubeta descartable conteniendo una solución diluida de KMnO_4 . Las fotografías mostradas en las figuras 4 y 6 son imágenes promedio, obtenidas siguiendo los pasos 1 – 7 del procedimiento indicado en la parte experimental, a las mismas condiciones de la cámara web. Por comparación con la Figura 4, en la Figura 6 se aprecia claramente la absorción selectiva de una porción del espectro visible, por parte del ion MnO_4^{-1} .



Figura 6. Absorción selectiva de la luz visible por el ion MnO_4^{-1} .

La Figura 7 presenta el espectro de absorción, en unidades de absorbancia, correspondiente a los espectros de las figuras 4 y 6. La gráfica del espectro se obtiene seleccionando una línea horizontal, que pasa por el centro de la imagen neta de absorbancia, obtenida en el paso 12 del procedimiento mencionado y registrando los valores de gris almacenados en cada píxel, en función del número de píxel (perfilado). En la práctica, es mejor seleccionar una banda de unos 25 píxeles de altura y registrar el valor promedio de cada columna de píxeles, en función del número de columna. El paso final es importar estos datos desde una hoja de cálculo y construir la gráfica correspondiente. Se puede graficar los valores de absorbancia en función de la longitud de onda, si se ha efectuado la calibración necesaria. En la Figura 7 es importante notar que solamente una porción del gráfico, que va aproximadamente entre las columnas de píxeles 340 y 750, contiene información espectral válida. El resto corresponde a las partes oscuras de la imagen y es principalmente un artefacto producido por el ruido electrónico en los sensores de luz, de tipo CMOS, que componen el detector de imagen de la cámara web. En la porción válida de la Figura 7, es evidente que se el espectro obtenido es de buena calidad y los detalles observados corresponden a una resolución del orden de 2 nanómetros.

La Figura 8 presenta el espectro de emisión de una lámpara fluorescente compacta, con el cual se ha realizado la calibración en longitudes de onda.

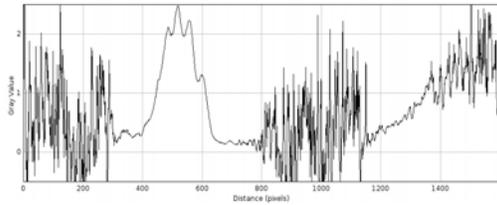


Figura 7. Espectro de absorción obtenido para una solución diluida de $KMnO_4$.

La Figura 9 muestra una gráfica del espectro y la Figura 10 muestra la curva de calibración en longitud de onda, mientras que la Tabla 1 presenta una comparación entre las longitudes de onda asignadas a los picos numerados en la Figura 9 y las obtenidas mediante una ecuación de regresión lineal. Se observa que la máxima desviación entre los valores nominales y los obtenidos mediante la ecuación de ajuste es de unos 2,7 nanómetros. Esta desviación máxima se reduce a 0,5 nanómetros si se emplea un ajuste de regresión cuadrática, no mostrado aquí.



Figura 8. Espectro de emisión de una lámpara fluorescente compacta.

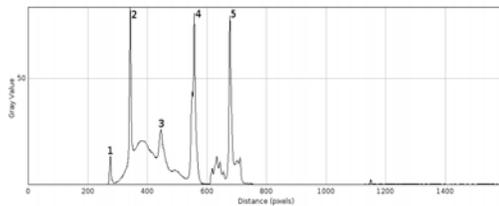


Figura 9. Asignación de longitudes de onda a los picos espectrales de la Figura 8.

Tabla 1. Calibración del espectrómetro en longitud de onda.

| Pico | Píxel | λ nominal (nm) | λ calculada (nm) | Diferencia |
|------|-------|------------------------|--------------------------|------------|
| 1 | 276 | 404,7 | 402,1 | 2,6 |
| 2 | 343 | 435,8 | 436,7 | - 0,9 |
| 3 | 447 | 487,7 | 490,4 | - 2,7 |
| 4 | 558 | 546,1 | 547,1 | - 1,0 |
| 5 | 678 | 611,6 | 609,6 | 2,0 |

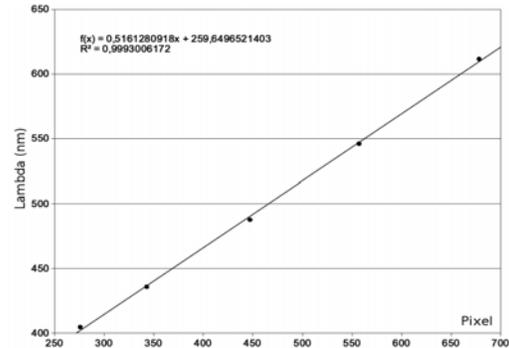


Figura 10. Recta de calibración del espectrómetro en longitud de onda.

La Figura 11 presenta una curva de absorbancia versus concentración a 525 nanómetros, para soluciones de $KMnO_4$. Puede observarse que la curva cumple con la ley Beer – Lambert, lo que muestra que el espectrómetro propuesto es adecuado para el propósito del análisis fotométrico cuantitativo, hasta valores de absorbancia de por lo menos 2,1. Esto significa que la radiación parásita del espectrómetro es notablemente baja. Llama la atención la dispersión relativamente alta de los datos, alrededor de la recta de regresión. Habiendo comprobado los autores que la fuente de luz y la cámara web son extraordinariamente estables, la causa más probable es la imperfección del porta-celda, que permite una apreciable incertidumbre en el posicionamiento de la cubeta. Actualmente se trabaja en la corrección de este problema.

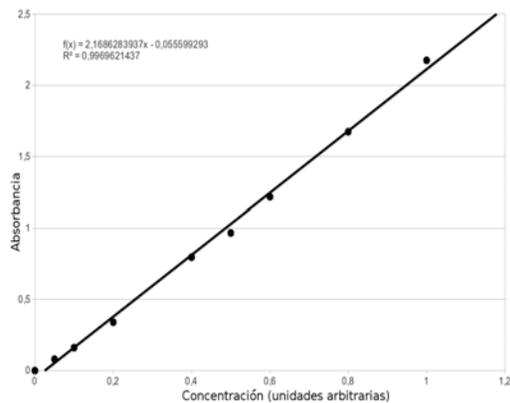


Figura 11. Curva de absorbancia versus concentración para soluciones de $KMnO_4$.

La Figura 12 muestra el espectro de fluorescencia verde del pigmento fluorescente extraído con agua, de un plumón

marcador amarillo. La excitación se realizó en un ángulo de 90 grados con respecto al detector, con un LED violeta centrado en 390 nanómetros. Puede observarse que el espectro de fluorescencia es de buena calidad y no se detecta la señal de excitación. Cabe mencionar que iluminando la muestra en un ángulo de 90 grados, también se ha logrado hacer mediciones cuantitativas de turbidez, que no se muestran aquí.

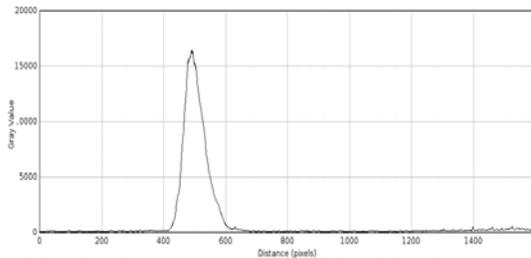


Figura 12. Espectro de fluorescencia del pigmento de un plumón marcador amarillo.

Las figuras 13 y 14 muestran, respectivamente, una imagen del espectro de emisión del sodio y su correspondiente gráfica de intensidad en función de la columna de píxeles (eje de abscisas). Puesto que el máximo de intensidad cae en el valor de abscisa de 638, empleando la ecuación que aparece en la figura 10, se calcula que la longitud de onda del pico de emisión es de 589 nanómetros. Puede observarse también que no se llega a resolver el doblete que constituye la línea D del sodio, debido a la limitada resolución de la cámara web empleada, en comparación con la empleada por Wakabayashi *et al.* [2] y a que no se usó rendija de entrada. El ancho de media altura, del pico mostrado en la Figura 14 es de 04 canales, que multiplicados por la pendiente de la ecuación mostrada en la Figura 10, da como resultado una resolución de 2,06 nanómetros.



Figura 13. Imagen del espectro de emisión del sodio en la región visible.

Además de su costo notablemente bajo, otra ventaja importante es que el espectrómetro versátil descrito en este trabajo puede ser construido por los estudiantes. Aunque para esta tarea no se requieren conocimientos de electrónica, sí es necesario tener alguna

práctica en la programación de computadoras. Por otra parte, el que los estudiantes tengan que programar todos los algoritmos necesarios para procesar los datos, partiendo de la información contenida en las fotografías y llegando a mediciones fotométricas válidas, es una magnífica oportunidad para que los estudiantes comprendan el proceso de la medición y no se tornen meros “apretadores de botones”.

El uso de una cámara fotográfica como detector es otra característica de alta tecnología, ya que permite la captura simultánea de todas las longitudes de onda del espectro, entre 390 nm y 650 nm, que corresponde al intervalo de longitudes de onda al que responde la cámara usada. Finalmente, el uso de una computadora para operar el instrumento, permite la adquisición, presentación, procesamiento y registro de los espectros de absorción y emisión, a condiciones controladas por el experimentador.

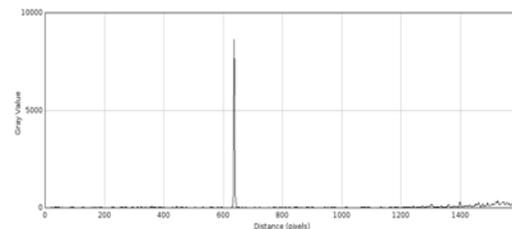


Figura 14. Perfil de intensidad correspondiente a la imagen de la figura 13.

En efecto, una de las funciones de la computadora es elegir los valores apropiados de los parámetros de operación de la cámara, tales como foco, tiempo de exposición, brillo, contraste, saturación, ganancia, etc. Es importante enfatizar que una vez que se ha elegido un juego de valores de los parámetros, apropiado para un experimento dado, se deben mantener constantes durante todo el trabajo, especialmente si se busca obtener resultados cuantitativos. Por este motivo, no se debe emplear nunca cámaras automáticas, ya que éstas cambian permanentemente los valores de sus parámetros de operación, en función de la luz que reciben, para tratar de obtener siempre las mejores imágenes posibles.

La versatilidad del instrumento, que puede ser usado para experimentos de diversas técnicas ópticas de análisis químico, se debe en gran medida al uso de una fibra óptica

como medio de entrada de luz, ya que esto le permite adaptarse fácilmente a diferentes requerimientos experimentales. Finalmente, la Tabla 2 muestra una lista de partes selectas y sus costos respectivos, que dan un total de 350,00 soles.

Tabla 2. Lista de partes y costos de las mismas.

| Parte | Costo en soles |
|---|----------------|
| Cámara web <i>Logitech Quick Cam Pro 9000</i> | 264,00 |
| Cable de fibra óptica | 24,00 |
| Placa de aluminio | 20,00 |
| Pintura negra mate <i>ABRO SPRAY PAINT</i> | 10,00 |
| Otros (DVD, lata contenedora, <i>MOLDIMIX</i> , etc.) | 32,00 |

4. Conclusiones

El espectrómetro construido es confiable, robusto y adecuado para trabajo fotométrico cuantitativo y cualitativo en la región visible, hasta 650 nm. Su construcción es tan simple que puede ser realizada por los estudiantes, individualmente o en grupos pequeños y no se requieren conocimientos de electrónica. El costo es notablemente bajo, y la parte más cara es la cámara Web.

5. Bibliografía

[1] Wakabayashi F, Hamada K. A DVD spectroscope: A simple, high-resolution classroom spectroscope. *Journal of Chemical Education*. 2006; 83(1):56-58.

[2] Wakabayashi F. Resolving spectral lines with a periscope-type DVD spectroscope. *Journal of Chemical Education*. 2008; 85(6): 849-853.

[3] Lema MA, Aljinovic M, Lozano ME. Using a homemade spectrophotometer in teaching biosciences. *Biochemistry and Molecular Biology Education*. 2002; 30(2): 106-110.

[4] Knagge K, Raftery D. Construction and evaluation of a LEGO spectrophotometer for student use. *Chem. Educator*. 2002; 7:371-375.

[5] Heredia Avalos S. Cómo Construir un espectroscopio casero con un CD. *Rev. Eureka Enseñ. Divul. Cien*. 2009; 6(3):491-495.

[6] Sorouraddin MH, Saadati M. Simple, cheap and portable colorimeter for introductory analytical chemistry laboratories. *Chemistry*. 2009; 18(6):176-182.

[7] Sorouraddin MH, Saadati M, Samadi A. A simple and cheap device for colorimetric determination of serum iron. *Journal of the Chinese Chemical Society*. 2010; 57: 56-61.

[8] Gordon J, James A, Harman S, Weiss K. A film canister colorimeter. *Journal of Chemical Education*. 2002; 9(8):1005-1006.

[9] Mozo JD, Galán M, Roldan E. Application of light emitting diodes to chemical analysis: Determination of copper in water. *Journal of Chemical Education*. 2001; 78(3):355-357.

[10] Suzuki Y, Endo M, Jin J, Iwase K, Iwatsuki M. Tristimulus colorimetry using a digital still camera and its application to determination of iron and residual chlorine in water samples. *Analytical Sciences*. 2006; 22: 411-414.

[11] Farooq Wahab M. Fluorescence spectroscopy in a shoebox. *Journal of Chemical Education*. 2007; 84(8):1308-1312.

ⁱ Publicado en Revista de la Sociedad Química del Perú. 2013; 79(1):80-91.

Preparación y caracterización de compuestos de Capirona-Polipropileno y Capirona-Polietileno de alta densidad

Javier Gago^{1,*}, Víctor Ramos¹, Kety León¹, José Solís², Moisés Acevedo³, Alcides López^{1,2}

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

² Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de Ciencias, Av Tupac Amaru 210

³ Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional Agraria La Molina

Resumen

Se presentan los resultados de la caracterización de compuestos madera-polímero, obtenidos a partir de residuos particulados de Capirona de 710 μm con polipropileno y polietileno de alta densidad. Estos han sido mezclados con anhídrido maléico y extruidos a una temperatura entre 150 y 180 °C, obteniéndose pellets pequeños de forma cilíndrica. Posteriormente, los pellets han sido prensados en forma de probetas y tratados térmicamente a 170 °C. Algunas probetas han sido gamma-irradiadas con fuente de cobalto-60. Las muestras fueron sometidas a pruebas de ensayos mecánicos y de biodegradación con el hongo *Polyporus sanguineus* y *Schizophyllum commune*. Se han observado cambios en las propiedades mecánicas, especialmente cuando se tiene como insumo el polipropileno, mejorando la flexión del compuesto, con el polietileno también se ha notado una mejora en la resistencia a la degradación y disminución de la absorción de agua.

Palabras claves: Compuesto Polímero-madera, *Polyporus sanguineus*, *Schizophyllum commune*

Abstract

In this work we show the characterization results of the wood-polymer composite, obtained by Capirona particulate at 710 microns with high density polyethylene and polypropylene. These have been mixed with maleic anhydride and extruded at a temperature between 150 and 180 °C, yielding small cylindrical pellets. Subsequently, the pellets were pressed into test pieces and heat treated at 170 °C. Some of those pieces have been gamma-irradiated with a cobalt-60 source. The samples were subjected to mechanical tests and biodegradation tests with the *Polyporus sanguineus* and *Schizophyllum commune* fungus, changes were observed in mechanical properties, especially when it has as input polypropylene, improving bending the compound, also polyethylene have noticed an improvement in resistance to degradation and reduced water absorption.

Keywords: Polymer-Wood Composite, *Polyporus sanguineus*, *Schizophyllum commune*

1. Introducción

La sostenibilidad del mundo actual requiere cada vez más del uso y reúso eficiente de los materiales. El buen aprovechamiento de los desechos y residuos producidos en diversos centros industriales disminuirá no solo los costos de producción, sino también la contaminación del medio ambiente [1]. En este marco, el objetivo del presente trabajo es desarrollar materiales compuestos, elaborados utilizando residuos de maderas nativas y polímeros de alta densidad, dándose énfasis al análisis de las propiedades y características del producto.

La industria maderera produce grandes cantidades de residuos por procesamiento de

los mismos (retazos, aserrín y otros), paralelamente la utilización masiva del plástico también produce un grave problema ambiental debido a los desechos no procesados, como se sabe estos polímeros son difícilmente asimilables a los ciclos biológicos de la naturaleza y tardan aproximadamente unos 180 años en degradarse. En este sentido, el uso de los residuos del procesamiento de la madera y los plásticos reciclados en los procesos industriales para fabricar nuevos materiales, contribuirá a la atenuación y un mejor manejo de la contaminación ambiental,

* Correspondencia autor: jgago@ipen.gob.pe

disminuyendo además la depredación irresponsable de nuestros bosques.

2. Procedimiento experimental

El material compuesto se obtiene por métodos físicos-químicos entre las fibras de la madera y los polímeros de alta densidad, para tal proceso se diseñó una extrusora donde se mezclan ambos materiales y se someten a un tratamiento térmico a diferentes temperaturas. La extrusora construida para el desarrollo de la presente investigación se puede apreciar en la Figura 1.



Figura 1. Extrusora construida para la obtención del compuesto polímero-madera.

El procedimiento consiste inicialmente en la limpieza de ambos insumos, seguido de procesos mecánicos de trituración, molienda y tamizado a 710 μm . A estos materiales procesados se les adicionaron un 5 % en peso de anhídrido maléico con el fin de incrementar la cohesión molecular para luego ser introducidos en la extrusora.

La extrusión se logra aplicando un torque al tornillo sin fin de la extrusora, con la finalidad de mezclar los agregados y someterlos luego a inyección bajo presión, a una temperatura de 160 $^{\circ}\text{C}$, empleando los parámetros establecidos en las normas técnicas [2], obteniéndose como resultado varillas extruidas de sección circular de 4 mm de diámetro, las que se cortan en forma de pellets de 6 mm de longitud. Estos pellets son introducidos en una matriz y se someten a presión en una prensa termo-hidráulica, obteniendo así las probetas finales.

Las probetas han sido irradiadas con rayos gamma en un irradiador Gammacell con fuente de cobalto-60, a diferentes dosis entre 10 y 100 kGy, con la finalidad de producir un reticulado de la matriz polimérica y las

cadena lignocelulósicas, mejorando de este modo el entrecruzamiento molecular y mejorando las propiedades físicas del producto.

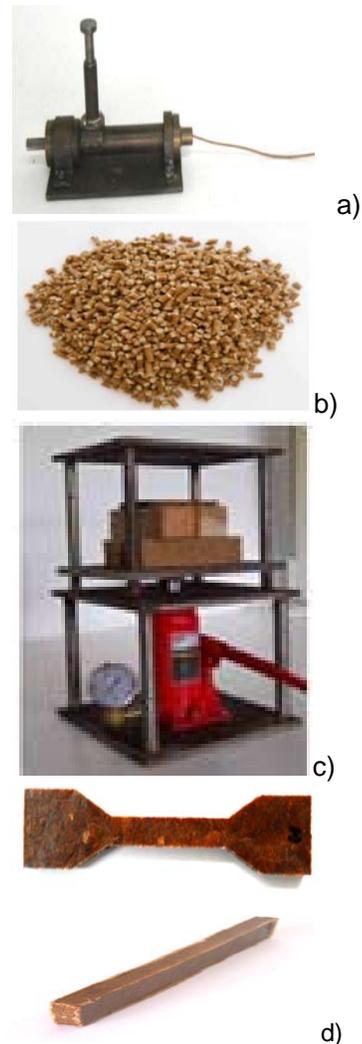


Figura 2. Secuencia grafica de la obtención de probetas.

En la Figura 2 se presenta gráficamente el proceso de preparación de las muestras: a) se aprecia la extrusora en pleno proceso de extrusión de varillas de sección circular [3], b) muestra los pellets del compuesto polímero madera que son colocados en la extrusora para su calentamiento e inyección, c) muestra la prensa termo-hidráulica y en d) se observan las muestras finales preparadas en forma de probetas para ensayos de tracción y flexión.

Para los ensayos de flexión y tracción se utilizó el equipo Universal Olsen Tinuis de la Facultad de Ciencias Forestales de la

Universidad Nacional Agraria La Molina, las probetas ensayadas se muestran en la Figura 3.



Figura 3. Vista de las probetas después de los ensayos de tracción y flexión.

En la Tabla 1 se aprecian los parámetros y especificaciones con que han sido preparadas las muestras [4].

Tabla 1. Parámetros empleados para la preparación de las muestras.

| Muestras | Porcentaje de matriz y carga | | |
|-----------|------------------------------|-------|---------|
| | Polímero | Fibra | Aditivo |
| PE1 y PP1 | 55% | 40% | 5% |
| PE2 y PP2 | 58% | 37% | 5% |
| PE3 y PP3 | 62% | 33% | 5% |
| PE4 y PP4 | 65% | 30% | 5% |

Datos geométricos de las muestras:

Para flexión: longitud 0.096m; ancho 0.0127 m; altura 0.0064 m.

Para tracción: longitud 0.115 m; sección de prueba 0.0064x0.0064 m².

Los cálculos del MOE y MOR han sido obtenidas partir de las ecuaciones (1) y (2) [5], las cuales se muestran a continuación.

$$MOE = \frac{l_1^3 * (F_2 - F_1)}{4 * b * e^3 * (a_2 - a_1)} \quad (1)$$

Donde:

MOE = módulo de elasticidad (MPa)

a₁ y a₂ = deflexión en la mitad del vano (m)

l₁ = distancia entre los soportes (0.06m)

b = ancho de la probeta (0.0127m)

e = espesor de la probeta (0.064 m)

F₁– F₂ = incremento de fuerza (N)

$$MOR = \frac{3 * F_{MAX} * l_1}{2 * b * t^2} \quad (2)$$

Donde:

MOR = módulo de ruptura (MPa)

l₁ = distancia entre los soportes (0.06m)

b = ancho de la probeta (0.0127m)

t = espesor de la probeta (0.064m)

F_{MAX} = fuerza de ruptura (N)

Los resultados de los ensayos se expresan en la Tabla 2.

3. Resultados y Discusión

De los ensayos mecánicos se ha obtenido los siguientes resultados:

3.1. Compuesto madera -polietileno

El módulo de elasticidad (MOE) y el módulo de rotura (MOR) de los compuestos de madera polietileno han sido calculados tomando en cuenta la variación de la deformación de acuerdo a la carga aplicada, tal como se muestra en la Figura 4 y las ecuaciones (1) y (2) [5], que nos dieron valores para el MOE entre 533.8 y 663.41 MPa y el MOS entre 10.0 y 12.9 MPa. Los valores MOE y MOS para todas las muestras se aprecian en las Tablas 2 y 3.

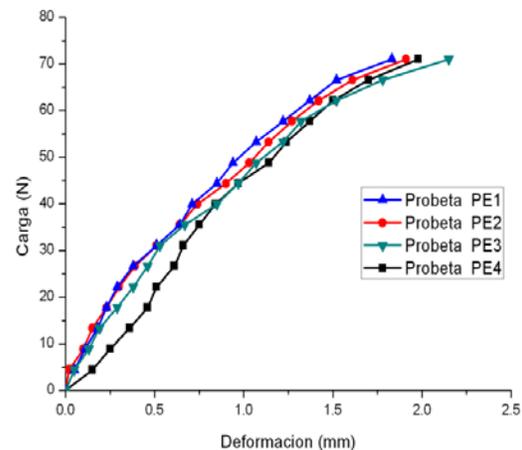


Figura 4. Ensayos de Flexión CMP-PE.

Tabla 2. Módulo de elasticidad para compuestos Madera-PE.

| Parámetro | Probeta 1 | Probeta 2 | Probeta 3 | Probeta 4 |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | PE MPa | PE MPa | PE MPa | PE MPa |
| MOE | 663.4 | 636.1 | 533.8 | 627.5 |
| MOR | 11 | 12.48 | 12.9 | 10 |

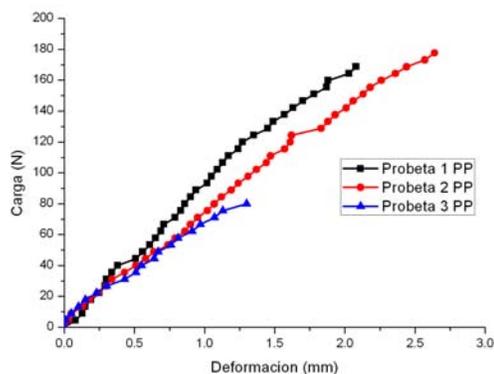
Tabla 3. Ensayos de tracción para compuestos Madera-PE.

| Probeta | Carga de rotura | | Esfuerzo |
|---------|-----------------|-------|----------|
| | (lb) | (N) | (MPa) |
| Prueba | 51.1 | 226.9 | 5.6 |
| A1 | 31 | 137.6 | 3.4 |
| B1 | 67 | 297.4 | 7.4 |
| C1 | 69.5 | 308.5 | 7.6 |

El esfuerzo de rotura, en la tracción del compuesto de polietileno, se encuentra entre 3.41 y 7.65 MPa.

3.2. Compuesto madera- polipropileno

Por otra parte, el MOE y el MOR del compuesto de madera-polipropileno han sido calculados a partir de las ecuaciones 1 y 2 y de los datos mostrados en la Figura 5, obteniéndose resultados superiores a 1024.4 y 15.6 MPa, respectivamente. Los valores MOE y MOS para todas las muestras se muestran en las tablas 4 y 5.

**Figura 5.** Ensayos de Flexión CMP-PE.**Tabla 4.** Módulo de elasticidad para compuestos Madera-PP.

| Parámetro | PP1 | PP2 | PP3 |
|-----------|--------|--------|--------|
| MOE(MPa) | 1398,2 | 1057,9 | 1024,4 |
| MOR(MPa) | 32,1 | 36,3 | 15,6 |

Tabla 5. Ensayos de tracción para compuestos Madera-PP.

| Muestra | Carga de rotura | | Esfuerzo |
|---------|-----------------|-------|----------|
| | (lb) | (N) | (MPa) |
| PP1 | 152,5 | 677,0 | 16,8 |
| PP2 | 156,5 | 694,8 | 17,2 |
| PP3 | 109,5 | 486,1 | 12,1 |
| PP4 | 121,5 | 539,4 | 13,4 |

Como se puede observar, al compararse la resistencia a la flexión y a la tracción entre compuestos a base de polipropileno y a base de polietileno, los de propileno resultan ser 141 % más resistentes a la flexión y 136 % más resistentes a la tracción, comportamiento muy similar al reportado por Raouf [6].

En la Tabla 6 podemos apreciar que la dureza de un compuesto con polipropileno, irradiado a 40 kGy es 11.54 HV, mientras que la de una madera sin irradiar es 11.21 HV, mostrando un incremento de la dureza en un 3 % más que este último.

Tabla 6. Mediciones de dureza para compuestos Madera PE y PP.

| Ítem | Muestra | HV |
|------|---------------------|-------|
| 1 | Compuesto PE SI | 4,35 |
| 2 | Compuesto PE D1 | 4,16 |
| 3 | Compuesto PP 10 kGy | 11,47 |
| 4 | Compuesto PP 40 kGy | 11,54 |
| 5 | Madera Capirona | 11,21 |

3.3 Ensayos de biodegradación.

Con la finalidad de estudiar el comportamiento de los compuestos madera-polímero ante la humedad y la pudrición, se han hecho pruebas de biodegradación con cultivos de hongos estándares (*Polyporus sanguineus* y *Schizophyllum commune*) que nos han permitido evaluar su resistencia a estos microorganismos.

En las pruebas de biodegradación se ha usado la metodología IRAM N° 9518, aplicada en trabajos anteriores [7,8] para muestras irradiadas y sin irradiar.

3.3.1 Ensayos CMP-Polietileno PE

La prueba de biodegradación se ha llevado a cabo en el laboratorio de microbiología del IPEN y se han usado hongos *Polyporus Sanguineus*, el proceso ha tenido una duración de 12 semanas.

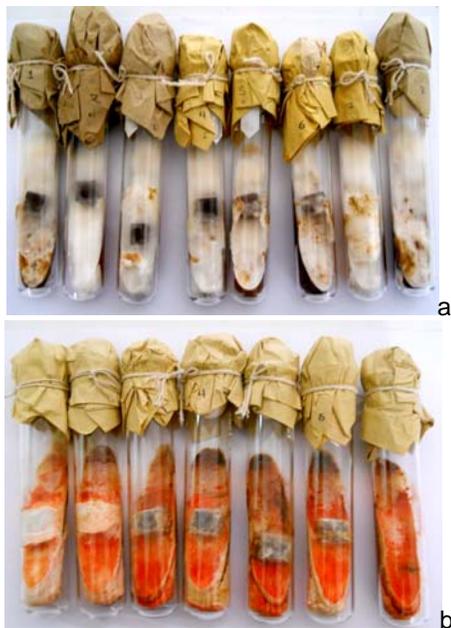


Figura 6. Tiempo de crecimiento del hongo sobre las muestras a) a 2 semanas y b) al final del proceso (12 semanas).

Tabla 7. Variación del peso del compuesto madera-PE en ensayos de biodegradación.

| Muestra | Descripción | Peso (g) | | % Peso Perdido |
|---------|---------------|----------|-------|----------------|
| | | inicial | Final | |
| 1 | Madera | 1,59 | 0,81 | 49,06 |
| 2 | Madera | 1,57 | 0,84 | 46,50 |
| 3 | CMP irradiado | 1,52 | 1,47 | 3,29 |
| 4 | CMP irradiado | 1,42 | 1,36 | 4,23 |
| 5 | CMP | 1,23 | 1,17 | 4,88 |
| 6 | CMP | 1,18 | 1,12 | 5,08 |



Figura 7. Imagen de la Capirona por microscopio óptico a 50X.



Figura 8. Imágenes de CMP(PE) por microscopio óptico a 50X.

3.4.2 Ensayos CMP (con polipropileno)

Para esta prueba de biodegradación se han empleado hongos *schizophyllum commune*, el proceso ha tenido una duración de 16 semanas.

Tabla 8. Variación del peso del compuesto madera-PE en ensayos de biodegradación.

| Muestra | Descripción | Peso (g) | | % Peso Perdido |
|---------|---------------|----------|-------|----------------|
| | | inicial | Final | |
| 1 | CMP irradiado | 1,038 | 1,031 | 0,69 |
| 2 | CMP irradiado | 1,152 | 1,148 | 0,44 |
| 3 | CMP | 0,870 | 0,865 | 0,53 |
| 4 | CMP | 1,279 | 1,278 | 0,16 |
| 5 | Madera1 | 0,97 | 0,972 | 0,62 |
| 6 | Madera1 | 0,988 | 0,986 | 0,19 |

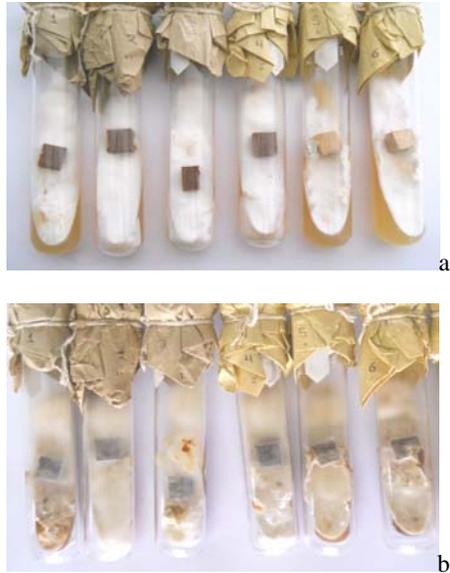


Figura 9. Efecto del hongo sobre los compuestos CMP a) al inicio y b) al final (16 semanas).

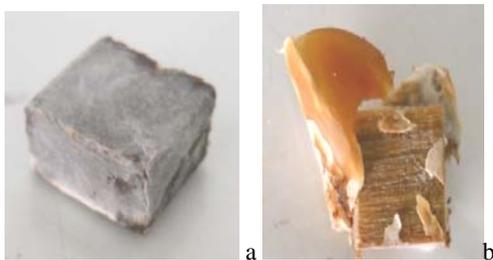


Figura 10. Efecto del hongo sobre los compuestos CMP a) Cubierto de hifas y b) Hongos en la parte inferior.

En la parte inferior de la madera, que estuvo en contacto directo con el caldo se nota un gran desprendimiento de las capas externas por acción del agar; sin embargo, el ataque del hongo en esta zona (cara lateral de la madera) no presenta dificultad de desprendimiento.

Para muestras irradiadas y sin irradiar se ha determinado que la biodegradación no afecta al compuesto madera-polímero, mientras que en la madera sola, si se produce una pérdida de peso apreciable.

4. Conclusiones

Al compararse la resistencia a la flexión y tracción entre los compuestos a base de polipropileno y a base de polietileno, los compuestos de propileno resultan ser un 141 % más resistentes a la flexión y un 136 % más resistentes a la tracción que los

compuestos basados en polietileno. Estos resultados son similares a los obtenidos en otros reportes.

La dureza de un compuesto con polipropileno irradiado a 40 kGy es 11.54 HV, mientras que el de una madera sin irradiar es 11.21 HV, mostrando que la irradiación produce un incremento de la dureza en un 3 %.

Con relación a los ensayos de biodegradación, se observa una mejora con respecto a la Capirona en un 22 % contra un 0,5 % de pérdida de peso en los compuestos madera-polímero.

5. Agradecimientos

Al técnico Yuri Hernández de la Dirección de Investigación y Desarrollo del IPEN. Al Lic. Johnny Vargas y a la Lic. Mónica Vivanco por los servicios de irradiación gamma de las muestras.

6. Bibliografía

- [1]. Ochoa Mendoza, Almudena. Reciclado mecánico de materiales compuestos con fibras de celulosa. [Tesis Ph.D.]. Madrid, España: Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. Universidad Politécnica de Madrid; 2005.
- [2]. American Society for Testing and Materials (ASTM). ASTM-D638-10. Standard test method for tensile properties of plastics. New York; 2011.
- [3]. Gómez Gómez Jimmy J, Gutiérrez Bedoya Jorge. Diseño de una extrusora para plástico. Escuela de Tecnología Mecánica. Facultad de Tecnologías. Universidad Tecnológica de Pereira. Risaralda - Colombia. 2007.
- [4]. Pontón P, Guerrero VH. Obtención de materiales compuestos de matriz poliéster reforzados con fibra de Abacá mediante estratificación manual. Revista Tecnológica ESPOL. 2010 dic; 23(3):47-54.
- [5] De Campos CI, Rocco LahR F. Caracterización del MDF producido a partir de eucalipto y adhesivo poliuretano natural. Maderas. Ciencia y Tecnología. 2004; 6(1): 73-84. Disponible en: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-221X2004000100006&lng=es&nrm=iso. [Consulta: marzo 2013].

- [6]. Raouf OA. Influence of gamma irradiation on mechanical and thermal properties of waste polyethylene/nitrile butadiene rubber blend. *Arabian Journal of Chemistry*. April 2012. [In press].
- [7]. Gago J, León K, *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 IPEN 2010. Lima: IPEN; 2011. p. 43-48.
- [8]. Gago J, León K, *et al.* Incremento de la durabilidad de compuestos madera-polímero procesadas por radiación gamma frente al hongo *Polyporus sanguineus*. En: Instituto Peruano de Energía Nuclear. Informe Científico Tecnológico 2008. Lima: IPEN; 2009. p. 108-113.

Caracterización de una biohidroxiapatita tratada con radiación gamma para aplicaciones biomédicas

Emma Castro^{1,*}, Alcides López^{2,3}, Bertha Ramos⁴, Johnny Vargas¹, Mónica Vivanco¹,
Paula Olivera²

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

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

³ Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ciencias, Av. Túpac Amaru 210 Lima 25, Perú

⁴ Instituto Peruano de Energía Nuclear, Planta de Producción de Radioisótopos Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

Resumen

Debido a su excelente biocompatibilidad, bioactividad y osteoconducción, la hidroxiapatita es un material que se utiliza ampliamente en cirugía ortopédica, traumatología, odontología y cirugía maxilo-facial. El presente trabajo tiene como propósito caracterizar una biohidroxiapatita (BHA) esterilizada por radiación gamma y tratada a las dosis de 0, 25, 50, 100, 200 y 500 kGy, utilizando técnicas gravimétricas, espectroscopía FTIR, difracción de rayos X, fluorescencia de rayos X, microscopía electrónica de barrido y pruebas organolépticas. Se realizaron pruebas dosimétricas para la irradiación del producto y la esterilidad de la BHA se comprobó mediante pruebas microbiológicas. Los resultados de las pruebas de caracterización concluyen que la BHA irradiada a 25 kGy es apropiada para ser utilizada en aplicaciones médicas.

Abstract

Hydroxyapatite is a material that is used for orthopaedic surgery and traumatology as well as for odontology and maxilo-facial surgery due to its biocompatibility, bioactivity and osteoconduction. To be used in patients, hydroxyapatite must be sterile and thus, previously should undergo an sterilization process. This work aims to characterize a biohydroxyapatite (BHA) sterilized by gamma radiation, treated at doses of 25, 50, 100, 200 y 500 kGy, using gravimetric techniques, FT-IR spectroscopy, X-ray diffraction and fluorescence, scanning electron microscopy as well as organoleptic tests. For product irradiation, dosimetric tests were performed and the sterility of the product was verified through microbiological tests. Results of characterization tests concluded that the BHA irradiated at 25 kGy is appropriate for medical applications.

1. Introducción

La biohidroxiapatita (BHA) es el principal componente inorgánico de los huesos, encontrándose también en los dientes. Su fórmula química es $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$, su origen puede ser natural en forma de mineral: humano, bovino, equino, coralino, ficógeno, y en forma sintética puede ser hidroxiapatita pura (HA): cerámico o no cerámico [1]. La BHA y la HA han sido muy estudiadas y debido a sus propiedades de biocompatibilidad son utilizadas en el campo de la biomedicina, principalmente como sustituto óseo.

En la actualidad, para la reparación ósea, los injertos de hueso autólogo son considerados los "estándares de oro" de los sustitutos óseos; sin embargo, su limitada

disponibilidad y morbilidad asociada a la procuración del hueso de sitios donantes han orientado a la búsqueda de materiales alternativos [2]. Así, la BHA es uno de los biocerámicos más utilizados debido a sus excelentes propiedades biocompatibles, antiinflamatorias, osteoconductoras, promotoras del crecimiento de hueso nuevo, capacidad de reabsorción por el cuerpo [3] y porque además puede ser obtenida de diferentes fuentes.

La BHA se utiliza en cirugía máxilo-facial, periodontología, ortopedia y traumatología; para el relleno de vacíos óseos creados por quistes, tumores y traumas. De igual manera, se utiliza en intervenciones quirúrgicas como: aumento de rebordes alveolares atróficos,

* Correspondencia autor: ecastro@ipen.gob.pe

cubierta de implantes metálicos y cirugía ortognática [4-6].

Para que la BHA pueda ser aplicada en la práctica médica requiere estar estéril y la radiación gamma, proveniente del Cobalto-60, es un método eficaz para esterilizar productos para uso biomédico. Una de sus ventajas frente a otros métodos de esterilización es su gran capacidad de penetración y que el producto puede tratarse en su empaque final. Igualmente, el aumento de la temperatura durante el procesamiento es insignificante, por lo que es posible tratar productos sensibles al calor [7, 8]. El propósito de este trabajo es caracterizar una biohidroxiapatita (BHA) esterilizada por radiación gamma y tratada a las dosis de 0, 25, 50, 100, 200 y 500 kGy, utilizando técnicas gravimétricas, espectroscopía FTIR, difracción de rayos X, fluorescencia de rayos X, microscopía electrónica de barrido y pruebas organolépticas para determinar las propiedades físico-químicas y la dosis de irradiación apropiada en el producto para ser utilizado en aplicaciones médicas.

2. Metodología

Se trabajó con una BHA comercial de origen bovino en forma granulada, que requería esterilidad y su caracterización físico-química para su posterior uso biomédico.

2.1 Tratamiento de la muestra para su irradiación

Se envasó en cada vial de vidrio tipo I, la cantidad de 2 gramos de producto en una cabina de flujo laminar.

2.2 Dosimetría e irradiación de las muestras

Las pruebas dosimétricas se realizaron en los laboratorios de dosimetría de IPEN, utilizando el método Fricke como dosímetro de referencia, según la Norma ASTM E1026-04 [9] y Etanol Clorobenceno (ECB) como dosímetro de rutina según la Norma ISO/ASTM 51538:2002 (E) [10].

Los equipos utilizados fueron: el irradiador gamma modelo Gammacell 220 Excel de la Nordion Inc. de Canadá con fuentes de Co-60 con una actividad de 23984 Ci al 2003; y el Espectrofotómetro Thermo Scientific UV-Vis., modelo Evolution. Las lecturas de la absorbancia de los dosímetros Fricke

irradiados se midieron a una longitud onda de 303 nm. Para el control de la dosis, se colocaron con las muestras de BHA, dosímetros de etanol clorobenceno cuya conductividad luego de irradiados, se midió con el equipo Oscilótrotador/TRIEM. Las dosis de irradiación aplicadas fueron 0, 25, 50, 100, 200 y 500 kGy.

2.3 Caracterización de la BHA

2.3.1 Análisis microbiológicos

El análisis microbiológico incluyó la prueba de esterilidad a muestras de BHA irradiadas a 25 kGy y se realizó de acuerdo con los procedimientos establecidos en la US Pharmacopea [11].

Los equipos que se utilizaron para la realización de este análisis fueron: Autoclave Raypa AES-75 Dry, Estufa Incubadora VWR Scientific, Balanza toploading Mettler 682B, Agitador magnético Stuart Scientific, Baño maría Tecam, Shaker Orbital Labline, Agitador de tubos Fisher y campana de Flujo Laminar Envair. Los medios de cultivo utilizados fueron: Caldo Casoy y Caldo Tioglicolate de Merck.

2.3.2 Determinación del contenido de humedad

La prueba se realizó para medir el contenido de agua en las muestras de BHA irradiadas a 0, 25, 50 y 100 kGy. Se utilizaron los siguientes equipos: Balanza Analítica Fisher XA, Estufa de convección al vacío Fisher Isotemp Model 281 y Desecador. La temperatura de secado fue de 110 °C, El método utilizado fue el de pérdida de peso.

2.3.3 Espectroscopia Infrarroja con Transformadas de Fourier FTIR

Esta técnica se empleó para observar y registrar los grupos funcionales de la BHA de la muestra control y las irradiadas a 25, 50, 100, 200 y 500 kGy, usando para ello el Espectrómetro infrarrojo Nicolet, modelo 6700, accesorio ATR (Attenuated Total Reflection). Los parámetros de adquisición fueron: número de escaneos: 32; resolución: 8 cm⁻¹, rango de frecuencia: 500 a 4000 cm⁻¹, modo: absorbancia y una temperatura de 24.5 °C. Para el procesamiento de los espectros se utilizó el software OMNICSpectra.

2.3.4 Difracción de rayos X

Estas pruebas se realizaron para determinar los posibles cambios de la estructura cristalina de las muestras de BHA, cuando son irradiadas a 0, 25, 50, 100, 200 y 500 kGy. Para ello, se ha usado el Difractómetro Bruker Miniflex II con los siguientes parámetros de medición: paso angular de 0.02° velocidad de barrido 6° por minuto, ángulos de 8° a 52° y 30 kV de voltaje de aceleración.

2.3.5 Fluorescencia de rayos X

Las pruebas se realizaron usando dos sistemas: Uno, excitado por una fuente de Cd-109 de 25 mCi, y el otro excitado por un tubo de rayos X con Gd como blanco y un set de blancos secundarios de Al, Ti, Fe, Ge, Zr, Mo, Ag, Al₂O₃. En ambos casos se utilizaron detectores de alta resolución, marca CANBERRA, Modelo SL 30165 (Resolución: 165 eV para 5.89 keV) y Modelo GUL0035P (Resolución: 145 eV para 5.89 keV), respectivamente [12,13].

2.3.6 Análisis de propiedades organolépticas

Estas pruebas se realizaron para evaluar propiedades como el olor, color y apariencia en la BHA irradiada a las dosis de 0, 25, 50, 100, 200 y 500 kGy. Se determinaron cambios en el color utilizando el software ITEM [14].

2.3.7 Análisis morfológico por Microscopía Electrónica de Barrido (MEB)

Las morfologías de las BHA irradiadas a las dosis de 0, 200 y 500 kGy se observaron con el Microscopio Electrónico de Barrido Philips S500, a 15000X.

3. Resultados y Discusión

3.1 Dosimetría e irradiación de las muestras de BHA

De acuerdo con la dosimetría Fricke realizada, los resultados fueron: tasa de dosis mínima: 4.1933 kGy/h y tasa de dosis máxima 6.9657 kG/h. La uniformidad de dosis (UD) fue de 1.66. La lectura de los dosímetros de etanol clorobenceno, colocados en el sitio de dosis mínima al irradiar las muestras de la BHA a las diferentes dosis,

indicaron variaciones menores al 6 %. La tasa de dosis hallada con el dosímetro Fricke es adecuada para la irradiación de los productos y la variación del dosímetro de etanol clorobenceno también se encuentra en el rango adecuado.

3.2 Análisis microbiológicos

El ensayo microbiológico en la BHA, demostró que a la dosis de 25 kGy, el producto queda estéril, es decir libre de carga microbiana. Por lo que esta dosis resultó siendo suficiente para esterilizar la BHA.

3.3 Determinación del contenido de humedad

La Tabla 1 muestra los resultados del contenido de humedad de las muestras de BHA irradiadas a diferentes dosis.

Tabla 1. Contenido de humedad de la HA irradiada.

| Dosis (kGy) | % de Humedad |
|-------------|--------------|
| 0 | 2.40 ±0.15 |
| 25 | 2.39 ±0.17 |
| 50 | 2.39±0.15 |
| 100 | 2.37±0.14 |
| 200 | 2.37±0.14 |
| 500 | 2.36±0.16 |

Se puede observar que la humedad disminuye muy ligeramente a medida que aumenta la dosis.

3.4 Espectroscopia Infrarroja con Transformada de Fourier FTIR

En la Figura 1 se observa la secuencia comparativa de los 6 espectros FTIR adquiridos de la HA irradiada a diferentes dosis. Se observan ligeros cambios a 876 cm⁻¹. Para una mejor visualización de este efecto se ha reducido el rango de frecuencias de 800 cm⁻¹ a 930 cm⁻¹ y para descubrir las características espectrales solapadas, que no pueden resolverse mediante los datos graficados directamente, se ha aplicado la deconvolución de Fourier a los espectros de las muestras irradiadas entre 0 y 500 kGy (Ver Figura 2). Se puede apreciar que las frecuencias oscilatorias de 863, 888 y 910 cm⁻¹ de la muestra sin irradiar casi desaparecen por el efecto de la irradiación gamma a una dosis de 500 kGy, al mismo tiempo la frecuencia de 874 cm⁻¹ se hace más pronunciada a dicha dosis, sufriendo un

ligero corrimiento a 877 cm^{-1} .

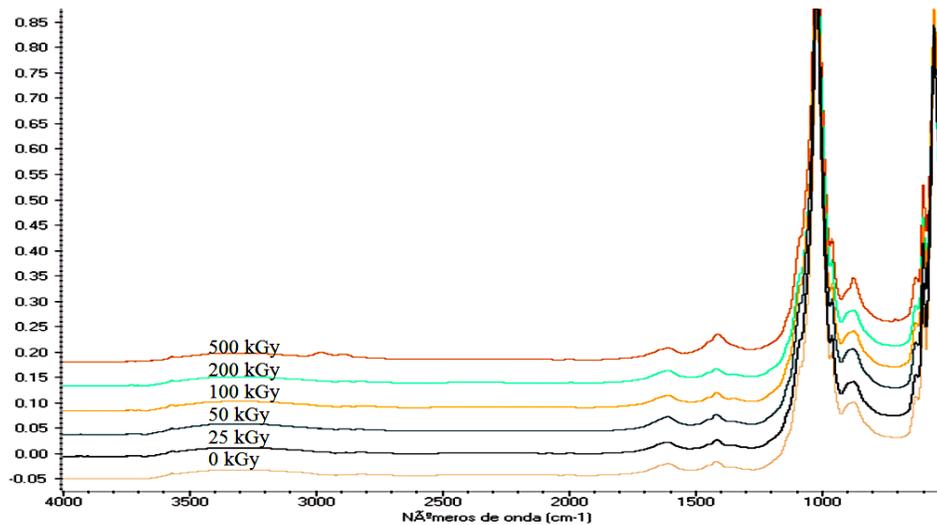


Figura 1. Espectro de absorbancia FTIR de las 6 muestras de BHA irradiadas entre 0 y 500 kGy.

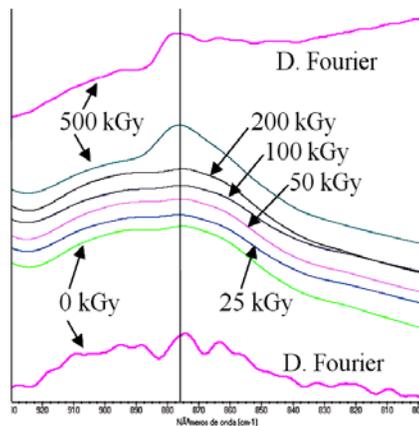


Figura 2. Comparación de los espectros FT-IR de muestras de HA en gránulos tratadas entre 0 y 500 kGy.

El cambio más importante ocurre alrededor de los 876 cm^{-1} , frecuencia que corresponde al enlace C-O del CO_3^{2-} y que se hace más definida a medida que la dosis se incrementa hasta 500 kGy. Este cambio ha sido reportado y corresponde al incremento del CO_3 en la matriz de la HA [15, 16].

En la Tabla 2 se observan las bandas de absorción de la BHA no irradiada e irradiadas hasta 500 kGy. Estas corresponden a las bandas típicas de la HA.

Tabla 2. Bandas de absorción identificadas por espectroscopia FTIR en muestras de BHA.

| Número de Onda (cm^{-1}) | Asignación |
|-------------------------------------|--|
| 1608 | Carbonato (CO_3^{2-}) |
| 1418 | Carbonato (CO_3^{2-}), tipo B |
| 1021 | Fosfato (PO_4^{3-}) |
| 962 | Fosfato (PO_4^{3-}) |
| 876 | Carbonato (CO_3^{2-}) |
| 599 | Fosfato (PO_4^{3-}) |
| 559 | Fosfato (PO_4^{3-}) |

3.5 Difracción de rayos X

A bajos ángulos del patrón de difracción de rayos X se observaron cambios en la estructura cristalina de la BHA irradiada desde 200 a 500 kGy. En la figura 3 se aprecia el decremento de la cristalinidad del pico (100) lo cual significa un ligero deterioro de la cristalinidad en dicha dirección cristalográfica.

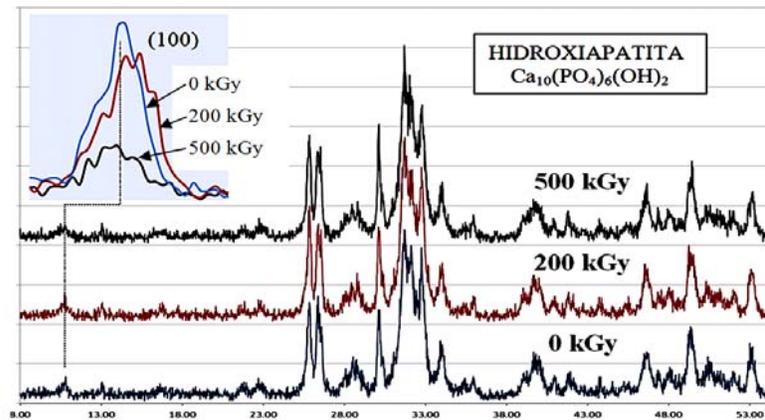


Figura 4. Patrones de difracción de rayos X de muestras de BHA gamma irradiadas a 0, 200 y 500 kGy.

3.6 Fluorescencia de rayos X

En la Tabla 2 se muestran la composición elemental determinada por FRX en las muestra de la BHA irradiada a 500 kGy.

Tabla 2. Elementos químicos determinados por FRX en BHA irradiada a 500 kGy.

| Elemento | Concentración |
|--|---------------|
| Ca | 36.00 %w |
| Fe | 563 ppm |
| Br | 11 ppm |
| Sr | 46 ppm |
| P ₃ O ₁₃ H | 63.9 %w |
| Ca ₅ (PO ₄) ₃ OH | 99.9 %w |

Se puede apreciar en el espectro FRX de la Figura 5 y los datos de la Tabla 2, la presencia abundante de Ca y P correspondientes a la matriz de HA y la presencia escasa de Fe, Br y Sr, lo que ha permitido ajustar los espectros de DRX en los que se han encontrado tres fases adicionales a la HA, aunque en muy pocas cantidades y estas son: a) HA con sustitución de Sr, $\text{Ca}_{8.98}\text{Sr}_{1.02}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$, b) Óxido de fosfato cálcico, $\text{Ca}(\text{PO}_4)_6\text{O}$ y c) Óxido de fosfato de calcio y hierro, $\text{Ca}_{28.8}\text{Fe}_{3.2}(\text{PO}_4)_{21}\text{O}_{0.5}$.

Estudios anteriores han reportado la presencia de Sr como componente de una HA de origen bovino, lo cual corrobora el origen de la BHA estudiada en el presente artículo [17].

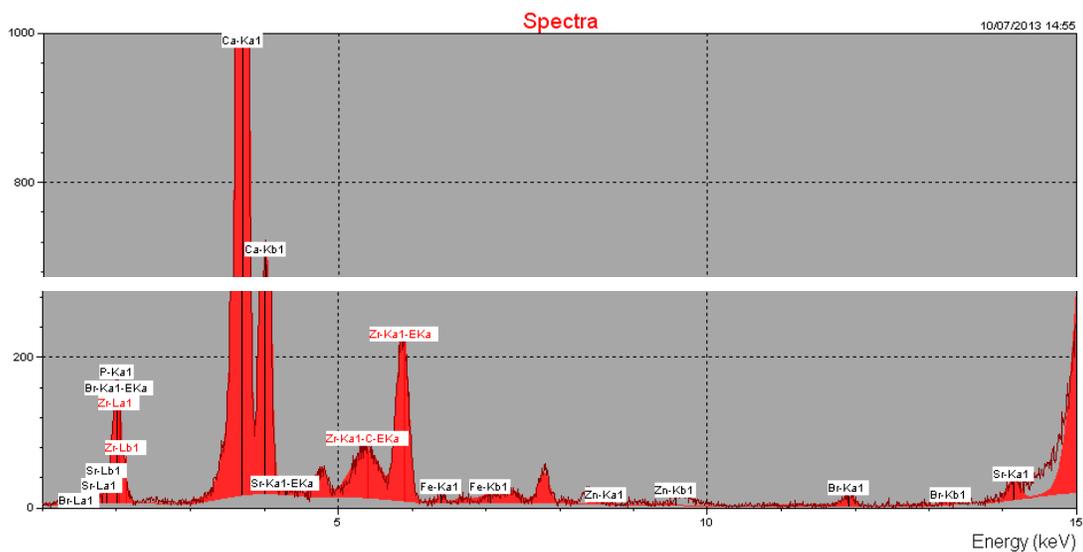


Figura 5. Espectro FRX de la BHA mostrando los picos elementales correspondientes.

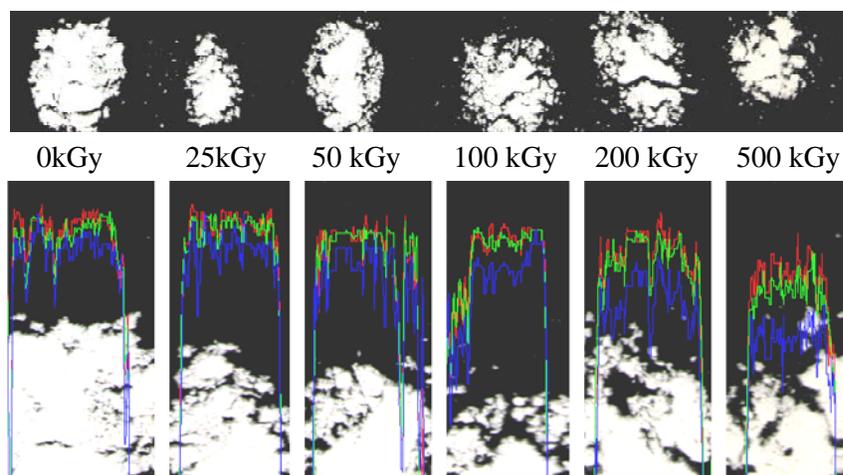


Fig. 6. Variación de componentes primarios de color de acuerdo con la dosis aplicada a la BHA.

3.7 Análisis de propiedades organolépticas

En la BHA irradiada se observa que el color se oscurece a medida que la dosis de irradiación aumenta. Debido a que estos cambios son de difícil percepción a simple vista, se escanearon las imágenes a 2400 dpi y se analizaron en sus componentes básicos de color con el software iTEM [14]. Los resultados se aprecian en la Figura 6, en cuya parte superior están ubicadas las imágenes de las muestras de BHA irradiadas a las dosis aplicadas y en la parte inferior se observa que las intensidades de los componentes cromáticos básicos, rojo, verde y azul, disminuyen a medida que se incrementa la dosis de 0 a 500 kGy. Esta variación se puede apreciar en la disminución de la intensidad del color azul.

También se ha examinado organolépticamente el olor y apariencia de todas las muestras irradiadas, desde 0 a 500 kGy. Los resultados de estas pruebas se pueden apreciar en la Tabla 3.

Se observa que el olor es característico sin variación sensible en todas las muestras. Visualmente, se observa que el color varía de blanco a crema oscuro y la apariencia se mantiene.

Tabla 3. Resultados del análisis de propiedades organolépticas.

| Dosis (kGy) | Propiedad Física | | |
|-------------|------------------|--------------|------------|
| | Olor | Color | Apariencia |
| 0 | Característ. | Blanco | Gránulos |
| 25 | Característ. | Lig. crema | Gránulos |
| 50 | Característ. | Lig. crema | Gránulos |
| 100 | Característ. | Lig. crema | Gránulos |
| 200 | Característ. | Crema | Gránulos |
| 500 | Característ. | Crema oscuro | Gránulos |

3.8 Análisis morfológico por microscopia electrónica de barrido

En la Figura 7 se observan las características morfológicas vistas con el Microscopio Electrónico de Barrido a 15000x para las muestras sin irradiar e irradiada a 200 y a 500 kGy.

No se observan cambios notorios a estas ampliaciones.

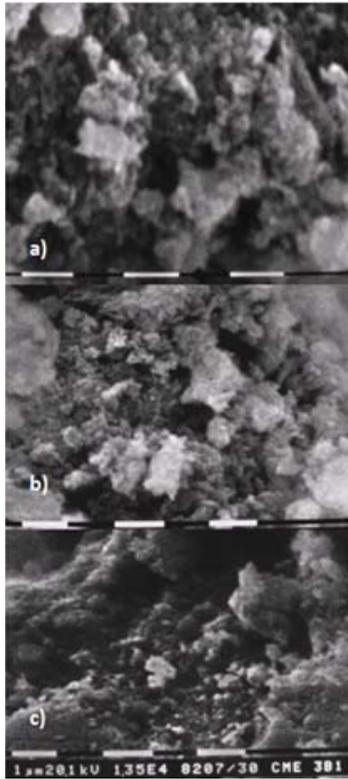


Figura 7. Micrografías MEB de la BHA a 0 kGy (a), 200 kGy (b) y 500 kGy (c).

4. Conclusiones

Las pruebas dosimétricas permitieron aplicar dosis de manera precisa y segura al producto con una relación entre dosis máxima y dosis mínima (uniformidad de dosis) de 1,66 kGy.

A una dosis de 25 kGy el producto ya se encuentra estéril.

A las dosis de irradiación aplicadas la disminución del contenido de humedad de las muestras no es significativa.

Por FTIR solo se encuentran cambios en el enlace C-O del CO_3^{2-} . Esta población de enlaces se incrementa a medida que aumenta la dosis hasta 500 kGy.

Por DRX se encuentra un ligero deterioro de la cristalinidad en la dirección cristalográfica (100) de la BHA.

Por FRX y DRX, adicionalmente a la presencia de BHA se han encontrado tres fases: 1. HA con sustitución de Sr, 2. Óxido de fosfato cálcico y 3. Óxido de fosfato de calcio y hierro.

Se ha confirmado el origen bovino de esta BHA estudiada.

No se observan cambios en el olor ni en la apariencia de las BHA irradiadas. El color experimenta un cambio de blanco a crema oscuro con el incremento de la dosis de irradiación, variación que se confirma con el análisis de los colores básicos. No se observan cambios notorios en la morfología a través del MEB.

La irradiación de la BHA hasta 500 kGy no produce cambios importantes en la estructura molecular ni en la estructura cristalina de la BHA, resultando la dosis de 25 kGy suficiente para aplicaciones biomédicas.

Desde el punto de vista de los biomateriales se observa que la BHA está compuesta de HA y otros componentes que dan lugar a HA, HA sustituidas, y otros componentes basados en óxidos fosfatados.

Los resultados obtenidos en esta investigación nos permiten conocer las propiedades físico-químicas y microbiológicas de una BHA adecuada, para su uso eficiente como matriz de soporte para la osteoconducción.

5. Agradecimientos

A la Facultad de Ciencias de la UNI por facilitarnos el uso del Microscopio Electrónico de Barrido.

6. Bibliografía

- [1] Ruiz Marin, *et al.* Injertos sustitutos no óseos. Aportaciones del ácido poliláctico y poliglicólico. Av. Periodon. Implantol. 2009; 21(1):45-52.
- [2] Muñoz M, *et al.* Comparación entre distintos sustitutos óseos utilizados para procedimientos de elevación del seno maxilar previo a la colocación de implantes dentales. Avances en Periodoncia e Implantología. 2008; 20(3):155-164.
- [3] Agnieszka Sobczak *et al.* Acta of Bioengineering and biomechanics. 2009; 11(4):3-8.
- [4] Téllez Jiménez H, *et al.* Estudio de hidroxiapatita natural vs. Sintética en su aceptación biológica y eficacia regenerativa ósea en modelo animal. Oral Revista. 2009; 32:533-536.
- [5] Juan Carlos Quintana Díaz. Utilización de de la hidroxiapatita en cirugía máxilo-facial.

- Actualización bibliográfica. Revista Cubana Estomatología. 1998; 35(1):16-20.
- [6] Quintana Díaz J.C. Utilización de la Hidroxiapatita en Cirugía Májilo-facial. Actualización Bibliográfica. Revista Cubana Estomatología. 1998; 35(1):16-20.
- [7] Guzmán-García C, Manzo F. Efecto de la radiación gamma sobre los materiales compuestos de PEAD con hidroxiapatita. [Tesis para optar el título de Ingeniero Químico]. Universidad Central de Venezuela. 2003.
- [8] Yuichi Kawasaki, *et al.* Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials. 2010; 9B(1):161-167.
- [9] American Society for Testing and Materials (ASTM). ASTM E 1026-04. Using the Fricke Reference Standard Dosimetry System.
- [10] American Society for Testing and Materials (ASTM). ASTM 51538:2002 (E). Standard practice for use of the ethanol-chlorobenzene dosimetry system.
- [11] United States Pharmacopeial Convention. United States Pharmacopoeia 35 <61>, 2012.
- [12] Olivera P, Greewich R. Análisis bioarqueométrico de los restos óseos de Francisco Pizarro. En: Instituto Peruano de Energía Nuclear. Informe Científico Tecnológico 2010. Lima: IPEN. 2011. p. 3-7.
- [13] Montalvo Balarezo OA, Olivera de Lescano O, Rivera Castilla D. Análisis multielemental de restos óseos por fluorescencia de rayos X para la reconstrucción de dietas del periodo temprano en la cultura Lima. Boletín de la Sociedad Química del Perú. 1998; 64(2): 133-144.
- [14] Olympus Soft Imaging Solutions. iTEM Family. [homepage de Internet]. Disponible en: http://www.soft-imaging.net/en/eu/eng/2343_5832.htm
- [15] Fang Yao, John P LeGeros, Racquel Z LeGeros Acta Biomaterialia Volume 5, Issue 6, July 2009, Pages 2169–2177
- [16] Jiangling Li. Structural characterization of apatite-like materials. [Thesis]. College of Engineering and Physical Sciences, University of Birmingham, UK, 2009, 21.
- [17] Bahrololoom ME, *et al.* Journal of Ceramic Processing Research. 2009; 10(2):129-138.

Utilidad e impacto en el manejo clínico de la gammagrafía ósea en niños y adolescentes con cáncer

Rosanna Morales^{1,*}, Roque Cano¹, Clara Pérez², Rowena Hammond³, Gustavo Luyo³, Silvia Mori³

¹ Centro de Medicina Nuclear, Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN), Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

² Departamento de Pediatría, Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas (INEN), Av. Angamos 2520, Lima, Perú

³ Universidad Peruana Cayetano Heredia, Lima, Perú, Médico Residente

Resumen

Treinta y cuatro pacientes, que cumplieron con los criterios de inclusión, entre uno y 18 años de edad, tuvieron una gammagrafía ósea solicitada para manejo de su neoplasia, del 2008 al 2011, siendo realizada en el Centro de Medicina Nuclear IPEN-INEN. Se revisaron las indicaciones e impacto del examen en el tratamiento de la enfermedad de cada paciente. Las indicaciones incluyeron estadiaje del tumor, presencia de dolor óseo y elevación de marcadores tumorales. Hubo impacto del estudio en 33/34 casos, siendo el impacto más frecuente el inicio de Quimioterapia. La gammagrafía ósea continúa siendo una herramienta muy útil y con impacto en el manejo de neoplasias en niños y adolescentes.

Palabras Clave: Gammagrafía ósea, Niños, Adolescentes, Neoplasias, Impacto, Indicaciones, Tc 99m.

Impact and usefulness in clinical management of bone scan in children and teenagers with cancer

Abstract

Thirty four patients, who fulfilled inclusion criteria, between one and 18 years old, had a bone scan for cancer management, from 2008 to 2011, performed in Nuclear Medicine Center IPEN-INEN. Medical records were revised to seek for indications and impact of bone scan in treatment performed in each patient. Indications included staging, bone pain and elevated tumoral markers. Impact was found in 33/34 cases, the most frequent was chemotherapy initiation. Bone scan is still a useful tool with impact in cancer management in children and teenagers.

Keywords: Bone scan, Children, Adolescents, Cancer, Impact, Indications, Tc99m.

1. Introducción

La gammagrafía ósea continúa siendo el estudio de Medicina Nuclear que se utiliza con mayor frecuencia en Oncología, debido fundamentalmente a su alta sensibilidad y bajo costo [1]. En niños y adolescentes es una herramienta con bajo costo, disponible y que, con una adecuada metodología, involucra baja radiación para el paciente [2,3]. Sin embargo, es necesario conocer las indicaciones y el impacto que esta técnica presenta en la evaluación y manejo de los niños y adolescentes con cáncer. El objetivo del presente trabajo fue determinar la utilidad e impacto de la gammagrafía ósea en paciente niño y adolescente, con neoplasias malignas, realizada en el Centro de Medicina Nuclear IPEN-INEN.

2. Metodología

Se revisaron las historias clínicas y gammagrafías óseas de los pacientes derivados del Departamento de Pediatría del Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas, a los que se realizó este estudio entre enero del 2008 y diciembre del 2011, en el Centro de Medicina Nuclear IPEN-INEN, con la finalidad de reportar las indicaciones e indicadores de impacto del examen en el tratamiento y manejo posterior de la enfermedad de cada paciente.

Los criterios de inclusión fueron:

- Diagnóstico clínico de neoplasia.
- Gammagrafía ósea disponible.

* Correspondencia autor: rmorales@ipen.gob.pe

- Solicitud del examen, con indicación en la hoja de la historia clínica.
- Reportes en la historia del resultado de la gammagrafía y del manejo posterior del paciente, luego de tener el resultado de la gammagrafía ósea.
- Edad < 18 años.

Los criterios de exclusión fueron:

- Falta de datos en la historia clínica.
- Edad \geq 18 años.
- Gammagrafía ósea no disponible.

3. Resultados y Discusión

Treinta y cuatro pacientes fueron incluidos en el estudio. La edad de los pacientes oscilaba entre 9 meses a 18 años (Tabla 1).

Tabla 1. Edad de niños y adolescentes con cáncer y gammagrafía ósea. 2008-2011.

| Grupos de edad (años) | Pacientes incluidos |
|-----------------------|---------------------|
| 0-6 | 06 |
| 7-12 | 09 |
| 13-18 | 18 |
| Total | 33 |

Los diagnósticos del tumor primario de los pacientes se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Tumores primarios en los que se indicó gammagrafía ósea.

| Tumor | Pacientes incluidos |
|----------|---------------------|
| Sarcomas | 16 |
| Linfomas | 07 |
| Leucemia | 06 |
| Otros | 04 |
| Total | 33 |

Las indicaciones para la gammagrafía ósea fueron estadiaje en 17 casos; reevaluación del paciente después de tratamiento, en nueve; dolor óseo, en siete casos y elevación de marcadores tumorales en un paciente.

La gammagrafía ósea fue informada como normal en 16 casos y como anormal en 17, teniéndose captación en el tumor primario en cuatro de estos casos.

Se evaluó el impacto del resultado de la gammagrafía ósea, teniéndose los siguientes

datos (Tabla 3).

Tabla 3. Impacto de la gammagrafía ósea en niños y adolescentes con cáncer 2008-2011.

| Indicador de impacto | No. de pacientes |
|----------------------|------------------|
| Inicio quimioterapia | 14 |
| Inicio radioterapia | 04 |
| Observación | 05 |
| Decisión quirúrgica | 03 |
| No cambia terapia | 03 |
| Terapia paliativa | 03 |
| Reposo | 01 |
| Total | 33 |

QT = Quimioterapia

RT = Radioterapia



Figura 1. Paciente mujer de 15 años, con sarcoma histiocítico. Indicación de la gammagrafía ósea: Dolor intenso en la región dorsal y lumbar, que le impide dormir. Se aprecian lesiones secundarias hiperactivas múltiples en la columna dorsal y lumbar, así como en huesos pélvicos. Ante el diagnóstico de metástasis óseas, la paciente recibió radioterapia como tratamiento paliativo, mejorando su sintomatología dolorosa.

La gammagrafía ósea es uno de los estudios más importantes en el manejo de las neoplasias en las cuatro últimas décadas [4]. Es una técnica que fue introducida en el área en 1970 y se ha usado desde entonces para el estudio de neoplasias en niños y adolescentes.

Los tumores son la segunda causa de mortalidad en niños, después de traumatismos, a nivel mundial [5].

En muchos protocolos de investigación se tiene como una rutina solicitar gammagrafías

óseas en diversas fases del estudio, para mejorar las opciones terapéuticas en los niños y adolescentes [6].



Figura 2. Gammagrafía ósea completa, en vista posterior, con inclusión de miembros inferiores, de la paciente referida en la figura 1. Se aprecia poca captación en fémures y tibias, debido a la gran “avidez” por el radiofármaco en las lesiones secundarias presentes en columna y pelvis. Este estudio permite además ver la presencia de cartilagos de crecimiento en fémures proximal y distal y tibias, que corresponden a normalidad con la edad de la paciente.

En los pacientes del presente estudio se encontró con mayor frecuencia sarcomas. Estos tumores son agresivos y requieren un manejo terapéutico complejo. Conocer a tiempo si se requiere inicio de tratamiento por compromiso óseo es muy importante. Existen varias series en las que el estudio de gammagrafía ósea ha sido muy útil en el manejo clínico [3,7-9].

El dolor óseo es un síntoma que orienta el diagnóstico en cáncer; en niños es un indicio de probable metástasis ante un tumor en tratamiento. Su localización permite lograr

disminuirlo con diferentes métodos [10].

El inicio de la quimioterapia ha sido posible gracias al resultado positivo o negativo de la gammagrafía ósea. Ante una gammagrafía anormal, ha servido para reorientar el tratamiento o iniciar terapia paliativa. En la literatura se encuentran los mismos hallazgos.

4. Conclusiones

Hubo impacto de la gammagrafía ósea en 33/34 pacientes menores de 18 años, con neoplasia conocida.

El impacto más frecuente del estudio fue inicio de Quimioterapia.

La gammagrafía ósea continúa siendo una herramienta muy útil y con impacto en el manejo de neoplasias en niños y adolescentes.

5. Agradecimientos

A todas las personas que han permitido tener disponibles los datos a analizar y realizar con profesionalidad los estudios de gammagrafía ósea en niños y adolescentes.

6. Bibliografía

- [1] Fass L. Imaging and cancer. A review. *Molecular Oncology* 2008; 2: 115-152.
- [2] Shamma A, Vali R, Charron R. *Pediatric Nuclear Medicine in Acute Care. Seminars in Nuclear Medicine* 2013; 43: 139-153.
- [3] Rajiah P, Ilaan H, Sundaram M. Imaging of Sarcomas of the Pelvic Bones. *Seminars in Ultrasound, CT and MRI* 2011; 32: 433-441.
- [4] Freeman L, Blaufox D. Bone Scan as a Corner. *Seminars in Nuclear Medicine* 2009; 39:355.
- [5] Mataliotakis G, Tsirikos A. Bone tumours affecting the bone in children and adolescents. *Orthopedics and trauma* 2011; 25: 300-311.
- [6] Chisholm J, Machin D, McDowell H, McHugh K, Ellershaw D, Jenney M et al. Efficacy of carboplatin given in a phase II window study to children and adolescents with newly diagnosed metastatic soft tissue sarcoma. *European Journal of Cancer* 2007; 43: 2537-2544.
- [7] Iriz A, Albayrak L, Eryilmaz A. Extraskelatal Ewing’s Sarcoma of the nasal cavity. *International Journal of Pediatric*

Otorhinolaryngology Extra 2007; 2: 194-197.

[8] Ferrari A, De Salvo G, Oberlin O, Casanova M, De Paoli A, Rey A et al. Synovial sarcoma in children and adolescents: a critical reappraisal of staging investigations in relation to the rate of metastatic involvement at diagnosis. European Journal of Cancer 2012; 48: 1370-1375.

[9] Eary J, Conrad E. Imaging in Sarcoma. J Nuc Med 2011; 52: 1902-1913.

[10] Rosenthal D, Callstrom M. Critical Review and State of the Art in Interventional Oncology: Benign and Metastatic Disease Involving Bone. Radiology 2012; 262:765-780.

Efecto reforzante del vidrio reciclado en la elaboración de ladrillos artesanales

Rocío Tamayo¹, Rivalino Guzmán¹, Alcides López^{2,3,*}, Elisban Sacari⁴

¹ Universidad Nacional de San Agustín, Escuela Profesional de Ingeniería de Materiales,

² Instituto Peruano de Energía Nuclear, Perú

³ Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ciencias,

⁴ Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Facultad de Ciencias, Escuela de Física Aplicada

Resumen

Se reporta el mejoramiento de la resistencia a la compresión y disminución de la temperatura de cocción de ladrillos de arcilla reforzados con vidrio sodo-cálcico reciclado; en el diseño experimental se utilizó el algoritmo de Mc Lean y Anderson para mezclas de tres componentes con restricciones, obteniéndose 12 mezclas y una muestra patrón (sin vidrio), la materia prima se preparó previo análisis granulométrico y siguiendo los parámetros de la técnica artesanal, para la formación del bloque se usó un molde metálico, las muestras secas se calcinaron a 900 °C por 5 horas. Las propiedades físicas y químicas de las materias primas y las muestras calcinadas se midieron por medio del análisis granulométrico, porcentaje de humedad, límite de Atterberg, densidad, análisis mineralógico por Difracción de Rayos X, porcentaje de contracción, absorción de agua, morfología por Microscopía Óptica y Resistencia a la Compresión. Esta investigación confirma que es posible utilizar el vidrio sodo-cálcico reciclado o vidrio común como un componente en la producción de ladrillos de arcilla cocida, el mismo que cumple la función de reforzante cuando se mezclan 30 % de vidrio, 50 % de tierra de chacra y 20 % de greda y se calcinan a 900 °C, con estos parámetros de fabricación se obtuvo la máxima resistencia a la compresión de 28 MPa, mientras que la resistencia fue de 17 MPa cuando la temperatura de cocción fue de 800 °C. Según la norma de Albañilería E-007, el producto sería catalogado como ladrillo de tipo V, con mejor resistencia a la compresión.

Abstract

We report the enhanced compression resistant and decrement of the annealing temperature of clay bricks, reinforced with recycled soda-lime glass. The Mc Lean and Anderson algorithm was used for three components mixture with restrictions, obtaining 12 mixtures and a pattern without glass, the reactive was prepared previous granular analysis and following the hand makers parameter and using a metallic mold, samples were annealed at 900 °C by 5 hours. Reactive and annealed samples were characterized determining physic and chemical properties by granular analysis, humidity rate, Atterberg limit, density, mineralogical analysis by X-ray diffraction, contraction rate, water absorption, morphology by optic microscopy and compression resistance. This research confirm the possibility of the use of soda-lime recycled glass as a component in the clay bricks production, working as reinforcing material, mixing 30 % glass, 50 % farm ground and 20 % of clay and annealed at 900 °C. At these conditions, a maximum compression resistance of 28 MPa was obtained; and of 17 MPa at an annealing temperature of 800 °C. According E-007 masonry standard this brick will be cataloged as one of type V with better compression resistance.

1. Introducción

El vidrio es un material muy común que raramente notamos su existencia, ya que está presente en formas tan diversas como: ventanas, vasos, envases de todo tipo, telescopios, en la industria nuclear como escudo de radiación, en electrónica como sustrato sólido para circuitos, en la industria del transporte, de la construcción, etc. Por sus características intrínsecas de brillantez, resistencia, transparencia, etc. el vidrio es un material difícilmente sustituible y a veces,

realmente insustituible. Igualmente son remarcables la disponibilidad y bajo costo de las materias primas usadas para producirlo, especialmente su componente más importante, la sílice (que se encuentra en la arena).

La producción nacional de vidrio, según el Índice de Crecimiento Industrial (ICI), señala que a pesar de que en los años 2006 y 2009 se registraron caídas de 0.18 % y 5.77 %, la

* Correspondencia autor: alopez@ipen.gob.pe

década del 2000 en promedio tuvo variaciones anuales positivas, en el año 2010 registró un incremento de 29.52 % y en los primeros 8 meses del año 2011 registró un comportamiento positivo de 41.41 % [1].

El vidrio es 100% reciclable innumerables veces; sin embargo, solo se reciclan botellas y envases, siendo un problema ambiental los residuos de vidrios comunes (vidrios de ventanas sodo-cálcico, sector automotriz, etc.) no se reciclan, son llevados para su disposición final a botaderos y rellenos sanitarios. Considérese por ejemplo que en una ciudad como Arequipa se genera 0.76 kg/día per cápita y un total 662.44 t/día de residuos sólidos.

Agregando diferentes porcentajes de vidrio molido a mezclas de arcillas comunes se obtuvo el máximo resultado de resistencia a la compresión de 28 MPa, y como agente fundente con una temperatura de cocción de 800 °C, con una resistencia a la compresión de 17 MPa y según la norma de Albañilería E-007 sería catalogado como tipo de ladrillo V con mejor resistencia a la compresión [2].

2. Procedimiento Experimental

Las arcillas utilizadas en esta investigación fueron obtenidas de la zona de Polobaya y los vidrios usados de los residuos urbanos del distrito de Cayma.

2.1 Diseño experimental de mezclas

El estudio de la influencia de las adiciones de vidrio se hace mediante el diseño experimental para Mezclas con restricciones de Mc Lean Anderson [3], dirigidas a seleccionar la mejor mezcla para la fabricación de ladrillos de arcilla cocida para ello tenemos los niveles máximo y mínimos mostrados en la Tabla 1.

Tabla 1. Descripción y características de las Materias Primas.

| Materia prima | Función | Variable | Nivel Min | Nivel Max |
|------------------|---------------|----------------|-----------|-----------|
| Tierra cultivada | Desengrasante | X ₁ | 0.50 | 0.80 |
| Greda | Compactante | X ₂ | 0.10 | 0.20 |
| Vidrio | Reforzante | X ₃ | 0.10 | 0.30 |

Se deben cumplir las restricciones de acuerdo con las variables señaladas en la Tabla 2.

Tabla 2. Restricciones de las variables.

| Restricciones |
|---------------------------|
| $0.50 \leq X_1 \leq 0.80$ |
| $0.10 \leq X_2 \leq 0.20$ |
| $0.10 \leq X_3 \leq 0.30$ |

Para que cumpla el algoritmo se tiene que ver las inconsistencias:

$$R_{X_i} = \sum X_{max} - \sum X_{min} \quad (1)$$

Remplazando en (1) se obtienen R_{X_1} , R_{X_2} y R_{X_3} con valores 0.30, 0.10 y 0.20 respectivamente. Los RU y RL están dadas por las siguientes ecuaciones:

$$RU = \sum X_{max} - 1 \quad (2)$$

$$RL = 1 - \sum X_{min} \quad (3)$$

Si los valores de RU y RL son 0.30 y 0.40, por lo que ningún $R_i > RL$ y ningún $R_i > RU$ para todo X_i , por lo tanto las restricciones no presentan inconsistencias y se puede usar el diseño de Mc Lean Anderson.

El número de experimentos se expresa como:

$$N = q^k (q-1)$$

De acuerdo con diseño experimental se elabora las mezclas que se muestran en la Tabla 3 y estas proporciones se pueden representar en un diagrama ternario mostrado en la Figura 1.

Tabla 3. Porcentajes de las materias primas en función al peso.

| N° mezclas | T. Cultivo (X ₁) | Greda (X ₂) | Vidrio (X ₃) |
|------------|------------------------------|-------------------------|--------------------------|
| 0* | 0.8 | 0.2 | 0 |
| 1 | 0.500 | 0.200 | 0.300 |
| 2 | 0.600 | 0.150 | 0.250 |
| 3 | 0.800 | 0.100 | 0.100 |
| 4 | 0.550 | 0.175 | 0.275 |
| 5 | 0.650 | 0.150 | 0.200 |
| 6 | 0.525 | 0.188 | 0.288 |
| 7 | 0.700 | 0.125 | 0.175 |
| 8 | 0.575 | 0.163 | 0.263 |
| 9 | 0.675 | 0.138 | 0.188 |
| 10 | 0.633 | 0.150 | 0.217 |
| 11 | 0.650 | 0.142 | 0.208 |
| 12 | 0.613 | 0.156 | 0.231 |

(*)Mezcla patrón (sin vidrio)

2.2 Caracterización de la materia prima

Se determinaron las propiedades físicas como el análisis granulométrico (Figura 2), porcentaje de humedad, límite de Atterberg y densidad y mineralógico por Difracción de Rayos X (DRX).

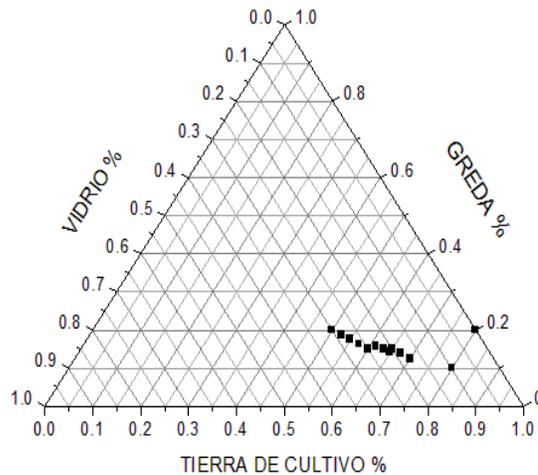


Figura 1. Región experimental de mezclas de las materias primas presentada en un diagrama ternario.

El análisis granulométrico nos muestra que gran parte de las partículas finas están constituidas por greda y tierra de cultivo, mientras que el vidrio participa en menos cantidad, la difracción de rayos X nos

permite identificar al cuarzo la caolinita la albita y la anortita como los principales componentes de la greda y la tierra de cultivo, el vidrio reporta una constitución totalmente amorfa como era de esperarse (ver Figura 3).

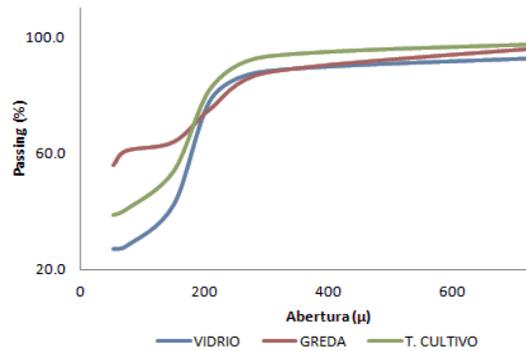


Figura. 2. Análisis granulométrico de las materias primas.

Obtenida la caracterización de la materia prima se procedió a la fabricación experimental de los ladrillos siguiendo los parámetros de la técnica artesanal, para lo cual se mezclaron las materias primas con agua y se amasó hasta obtener la pasta adecuada para el moldeo, se utilizó un molde metálico de 5.32 x 5.32 x 5.32 cm, se fabricaron 13 bloques de ladrillos de arcilla cocida en cada bloque con sus respectivas replicas en los cuales se evaluaron las características físicas en crudo y en seco.

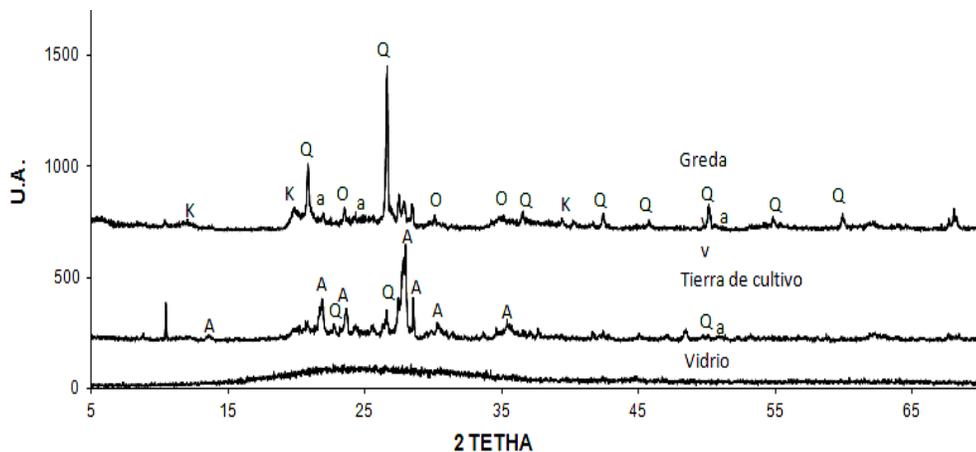


Figura 3. DRX comparativos de las Materias Primas donde a es albita, A es anortita, K caolinita y Q cuarzo.

Luego de secar las muestras se llevaron a la mufla a 900 °C por 5 horas, se realizaron ensayos físicos obteniéndose para la mezcla 503020 la máxima resistencia a la compresión de 28 MPa; posteriormente, se

fabricaron tres bloques con tres repeticiones de igual mezcla (502030) las que se llevaron a cocción a diferentes temperaturas 750, 800, 850 y 900 °C, se realizaron análisis granulométrico por microscopia de luz,

Difracción de Rayos X para la caracterización mineralógica y Fluorescencia de Rayos X para el análisis elemental.

3. Resultados y Discusiones

Podemos señalar que los mejores resultados se obtuvieron usando vidrio sodo-cálcico reciclado, como reforzante en la elaboración de ladrillos de arcilla cocida con 30 % en peso de vidrio sodo-cálcico, 20 % de greda y 50 % de tierra de cultivo, cocidos a una temperatura de 900 °C, se tuvieron parámetros de 28 MPa como se aprecia en la Figura 4 y a una temperatura de 800 °C la resistencia a la compresión llega hasta de 17 MPa; comparativamente Vorrada *et al.* obtuvieron que con adiciones de vidrio menores al 30% en peso y temperatura de quemado de 1100 °C tuvieron resultados de resistencia a la compresión de 16 a 41 MPa [4], por lo que hay concordancia en las dos investigaciones ya que los resultados son similares, lo que genera la confianza para utilizar el vidrio reciclado sodo-cálcico como un componente reforzante en la industria ladrillera.

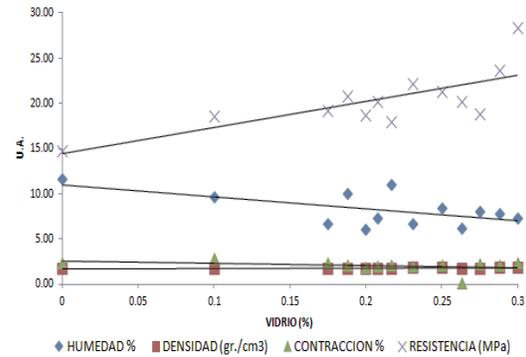


Figura 4. Relación de propiedades físicas con el porcentaje de vidrio.

A medida que aumenta las proporciones de partículas de vidrio se aprecia un incremento de la densidad lo que incrementa la resistencia a la compresión.

La mezcla (302050) al ser sometido a temperatura de cocción de 900 °C muestra un incremento en la cristalinidad de los picos de albita y anortita como puede apreciarse en la Figura 5, del mismo modo pero con más detalle, se aprecia el cambio de la cristalinidad de los diferentes componentes cristalinos sometidos a 750, 800, 850 y 900 °C de temperatura (Figura 6).

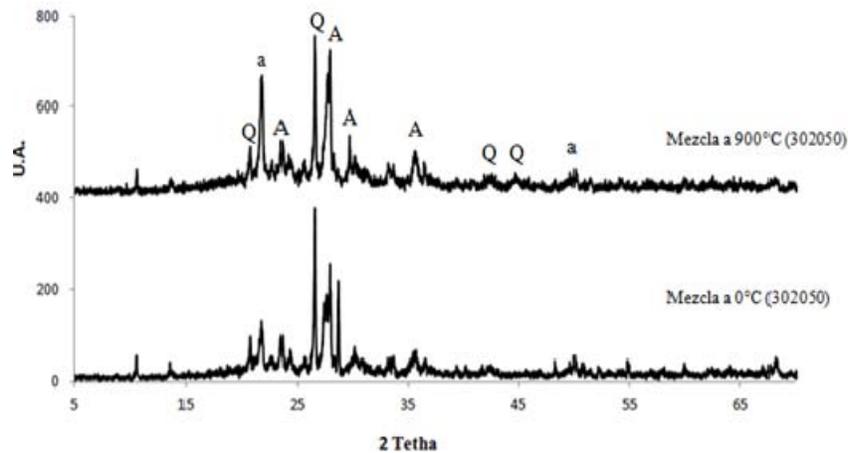


Figura 5. DRX de comparación de dos muestras cocidas a 900 °C con vidrio y sin vidrio, albita (a), anortita (A) y cuarzo(Q).

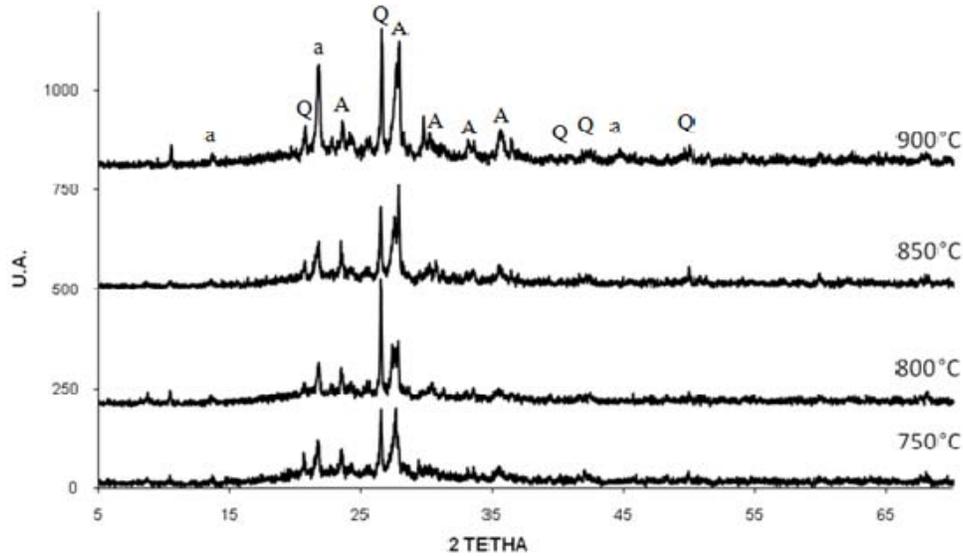


Figura 6. Difractogramas secuenciales de DRX de muestras cocidas con vidrio a diferentes temperaturas, donde albita(a), anortita (A) y cuarzo (Q).

Se analizaron los resultados con el software Statgraphics en el que se pudo determinar teóricamente valores optimizados los que se pueden ver en la Figura 7, los mismos que están muy próximos a los parámetros de la muestra (302050).

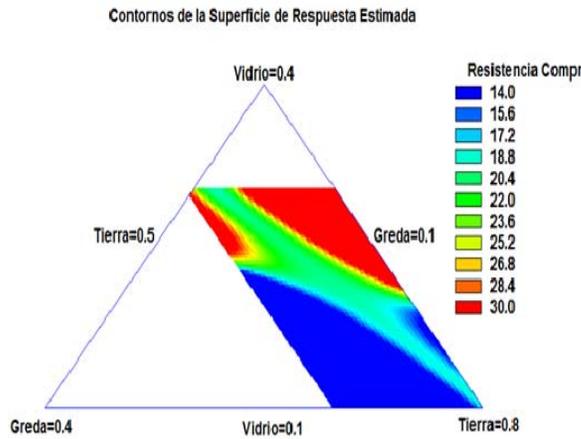


Figura 7. Contornos de superficie de respuesta estimada.

En la Figura 8 se puede observar las microfografías obtenidas por microscopia de luz a 10 y 30 aumentos y se aprecia que a medida que se incrementa la temperatura la granuladad se hace más uniforme.

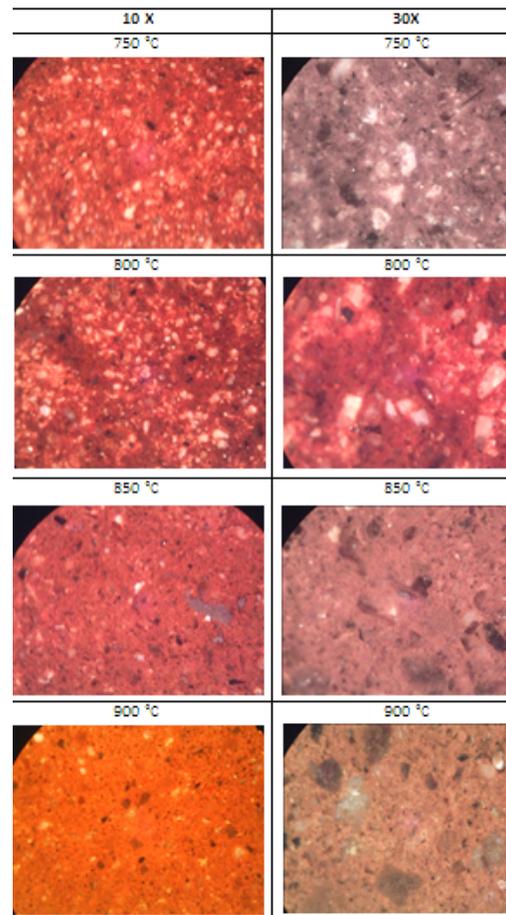


Figura 8. Microfotografías de Microscopia Óptica de las muestras 305020 a 10 y 30 aumentos y a diferentes temperaturas de calcinación.

4. Conclusiones

Es posible fabricar ladrillos de arcilla cocida con buenas propiedades mecánicas utilizando como reforzante al vidrio sodo-calcico reciclado en una proporción de 30 % en peso, 50 % tierra de cultivo y 20 % de greda, cocido a 900 °C. Se determinó la resistencia a la compresión de 28 MPa. Como agente fundente en la misma mezcla con una temperatura de cocción de 800 °C se obtuvo una resistencia a la compresión de 17 MPa, que según la norma de Albañilería E-007 sería catalogado como ladrillo tipo V con mejor resistencia a la compresión.

De acuerdo con los resultados, el porcentaje óptimo de vidrio sodo-calcico es de 30 % en peso, la resistencia máxima obtenida utilizando vidrio sodo-calcico es de 28 MPa a 900 °C y la temperatura mínima para la cocción de ladrillos de arcilla cocida es de 800 °C manteniendo una resistencia a la compresión de 17 MPa.

5. Bibliografía

- [1]. Ministerio de la Producción, PRODUCE (2012, 14 de enero), Índice de Crecimiento Industrial 2011, Estadística MYPE e Industria.
- [2]. Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, (2006). Norma Técnica E.070 Albañilería, Resolución Ministerial N° 011-2006-Vivienda.
- [3]. Lawson J, Madrigal J, Erjavec J. (1992) Estrategias experimentales para el mejoramiento de la calidad en la industria. (1ra. ed.) México, Grupo Editorial Iberoamericano.
- [4]. Vorrada L, Thanapa P, Kayarat K, Chatnarong S. (2009). Effects of recycled glass substitution the physical and mechanical properties of clay bricks. Journal Science Direct Waste Management. 29(09): 2717-2721.

Desarrollo de un software para la calibración de monitores de radiación en un Laboratorio Secundario de Calibraciones Dosimétricas (LSCD)

Enrique Rojas*, Tony Benavente, Elder Celedonio, Edith López

División de Metrología y Dosimetría de Radiaciones del Instituto Peruano de Energía Nuclear
Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

Resumen

La calibración dosimétrica de los monitores de radiación, a distintas magnitudes radiológicas, se realiza con el objetivo de obtener medidas exactas, por este motivo el LSCD calcula el factor de calibración dosimétrica y su incertidumbre asociada, para cada rango de uso. El factor de calibración se realiza empleando el método de campos de radiación conocidos y su incertidumbre es calculada siguiendo las recomendaciones de normas ISO. En el LSCD se calcula la incertidumbre expandida (U_c), con un factor de cobertura que brinda un nivel de confianza no menor al 95 %. Para el análisis de los datos durante el proceso de calibración, se ha desarrollado un software utilizando las herramientas de Excel y Visual Basic de Microsoft para que el personal pueda obtener en tiempo real el factor de calibración, incertidumbre asociada, linealidad en la respuesta, etiqueta de calibración y demás datos para la emisión del certificado correspondiente.

Development of a software program for the calibration of radiation in Secondary Laboratory for Dosimetric Calibration (SLDC)

Abstract

The dosimetric calibration of radiation monitors in various radiological quantities are performed in order to obtain accurate measurements, for this reason the SSDL calculated the dosimetric calibration factor and its associated uncertainty for each range of use. The calibration factor is obtained using the method of known radiation fields and the uncertainty is calculated as recommended by the ISO. The SSDL calculates the expanded uncertainty (U_c), with a coverage factor that provides a confidence level not less than 95 %. For the analysis of the data during the calibration process, a software program using MS Excel and Visual Basic tools has been developed in order that the operation personnel in charge of dosimetric calibration could obtain in real time, the calibration factor, the associated uncertainty, linearity in the response, the calibration label and complete data for the issuance of calibration certificate.

1. Introducción

El LSCD tiene entre sus funciones la calibración dosimétrica de los monitores de radiación usados en protección radiológica a nivel nacional, con la finalidad que los operadores realicen mediciones exactas de la magnitud radiológica empleada y mantengan una trazabilidad.

La calibración dosimétrica de un monitor de radiación, en una magnitud radiológica para un tipo de radiación, energía y rango, consiste en modificar algunos parámetros del monitor para que su lectura sea próxima al valor real. En este sentido, el LSCD suministra un factor de calibración dosimétrica (N), para cada rango de medición del monitor; asimismo, siguiendo las recomendaciones de la norma ISO 17025 se calcula la incertidumbre expandida (U_c), con un factor de cobertura que brinda un nivel de confianza no menor al

95 % [1].

2. Desarrollo del software

El software se ha diseñado en 5 ventanas de trabajo para el modo usuario y 8 ventanas para el reporte de los análisis y resultados.

2.1 Datos Generales

Ingreso de datos del cliente (razón social, teléfono, etc.), datos del monitor de radiación (tipo de detector, magnitud de lectura y el tipo de radiación que utiliza).

Con este desarrollo es posible determinar el factor de calibración, utilizando haces de radiación gamma y X para detectores de radiación, tales como cámaras de ionización abierta y cerrada, Geiger Muller, Contadores proporcionales y otros (Figura 1).

* Correspondencia autor: erojas@ipen.gob.pe

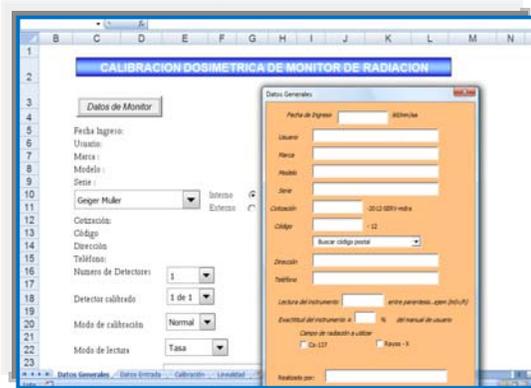


Figura 1. Ventana “Datos Generales”, se abre una plantilla en donde se ingresan los datos fácilmente.

2.2 Datos de entrada

Elección de la magnitud de referencia, H*(10) o exposición y prueba de respuesta a la radiación del monitor en calibración.

2.3 Calibración

En la Figura 2 se muestra las herramientas como: elección del número de escalas a calibrar, ingreso del valor de la magnitud de referencia, toma de datos de la medición, ingreso del valor de las condiciones ambientales y resolución de lectura. Si algún dato ingresado es erróneo el programa emite un mensaje indicando la celda donde se encuentra el error.

En esta ventana se realiza el análisis de los valores ingresados, verificando la correspondencia frente al valor de referencia y su correcta digitación; asimismo, se calcula el correspondiente factor de calibración [2] de acuerdo con la siguiente relación:

$$N = \frac{H \cdot k_t}{(M_1 - M_0) \cdot k_{pr} \cdot k_T \cdot k_d} \quad (1)$$

Donde:

- N factor de calibración del monitor
- M_1 promedio de lecturas en el campo de radiación
- M_0 promedio de lecturas de fondo
- H magnitud en la que se calibra
- k_t factor de decaimiento radiactivo

- k_{pr} corrección por variación de la presión
- k_T corrección por variación de la temperatura
- k_d corrección por posicionamiento

2.4 Linealidad

Una ventana habilitada para la verificación de la linealidad de las lecturas, en un rango de medición, realiza la verificación con respecto a las especificaciones del fabricante.

2.5 Incertidumbre

Ventana en donde se realiza el análisis de la incertidumbre asociada al factor de calibración según la relación:

$$\left(\frac{u(N)}{N}\right)^2 = \left(\frac{u(H)}{H}\right)^2 + \left(\frac{u(k_t)}{k_t}\right)^2 + \left(\frac{\sqrt{u^2(M_r) + u^2(M_e) + u^2(M_0)}}{M_1 - M_0}\right)^2 + \left(\frac{u(k_{pr})}{k_{pr}}\right)^2 + \left(\frac{u(k_T)}{k_T}\right)^2 + \left(\frac{u(k_d)}{k_d}\right)^2 \quad (2)$$

Donde:

- $u(H)/H$ incertidumbre de la magnitud medida con el estándar secundario
- $u(M_r)$ incertidumbre por resolución de lectura
- $u(M_e)$ incertidumbre por repetibilidad de las lecturas en presencia del campo de radiación
- $u(M_0)$ incertidumbre por repetibilidad de las lecturas en ausencia del campo de radiación
- $u(k_t)/k_t$ incertidumbre por decaimiento radiactivo
- $u(k_{pr})/k_{pr}$ incertidumbre de la corrección por variación de la presión
- $u(k_T)/k_T$ incertidumbre de la corrección por variación de la temperatura

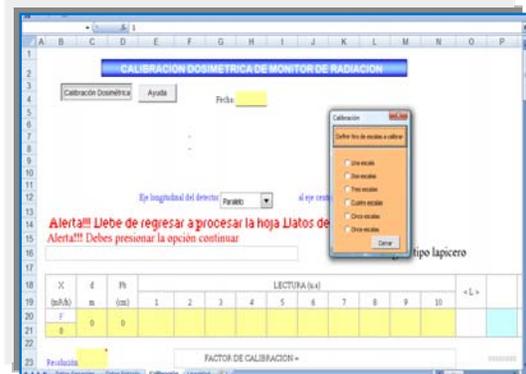


Figura 2. Ventana “Calibración”, en donde se registra los valores de la calibración propiamente, de acuerdo con el número de escalas a calibrar las celdas se desprotegen y se ponen en modo usuario.

2.6 Gráfico linealidad

Ventana para el análisis de la linealidad de la respuesta de las lecturas mediante una gráfica.

2.7 Imagen

Ventana con un aplicativo para insertar la imagen del monitor en calibración dosimétrica.

2.8 Resultados

Ventana donde se visualiza el resultado del factor de calibración y su incertidumbre asociada. La información de esta ventana es la que se utiliza en la redacción del certificado de calibración. Si en las hojas anteriores se ha obviaron algún dato, en esta hoja no podemos visualizarla.

2.9 Etiqueta de calibración

El software tiene la opción para diseñar la etiqueta de acuerdo con el límite de aceptación [3] proporcionando un color para cada caso (Figura 3):

- $0,8 \leq N < 1,1$; N es $<10\%$, verde
- $1,1 \leq N < 1,2$; N es $<20\%$, amarilla
- $N > 1,2$; $N > 20\%$, roja

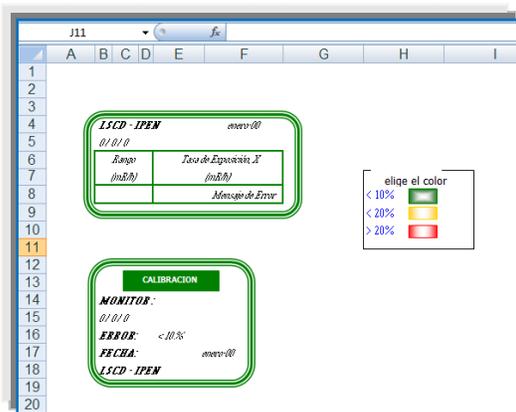


Figura 3. Ventana “Etiqueta”, de acuerdo con el valor de calibración y el límite de aceptación, se puede variar el color de la etiqueta con las herramientas que aparecen al lado; asimismo, el programa ofrece una variedad de etiquetas según las escalas, número de detectores y modo de calibración.

Esta etiqueta se coloca en el monitor de radiación para indicar la fecha y el factor de calibración. Si empleamos el color rojo significa que el monitor de radiación presenta dificultades en su funcionamiento y se debe tener cuidado al momento de

utilizarlo.

2.10 Etiqueta de salida

Es la ventana final en donde el programa diseña la etiqueta que debe ir adosada al embalaje, indicando todos los datos de identificación del monitor de radiación.

3. Resultados y Discusión

3.1 Validación. El software de calibración ha sido validado tal como lo exige la norma ISO 17025 y actualmente se encuentra en uso

3.2 Seguridad de los datos. El software permite el trabajar en una ventana a la vez, y solo permite insertar valores en campos que el usuario lo solicita, antes de pasar a otra ventana, la primera se cierra y protege toda la información que ha sido colocada.

3.3 Acceso y redundancia. Para insertar los valores en los diferentes campos el software proporciona ventanas que se activan a solicitud del usuario, si se requiere corregir la información antes de pasar a otra ventana, se visualiza un mensaje de aceptación o cancelación, si se acepta la ventana queda protegida, si se cancela puede volverse a editar mediante un aplicativo de redundancia.

3.4 Seguridad de programación. El software cuenta con protección en tres niveles, Ventana de trabajo, libro y acceso al código de Visual Basic.

4. Conclusiones

El software desarrollado permite la manipulación ordenada y segura de los datos que son necesarios para calcular el factor de calibración y la incertidumbre asociada con la calibración de monitores de radiación, tal como se verifica en el informe de validación de la hoja de cálculo [4].

5. Bibliografía

- [1] ISO. Requisitos generales para la competencia de laboratorios de ensayo y calibración. ISO 17025, 1999.
- [2] IAEA. Calibration of radiation protection monitoring instruments. Safety Reports Series, N°16, January, 2000.
- [3] Procedimiento técnico “Calibración de Monitores de Radiación, LSCD-2010.
- [4] IPEN. Informe de validación de hoja de cálculo, LSCD-2011.

Sistema automático de posicionamiento de precisión para escaneo lineal y caracterización de haces de radiación

Oscar Baltuano^{1,*}, Enrique Rojas², Wilfredo Pumahuacre³

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

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

³ Área de Servicios Internos, Instituto Peruano de Energía Nuclear, Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

Resumen

Se ha construido un sistema de posicionamiento de precisión, que es utilizado para caracterizar haces de radiación mediante escaneo lineal de una cámara de ionización. El sistema mecánico ha sido implementado usando la estructura de una impresora de carro ancho acoplada a un motor de pasos unipolar. Se realizaron adaptaciones mecánicas y se construyó un módulo electrónico conteniendo el driver de corriente para operación del motor. Un micro controlador PIC18F2250 proporciona la secuencia para el funcionamiento del motor, realiza la lectura de los sensores de fin de carrera y permite la comunicación con una PC a través de un puerto USB, para realizar el control de todo el sistema. La precisión en el posicionamiento es de 0.22 mm y a longitud total de carrera es de 40 cm.

Abstract

It has built a precision positioning system used to characterize radiation beams by a linear scanning ionization chamber. The mechanical system has been implemented using the structure of a wide-carriage printer coupled to a unipolar stepper motor. Mechanical adaptations were made and an electronic module containing the current driver for the motor operation was built. A PIC18F2250 microcontroller provides the motor sequence operation; it makes the reading of the limit sensors and allows communication with a PC through a USB port for control of the system. The positioning accuracy is 0.22 mm and the total length is 40 cm.

1. Introducción

Para el uso de irradiadores gamma en el Laboratorio Secundario de Calibraciones Dosimétricas (LSCD) y equipos de rayos X de uso médico (diagnóstico y terapia) es preciso conocer un parámetro muy importante denominado "Perfil de haz de radiación" [1] en el cual se considera el tamaño del campo de radiación, la simetría y su homogeneidad. Esta caracterización geométrica se realiza a través de mediciones muy precisas en diferentes puntos a una distancia definida desde la salida del haz utilizando una cámara de ionización de volumen pequeño (de 0,3 a 0,6 cm³). Estas mediciones requieren que la cámara de ionización sea posicionada sobre una línea transversal al haz de irradiación y tomar medidas en intervalos del orden de décimas de milímetro. Aunque este posicionamiento puede realizarse de forma manual por un operador, generalmente se realizan en

ambientes cerrados y en condiciones ambientales, de temperatura y humedad, controladas por normas estrictas de radioprotección; por eso, un operador no puede estar dentro del ambiente donde se hacen estas mediciones. Esta última condición hace que el proceso manual de caracterización de los haces de radiación sea extremadamente tedioso y poco eficiente por cuanto cada ingreso del operador al ambiente de medición para reposicionar la cámara de ionización cambiará las condiciones controladas dentro del mismo, con pérdida de tiempo en alcanzar nuevamente las mismas condiciones. Si esta operación se repite en muchas oportunidades, como suele ser habitual, para disponer de la cantidad de datos suficientes para cubrir una distancia significativa, es evidente que la mayor parte del tiempo es invertido en volver a tener las condiciones adecuadas para la medición.

* Correspondencia autor: obaltuano@ipen.gob.pe

Con la finalidad de facilitar y optimizar el trabajo, anteriormente descrito, se ha desarrollado un sistema de arrastre lineal que permite posicionar una cámara de ionización con una precisión de 0.22 mm, operación que puede realizarse a distancia mediante una PC conectada a una unidad de control a través de un puerto USB.

2. Experimental

2.1 Sistema mecánico de arrastre y posicionamiento

Un sistema de movimiento del cabezal de impresora matricial, comúnmente llamado “carro de impresora” se ha modificado para ser utilizado como sistema mecánico de arrastre (Figura 1) para el posicionamiento de una cámara de ionización. Los componentes de impresoras matriciales son mecánicamente muy precisos lo permite posicionar el cabezal con mucha exactitud. Este sistema posee una “nuez” montada sobre una guía de acero inoxidable acoplada a una faja dentada, que es movida por una rueda dentada unida al eje de un motor de pasos unipolar.

Se retiró todas las estructuras mecánicas que no eran de utilidad y se construyó una carcasa de metal para contener el sistema de movimiento.

La longitud total que puede desplazarse el carro, desde el punto central, es aproximadamente 20 cm a cada lado. Dos pulsadores instalados a cada extremo del sistema de arrastre son utilizados como sensores de fin de carrera. Uno de ellos es utilizado como referencia para la calibración y posicionamiento del carro sobre el punto central.

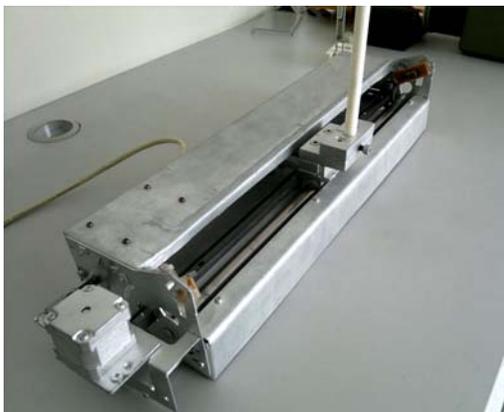


Figura 1. Sistema de arrastre adaptado de una impresora matricial de carro ancho.

2.2 Hardware de control

El control de movimiento y posicionamiento de la nuez es realizado por un micro controlador [2] PIC18F2550, que posee comunicación USB y que realiza el movimiento del motor a paso completo. En esta configuración el movimiento de la nuez puede realizarse con intervalos de 0.22 mm y el consumo de corriente de cada fase es de 150 mA. Una fuente de alimentación externa proporciona la energía eléctrica para el movimiento del motor y un regulador LM317 (U1) es ajustado para controlar y limitar el consumo de corriente.

Se ha construido un circuito de drivers con 4 transistores BC548 que proporcionan la corriente necesaria a cada una de las 4 bobinas del motor unipolar.

Todos los componentes electrónicos de hardware (Figura 2) han sido instalados en una tarjeta electrónica, que ha sido montada dentro de un gabinete de aluminio que contiene el conector USB para comunicación con la PC, un conector para control del motor y medición de los sensores de fin de carrera y el conector para la alimentación externa del motor (Figura 6).

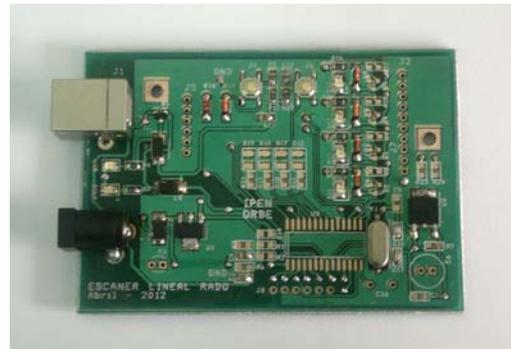


Figura 2. Tarjeta electrónica de control y gabinete para su montaje.

2.3 Firmware

El firmware dentro del micro controlador ha sido escrito en C utilizando el compilador Microchip C18 versión 3.40 y el entorno MPLAB IDE versión 8.40. Ambas herramientas son de uso libre en sus versiones limitadas.

El firmware controla el movimiento del motor en configuración de paso completo, lo cual permite una precisión de 0.22 mm en el posicionamiento del carro. Uno de los

sensores de fin de carrera es utilizado como posición absoluta para calibrar, de ser necesario, la posición central del carro se ubica a 980 pasos del sensor. Esta posición coincide con la posición central de todo el mecanismo de arrastre.

La comunicación con la PC se realiza mediante el puerto USB que posee el micro controlador PIC18F2550, el cual ha sido configurado para operar bajo la clase CDC que emula un puerto serial [3], lo cual facilita la programación del software de control. Microchip proporciona las herramientas de desarrollo y el stack correspondiente en forma de una librería de libre distribución [4].

2.4 Software

El control de todo el sistema se realiza desde la PC a través de un programa escrito en Fortran 95, el cual permite realizar todas las operaciones básicas sobre el sistema mecánico, como el movimiento relativo o absoluto del carro y la calibración o posicionamiento en el punto central del mismo (Figura 3). Para la comunicación serial se utilizó la librería SciComm de MicroGlyph [5] que proporciona acceso a la API's de windows para el control del puerto serial.

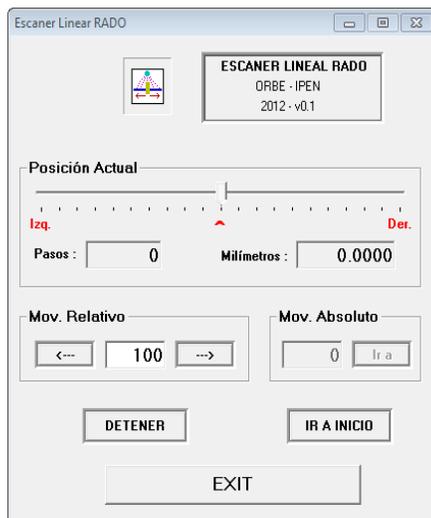


Figura 3. Programa de control para la PC.

3. Puesta en operación

El sistema desarrollado ha sido puesto a prueba para caracterizar geométricamente el haz de fotones gamma de un irradiador de Cs-137 en el Laboratorio Secundario de Calibraciones Dosimétricas de la Dirección

de Servicios del IPEN. Para ello, una cámara de ionización ha sido montada sobre la nuez del carro del sistema mecánico mediante una varilla de polietileno (Figura 4). La cámara ha sido posicionada en intervalos de 0.44 mm y ha permitido realizar la medición del perfil del haz de irradiación.

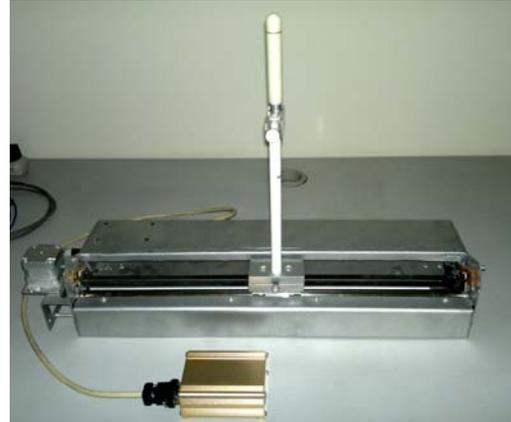


Figura 4. Sistema instalado frente a un irradiador de Cs-137 para caracterización del haz en el Laboratorio Secundario de Calibraciones Dosimétricas (LSCD) del IPEN.

4. Conclusiones

Con el uso del escáner se ha caracterizado el irradiador gamma tipo OB2, en las instalaciones del LSCD de IPEN y actualmente viene siendo utilizado de forma rutinaria para caracterizar haces de radiación. Algunas mejoras pueden aún ser realizadas, de ser necesario, como por ejemplo, el aumento de la precisión de posicionamiento hasta 0.11 mm mediante la operación del motor en modo de medio paso.

Asimismo, realizando unos cambios en el soporte de la cámara de ionización se provee el uso, de este sistema, en instalaciones de radioterapia, donde se utilizan unidades de radiación gamma y rayos X de alta energía.

5. Bibliografía

- [1] International Atomic Energy Agency. Aspectos físicos de la garantía de calidad en radioterapia: Protocolo de control de calidad IAEATEC-DOC-1151
- [2] Microchip, PIC18F2455/2550/4455/ 4550 Datasheet, Enhanced Flash, USB Microcontroller with nano Watt Technology, 2006.

[3] Microchip, Migrating Applications to USB from RS-232 UART with Minimal Impact on PC Software, AN956, 2004, USA
 [4] Microchip Inc., Microchip USB Device Firmware Framework User's Guide. USA. 2008.

[5] MicroGlyph Systems, SciComm Serial Communication Library Version 7.0 <http://www.microglyph.com/>

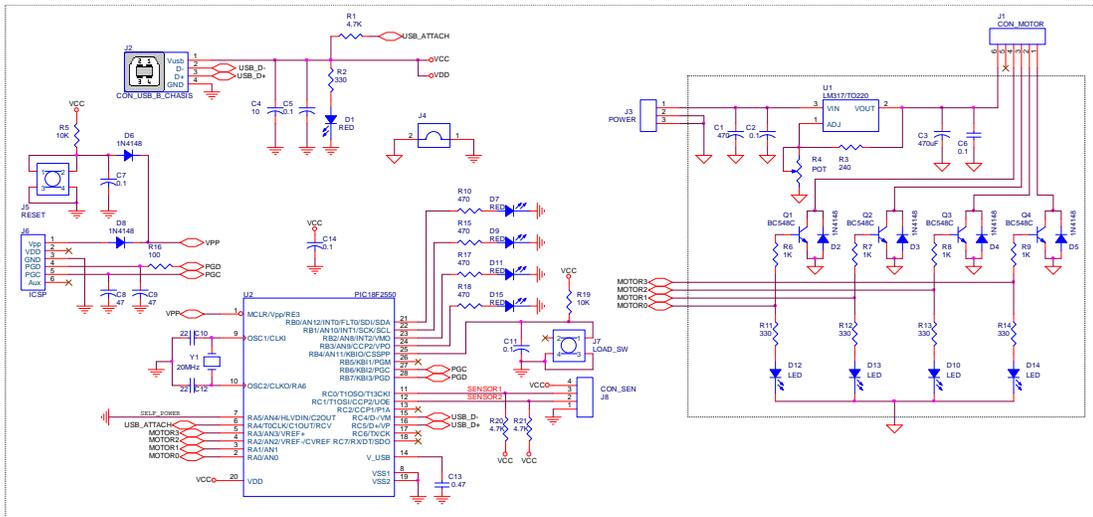


Figura 5. Diagrama esquemático del hardware que ha sido implementado para el control del sistema de posicionamiento. Se observa el microcontrolador PIC18F2550 con comunicación USB (a la izquierda) y el driver de corriente para el motor de pasos (a la derecha).

Incidentes operacionales del reactor RP-10 durante el año 2011 y su caracterización de acuerdo con la escala INES

Rolando Arrieta*, Mariano Vela

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

Resumen

En este reporte se presenta la evaluación de los sucesos ocurridos durante el año 2011, en el reactor nuclear RP-10 del Centro Nuclear de Huarangal, desde el punto de vista de la seguridad. Para clasificar estos eventos producidos se emplea la Escala Internacional de Sucesos Nucleares y Radiológicos (INES), a fin de facilitar una comprensión común entre la comunidad técnica, los medios de comunicación y el público en general. De los resultados obtenidos podemos afirmar que en el año 2011 todos los eventos referidos a la seguridad se clasifican como "debajo de la escala" o "sin significado para la seguridad".

Abstract

This report presents the evaluation of the events in 2011 in the RP-10 nuclear reactor of the Nuclear Center Huarangal from the point of view of safety. The Scale International Nuclear and Radiological Event Scale (INES) were used to classify these produced events, in order to facilitate a common understanding between the technical community, the media and the general public. From the results we can state that all related to security events that occurred in the "RP -10", in 2011 are classified as "below scale" or "no safety significance".

1. Introducción

En el reactor nuclear RP-10 [1] la seguridad ha sido, es y será evaluada en forma permanente [2]. Actualmente, la instalación se encuentra en su fase de explotación y por tanto es posible que se generen sucesos relacionados con su seguridad, los cuales tienen diversos grados de importancia.

En el RP-10 se realiza un amplio espectro de prácticas [3] que deben ser tratadas con criterios de seguridad [4-6], además de cumplir con regulaciones estrictas al respecto [7-9]. Sin embargo, no se puede descartar la ocurrencia de sucesos que pueden causar daño a las personas, medio ambiente o afectar las barreras y controles radiológicos o la defensa en profundidad [10].

Por su parte, en el año 1990 el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) y la Agencia para la Energía Nuclear de la OCDE (AEN/OCDE) han elaborado la Escala Internacional de Sucesos Nucleares y Radiológicos (INES), para la comunicación de los sucesos relacionados con la operación y funcionamiento de las instalaciones nucleares y los riesgos radiológicos asociados [11].

En este artículo se hace una clasificación de los sucesos ocurridos en el reactor RP-10

durante el año 2011, desde el punto de vista de la seguridad, utilizando la Escala INES [12], a fin de mostrar la importancia que tiene la comunicación abierta de los sucesos, para explicar claramente su trascendencia. Es necesario tener en cuenta que la escala no se aplica a todos los sucesos que se han producido en nuestras instalaciones, quedando al margen la seguridad física o los asociados con la seguridad industrial u otros sucesos que carezcan de importancia para la seguridad nuclear o radiológica (por ejemplo, peligro químico, caída o descarga eléctrica, etc.).

2. Materiales y métodos

Para este trabajo los materiales de estudio son los incidentes operacionales, que son registrados anualmente [13], los cuales son tratados según lo normado en la licencia de operación [14] y cuyo resumen presentamos en la Tabla 1.

Para la clasificación de los sucesos se hace uso del Manual del usuario de INES [12], enfocándonos en las secciones 5 y 6 que nos presentan las orientaciones para clasificación de sucesos basados sobre defensa en profundidad. Los sucesos relacionados con

* Correspondencia autor: rarieta@ipen.gob.pe

las personas y el medio ambiente y con efectos en las barreras y controles radiológicos no se aplican a nuestros casos, porque no se dieron durante el año de análisis. Por la misma razón tampoco se ha tenido en cuenta los incidentes en el transporte.

Tabla 1. Incidentes registrados en el RP-10 durante el año 2011.

| Nº | Fecha y hora | Incidente (descripción) | Estado del reactor |
|----|----------------|--|---------------------------|
| 1 | 06/01 12:15 | SCRAM por desprendimiento de la barra de seguridad 1 | Plena potencia (10 Mw) |
| 2 | 01/03 11:40 | SCRAM por corte de energía eléctrica externa | Plena potencia (20Kw) |
| 3 | 04/03 13:50 | SCRAM por corte de energía eléctrica externa | Plena potencia (20 Kw) |
| 4 | 05/04 12:53 | SCRAM por corte de energía eléctrica externa | Plena potencia (320 Kw) |
| 5 | 13/05 13:42 | SCRAM por mínimo nivel de cuentas en la etapa de arranque tras una baja de potencia. | En etapa de arranque |
| 6 | 31/07 11:02 | SCRAM por disparo por alto nivel sísmico | En etapa de marcha (10Mw) |
| 7 | 02/09 11:53 | SCRAM por alto salto de temperatura en el núcleo | En etapa de marcha (10Mw) |
| 8 | 02/10 09:18 | SCRAM por "alto nivel de tasa de dosis" en boca de tanque | En etapa de arranque |
| 9 | 18/10 10:25 | Se halla discordancia en el núcleo 36 en la permuta de dos elementos combustibles | Reactor detenido |
| 10 | 07/12 10:47 | SCRAM por falla en sistema de reposición (módulo) | Plena potencia (10Mw) |

En todos los sucesos se encontraron fallas a las que se tuvieron que aplicar medidas correctivas, a fin de continuar con la operación del reactor (Tabla 2). Esta es la forma como se comunica a la autoridad los incidentes sin consecuencias radiológicas.

Tabla 2. Medidas correctivas adoptadas para los incidentes durante el año 2011.

| Nº | Falla encontrada | Medidas correctivas |
|----|---|---|
| 1 | Alteración de componentes: módulo energización electroimanes - disminuye corriente de energización de BS1 | - Cambio de módulo respectivo y posterior reparación del fallado - Continúa operación |
| 2 | Falla del sistema de alimentación eléctrica. (Caída de la línea de transmisión al Centro Nuclear) | Se da por concluida la operación para continuar al día siguiente |
| 3 | Falla del sistema de alimentación eléctrica. (Nueva caída de la línea de transmisión al Centro Nuclear) | Se da por concluida la operación para continuar al día siguiente |
| 4 | Falla del sistema de alimentación eléctrica al Centro Nuclear. (Falla recurrente) | Se da por concluida la operación para continuar al día siguiente. |
| 5 | No bajar cámaras de arranque para un movimiento en el núcleo por pedido extemporáneo de blancos | - Revisión de procedimientos para bajar potencia. - Continúa operación |
| 6 | Sismo suficiente para accionar sistema de seguridad | - Reponer disparos - Continúa operación |
| 7 | Mala fijación de los disparos en los módulos convencionales | - Revisión de procedimiento y valores de los disparos - Continúa operación |
| 8 | Mala calibración de monitores de área - realizada mediante servicio externo | -Cambio de monitores de boca de tanque y su módulo - Continúa operación |
| 9 | No se realizó todos los movimientos al configurar el núcleo 32 y se arrastró la misma hasta la el núcleo 36 | Se rectifica la discordancia, se realizan experiencias nuevas y se notifica a OTAN |
| 10 | Al reponer una sola cadena, no debía producirse SCRAM, como sucedió ese día | - Pedir a mantenimiento que se respete el procedimiento de intervención - Continúa operación |

2.1. Clasificación de los sucesos

Para los sucesos de la tabla 1 ampliaremos la descripción que son complementadas con la tabla 2: con fallas encontradas y medidas correctoras.

SUCESO 1: Disparo del reactor tras la caída de la barra de seguridad N° 1 (BS1).

a) Descripción del suceso

El RP-10 estaba funcionando a 10 MW, en control automático, cuando la BS1 se

desprendió de su acople y cayó por gravedad, inhabilitando el control automático (al no tener tres barras de seguridad en el límite superior) y no pudo ser controlado manualmente al no estar habilitada la lógica de secuencia de movimiento [15], produciéndose un SCRAM total.

La señal involucrada sirve para tener protección ante un evento inusual en la etapa de arranque, pero en este caso actuó como evento iniciante previsto en el diseño del reactor.

b) Clasificación

1) Consecuencias reales. No hubo en el suceso.

2) Frecuencia del iniciador. La caída accidental de las barras de seguridad no demanda una actuación de las funciones de seguridad, y por tanto, no es un iniciador. Por el contrario, el disparo del reactor es un iniciador (categoría de frecuencia – prevista).

3) Operatividad de función de seguridad. La función de seguridad relativa al “control de reactividad” era plena.

4) Clasificación básica. Hubo un iniciador real. Según la Escala INES [12]- sección 5.1.3, la celda A(1) del cuadro 9 es adecuada y la clasificación básica que otorga es “Debajo de la escala / Nivel 0”.

5) Factores adicionales. Sin motivos para aumentar la clasificación.

6) Clasificación final. Debajo de la escala / Nivel 0.

SUCESO 2 (También aplicable a los Sucesos 3 y 4): Pérdida de caudal de refrigeración en el reactor RP-10.

a) Descripción del suceso

El suceso se produjo por corte de energía eléctrica externa, al interrumpirse el suministro por problemas en el sistema de transmisión eléctrico. Es necesario destacar que el RP-10 tiene una gran piscina de almacenamiento de agua del sistema primario [16]. En caso de pérdida de refrigeración, cualquier calentamiento del agua será extremadamente lento.

b) Clasificación

1) Consecuencias reales. No hubo en el suceso.

2) Consecuencias potenciales máximas: Se debe considerar dos funciones de seguridad; en

primer lugar la refrigeración del combustible, y en segundo lugar el blindaje para evitar dosis elevadas a los trabajadores. Para ambas funciones de seguridad, por el inventario del RP-10, las consecuencias potenciales máximas no pueden rebasar el nivel 4, por lo que el máximo nivel en función de la defensa en profundidad es el nivel 2.

3) Determinación del número de barreras de seguridad. Teniendo en cuenta la función de refrigeración, según el diseño las barreras de seguridad son el sistema de intercambio de calor y el gran volumen de agua en el tanque del reactor y la pileta auxiliar piscina, haciéndose evidente que la barrera de seguridad principal es el gran volumen de agua que es considerado una barrera de seguridad de gran integridad por:

El aporte de calor es pequeño para el volumen de agua, de manera que cualquier aumento de temperatura será extremadamente lento.

Cualquier reducción del nivel de agua es rápidamente detectada y ese nivel podría reponerse de forma sencilla.

4) Evaluación de la clasificación básica. Según la Escala INES [12], punto 1) de la sección 6.2.3.1, la clasificación que corresponde es: Debajo de la escala / Nivel 0.

5) Factores adicionales. Sin motivos para aumentar la clasificación.

6) Clasificación global: Debajo de la escala, Nivel 0.

SUCESO 5: Disparo del reactor por mínimo nivel de cuentas en la etapa de arranque tras una baja de potencia.

a) Descripción del suceso

Durante el movimiento de las barras para bajar de potencia (luego de operar a 10 MW) y con el fin de poder realizar carga de muestras en posición central: El reactor pasó a la etapa de arranque y se produjo SCRAM debido a una señal de “bajo nivel de cuentas en los canales de arranque” porque no se bajaron las cámaras de fisión para mejorar el nivel de cuentas [15].

b) Clasificación

1) Consecuencias reales. No hubo en el suceso.

2) Frecuencia del iniciador. La señal de bajo nivel de cuentas < 5 es para proteger contra el fallo de instrumentos, pero en este caso actuó

como protección contra fallos de procedimientos. Por eso, se tiene un iniciador real de categoría de frecuencia prevista.

3) Operatividad de función de seguridad relativa al “control de reactividad” era plena.

4) Clasificación básica. Al igual que Suceso 1 la clasificación básica corresponde a: Debajo de la escala, Nivel 0.

5) Factores adicionales. Sin motivos para aumentar la clasificación.

6) Clasificación final. Debajo de la escala, Nivel 0.

SUCESO 6: SCRAM por un sismo de magnitud mayor a 6 en la escala de Mercalli modificada (MM).a) Descripción del suceso.

Durante una operación en modo automático, a una potencia de 10 MW, se sintió un fuerte sismo que fue reportado con una de magnitud 8 MM en su epicentro, activando la lógica de seguridad y se produjo SCRAM debido a la señal sísmica [17] correspondiente a “nivel alto de sismo”.

b) Clasificación

1) Consecuencias reales. No hubo en el suceso.

2) Frecuencia del iniciador. Se produjo un iniciador real, un sismo de gran magnitud. La frecuencia de este iniciador está prevista.

2) Operatividad de función de seguridad. La función de seguridad relativa al “control de reactividad” era plena.

3) Clasificación básica. Al igual que en los sucesos 1 y 5, la clasificación básica: estuvo por Debajo de la escala, Nivel 0.

4) Factores adicionales. Sin motivos para aumentar la clasificación.

5) Clasificación final. Debajo de la escala, Nivel 0.

SUCESO 7: SCRAM por aparente alto salto de temperatura en el núcleo.

a) Descripción del suceso

Durante una operación a la potencia nominal (10 MW) se produjo el disparo de las señales de alto salto de temperatura produciéndose un SCRAM, a pesar de no haber superado el nivel fijado en los límites y condiciones operacionales [17] para el salto de temperatura (7 °C) por un error en el en la fijación de parámetros de los comparadores respectivos que se fijaron en 5 °C [18].

b) Clasificación

1) Consecuencias reales. No hubo en el suceso.

2) Frecuencia del iniciador. Se produjo un iniciador real, los sismos de gran magnitud. La frecuencia de este iniciador está prevista.

3) Operatividad de función de seguridad. La función de seguridad relativa a la “refrigeración del núcleo” era plena.

4) Clasificación básica. Al igual que sucesos 1, 5 y 6 la clasificación básica estuvo por Debajo de la escala, Nivel 0.

5) Factores adicionales. Sin motivos para aumentar la clasificación.

6) Clasificación final. Debajo de la escala, Nivel 0.

SUCESO 8: SCRAM por aparente “alto nivel de tasa de dosis” en boca de tanque.

a) Descripción del suceso

El reactor RP-10 estaba en la etapa de arranque, evolucionando para pasar a marcha, cuando se produjo el disparo de las señales de “alto nivel de tasa de dosis en boca de tanque” [17] produciéndose un SCRAM. En esta caso si bien la acción de seguridad fue la correcta, el error se debió a una incorrecta calibración de los tres monitores de área utilizados en boca de tanque, produciendo una falla de causa común al manipular una estación patrón e introducir errores que llegaron a aumentar las lecturas hasta por un orden de magnitud.

b) Clasificación

1) Consecuencias reales. No hubo en el suceso.

2) Frecuencia del iniciador. Se produjo un iniciador real, aunque fue sobredimensionado por un error de calibración. La frecuencia de este iniciador está prevista.

3) Operatividad de función de seguridad. La relativa a “confinamiento de material radiactivo” era plena.

4) Clasificación básica. Al igual que los sucesos 1, 5, 6 y 7, la clasificación básica que corresponde es: Debajo de la escala, Nivel 0.

5) Factores adicionales. Sin motivos para aumentar la clasificación.

6) Clasificación final. Debajo de la escala, Nivel 0.

SUCESO 9: Hallazgo de discordancia en el Núcleo 36. El elemento combustible con código NN011 es hallado en lugar del elemento combustible con código NN032.

a) Descripción del suceso

En una inspección rutinaria de salvaguardias se encontró una discordancia entre lo informado a la Autoridad Regulatoria y el núcleo que estaba configurado [18]. Este error se produjo durante el armado de la configuración N° 33, donde no se realizaron todos los movimientos planteados, faltando una permuta entre las tres posiciones para optimizar el quemado. Este error fue arrastrado en los núcleos 34, 35 y 36 donde fue detectado. Luego se reconfiguró el núcleo, realizaron pruebas de rutina y se informó a Autoridad Regulatoria para continuar con las operaciones.

b) Clasificación

- 1) Consecuencias reales. No hubo en el suceso.
- 2) Frecuencia del iniciador. No hubo. Los sistemas de seguridad no fueron requeridos.
- 3) Operatividad de la función de seguridad. Las tres funciones de seguridad básicas (Control de reactividad, refrigeración del combustible y confinamiento de material radiactivo) no fueron afectadas.
- 4) Clasificación básica. No hubo iniciador real. Según la sección 5.1.4, la celda A(3) del cuadro 10 es adecuada y da una clasificación básica que corresponde a: Debajo de la escala, Nivel 0.
- 5). Factores adicionales. Sin motivos para aumentar la clasificación.
- 6) Clasificación final. Debajo de la escala, Nivel 0.

SUCESO 10: SCRAM por falla en el sistema de reposición (módulo) o falla de equipo.

a) Descripción del suceso

Al inicio de una operación, al notar un disparo de la lógica de SCRAM y al apretar el botón de reposición se produce un SCRAM total por falla del equipo, al ser esta una acción permitida en cualquier circunstancia.

b) Clasificación

- 1) Consecuencias reales. No hubo en el suceso.
- 2) Frecuencia del iniciador. Si bien el fallo de un equipo es un iniciador, por la forma como se produjo el evento, no se tiene un iniciador real.
- 3) Operatividad de función de seguridad. Las tres funciones de seguridad básicas (Control

de reactividad, refrigeración del combustible y confinamiento de material radiactivo) no fueron afectadas.

4) Clasificación básica. No hubo iniciador real. Al igual que en el caso 9 se da una clasificación básica: Debajo de la escala, Nivel 0.

5) Factores adicionales. Sin motivos para aumentar la clasificación.

6) Clasificación final. Debajo de la escala, Nivel 0.

3. Resultados y Discusión

De la descripción de cada uno de los 10 casos analizados, se infiere que en ninguno de ellos hubo consecuencias reales que afecten a las personas o al medio ambiente. Para considerar sucesos que hayan podido impactar en las barreras y los controles radiológicos, se evaluó las consecuencias potenciales con los criterios de la defensa en profundidad. En los casos 2, 3 y 4 se utilizaron enfoques de consecuencia máxima posible y de número de barreras de seguridad vulneradas. En el resto de casos el enfoque fue desde las perspectivas del suceso iniciador y de la degradación de los elementos de seguridad, ambas válidas para nuestro caso por tener información aplicable.

Al margen de los resultados, los alcances de este trabajo son un inicio para implantar un sistema de información coherente con la práctica internacional y servirá de mucho cuando tenga que informarse sucesos de mayor impacto o ser una guía para otras instalaciones que utilizan la Escala INES.

4. Conclusiones

Los resultados de los 10 sucesos relacionados con la seguridad del reactor RP-10 corresponden a una clasificación: Nivel 0 que significa como “debajo de la escala” o “sin significado para la seguridad”, debido a que, en ningún caso se rebasaron los límites ni las condiciones operacionales, por el correcto funcionamiento de los sistemas de seguridad o fueron resueltos de acuerdo con procedimientos apropiados.

5. Agradecimientos

Al personal de operación del reactor RP-10.

6. Referencias

- [1] Instituto Peruano de Energía Nuclear. Informe de Seguridad del reactor RP-10. Capítulo I: Introducción y descripción general. Dirección de Producción. Lima: IPEN; Agosto 1992. [Informe interno].
- [2] Organismo Internacional de Energía Atómica. Seguridad de las instalaciones nucleares. Colección de Normas de Seguridad 110. Viena: OIEA; 1993.
- [3] Instituto Peruano de Energía Nuclear. Informe de Seguridad del reactor RP-10. Capítulo V: El reactor. Dirección de Producción. Lima: IPEN; Agosto 1992. [Informe interno].
- [4] Organismo Internacional de Energía Atómica. Infraestructura legal y estatal para la seguridad nuclear, radiológica, de los desechos radiactivos y del transporte. Colección de Normas de Seguridad GS-R-1. Viena: OIEA; 2004.
- [5] International Atomic Energy Agency. Documentation for use in regulating nuclear facilities. Safety Standards Series GS-G-1.4. , Vienna: IAEA; 2002.
- [6] 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.
- [7] 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
- [8] Instituto Peruano de Energía Nuclear. Reglamento de Protección Física de Instalaciones y Materiales Nucleares. D. S. N° 014-2002-EM. Lima, abril 2002.
- [9] 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.
- [10] Organismo Internacional de Energía Atómica. La defensa en profundidad en seguridad nuclear. INSAG-10 Informe del Grupo Internacional Asesor en Seguridad Nuclear. Viena: OIEA; 1997.
- [11] Organismo Internacional de Energía Atómica. La Escala Internacional de Sucesos Nucleares (INES). Manual del usuario. Edición 2001. Viena: OIEA; 2001.
- [12] Organismo Internacional de Energía Atómica. La Escala Internacional de Sucesos Nucleares (INES). Manual del usuario. Edición 2008. Viena: OIEA; Viena; 2010.
- [13] Instituto Peruano de Energía Nuclear. Cuaderno de incidentes operacionales del RP-10. Departamento de Operación. Lima: IPEN; 2011. [Informe interno].
- [14] Instituto Peruano de Energía Nuclear, Oficina Técnica de la Autoridad Nacional. Licencia de operación del reactor nuclear RP-10. Julio, 2009.
- [15] Instituto Peruano de Energía Nuclear. Informe de Seguridad del reactor RP-10. Capítulo VIII: Instrumentación y control. Dirección de Producción. Lima: IPEN; Agosto 1992. [Informe interno].
- [16] Instituto Peruano de Energía Nuclear. Informe de Seguridad del reactor RP-10. Capítulo VI: Sistema de refrigeración y sistemas conexos Dirección de Producción. Lima: IPEN; Agosto 1992. [Informe interno].
- [17] Instituto Peruano de Energía Nuclear. Informe de Seguridad del reactor RP-10. Capítulo XVII: Límites y condiciones operacionales. Dirección de Producción. Lima: IPEN; Agosto 1992. [Informe interno].
- [18] Instituto Peruano de Energía Nuclear. Oficina Técnica de la Autoridad Nacional. Memorandum N° 399-11-OTAN. Lima, 20 octubre del 2011. [Comunicación interna].

Modernización del sistema de contaje beta del equipo LAS-3A

Oscar Baltuano^{1,*}, Ricardo Ruíz², José Osos², Yuri Hernández¹

¹ Dirección de Investigación y Desarrollo, 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

Resumen

Se describe la modernización de una parte de la electrónica asociada al sistema de contaje beta total del equipo LAS-3A. Por su antigüedad, este sistema presentaba múltiples fallas y dificultad para obtener repuestos. Un contador/temporizador (escalímetro) basado en un microcontrolador PIC18F2320 y nuevas etapas de amplificación y acondicionamiento analógico de las señales provenientes de los detectores han reemplazado a los circuitos electrónicos originales del equipo. Previamente, ha sido necesario desmontar los detectores y estudiar la operación de los preamplificadores. Esta fase ha sido necesaria para tener en cuenta las características de operación y considerarlas en el diseño de los circuitos de tratamiento analógico.

Abstract

Describes the upgrading of associated electronic of total beta counting system LAS-3A. For its age, this system had multiple failures and difficulty for spare parts. A counter/timer (scaler) based on a PIC18F2320 microcontroller and new stages of amplification and analog processing signals from detector have replaced the original electronics systems. Previously, has been necessary to remove the detectors to analyze the preamplifiers operation. This has been necessary to take in account operating characteristics and consider in the design of analog processing circuits.

1. Introducción

Un sistema de contaje beta total permite detectar la cantidad total de partículas beta generadas por decaimiento radioactivo y que son emitidas por una muestra ambiental. Considerando que todos los radionúclidos de importancia ambiental, a excepción de los, elementos transuránicos, son emisores beta, una forma rápida de identificar una contaminación radiactiva es a través del monitoreo de los índices beta total. Por otro lado, a partir de esta medición es posible determinar ciertas características de la composición isotópica de los elementos en la muestra estudiada.

El Laboratorio de Radiometría Ambiental de la Dirección de Servicios del IPEN posee un equipo para realizar este tipo de mediciones, denominado Sistema de Contaje de Baja Actividad LAS-3A, el cual ha sido fabricado en la década de los años sesenta; debido a su antigüedad, la tasa de fallas se ha venido incrementando en los últimos años y la obtención de repuestos era cada vez más difícil.

El sistema consta de un cabezal de detección que contiene 2 detectores de centelleo plástico acoplados a los tubos fotomulti-

plicadores y preamplificadores, todo ello montado dentro de un blindaje de plomo. El cabezal de detección se encuentra acoplado a un módulo de control electrónico que contiene las tarjetas electrónicas que proporcionan la alta tensión requerida por los tubos fotomultiplicadores, amplificadores y circuitos de acondicionamiento para las señales de los detectores, y un contador/temporizador (escalímetro) el cual es configurable a través de los botones del panel frontal (Figura 1).



Figura 1. Primer plano del panel frontal del módulo de control electrónico.

Luego de la evaluación de operación de todo el sistema y teniendo en cuenta la limitada información técnica del mismo se optó por

* Correspondencia autor: obaltuano@ipen.gob.pe

mantener intacto el cabezal de detección (Figura 2) y rediseñar los amplificadores, conformadores y el contador/temporizador para reemplazarlos por dispositivos electrónicos más modernos y flexibles.



Figura 2. Primer plano cabezal de detección conteniendo los dos detectores de centelleo plástico acoplados a tubos fotomultiplicadores y preamplificadores.

2. Experimental

2.1 Análisis y mantenimiento de cabezal de detección

Se procedió con el desmontaje de todo el cabezal de detección con la finalidad de verificar la integridad de los detectores y determinar su correcta operación en forma independiente. Se observó que en ambos detectores, el protector metálico reflectivo que recubre el plástico centellador se encontraba rasgado, razón por la cual, cualquier ingreso de luz al interior del cabezal podía generar señales de ruido a la salida de los detectores (Figura 3). Se realizó el cambio de este material reflector, utilizando papel de aluminio de uso cotidiano en aplicaciones de laboratorio.

Durante el desmontaje de los tubos fotomultiplicadores se observó, que acoplados a los mismos, se encontraban los preamplificadores que utilizaban un cable de -12 V para la alimentación, no existiendo otro cable para la señal de pulsos del detector. Esta configuración prácticamente inexistente en los sistemas modernos, implica que la

señal de pulsos entregada por el detector, viaja en forma de una caída de tensión sobre el cable de alimentación del preamplificador. Este hallazgo origina la necesidad de colocar una resistencia en serie con la alimentación de -12 V para generar la caída de tensión que será desacoplada en el amplificador. Dicha configuración utiliza un cable menos en la conexión del preamplificador, pero eleva la impedancia de salida del mismo con el consecuente incremento del nivel de ruido de la señal. La configuración anterior se vio confirmada luego de levantar el diagrama esquemático del preamplificador (Figura 4) y realizar las pruebas de funcionamiento en programas de simulación por computadora.



Figura 3. Recubrimiento metálico reflectivo dañado sobre el plástico centellador de uno de los detectores del cabezal de detección.

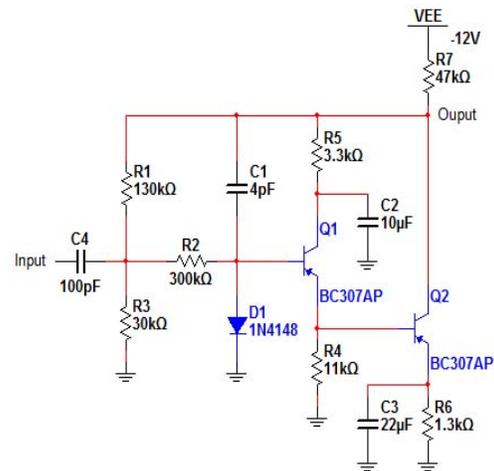


Figura 4. Diagrama esquemático de los preamplificadores acoplados al ánodo de cada fotomultiplicador. (La resistencia R7 de 47K se encuentra montada en el amplificador y es a través de la cual se produce la caída de tensión proporcional al pulso generador por el detector).

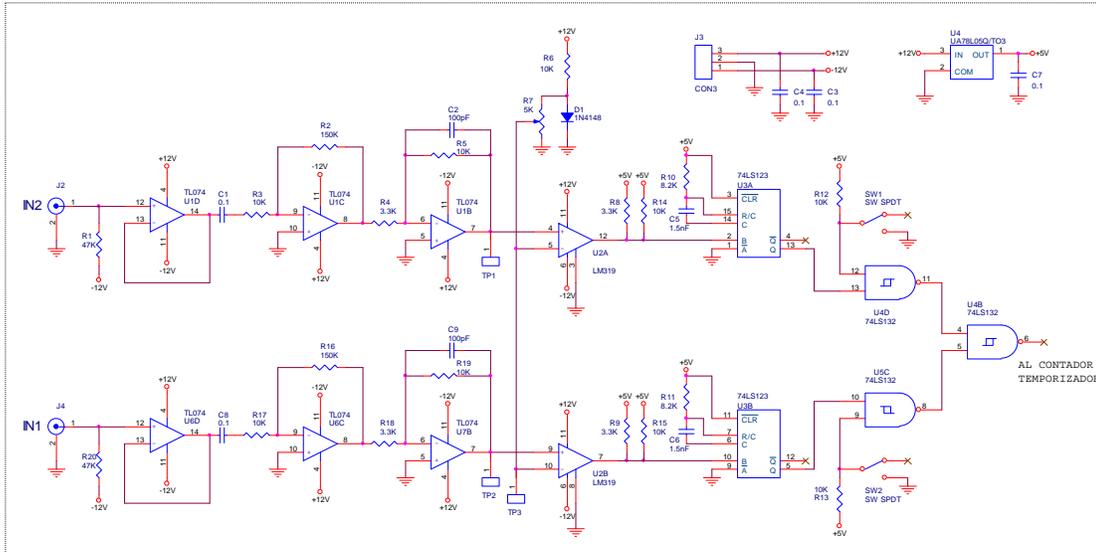


Figura 5. Diagrama esquemático de los amplificadores/conformadores y las compuertas selectoras de los pulsos provenientes de ambos detectores.

2.2 Rediseño de los circuitos de amplificación y acondicionamiento de señal

Los pulsos entregados por los preamplificadores son pulsos positivos cuasi exponenciales, pero montados sobre la línea de alimentación de -12V. Experimentalmente se determinó que la constante de tiempo de estos pulsos está en el orden de $6 \mu\text{s}$ y la amplitud de los mismos en el rango de algunos mV, cuando el voltaje del tubo fotomultiplicador es 800 V. Para acondicionar las señales provenientes de los dos detectores, se diseñaron dos circuitos electrónicos idénticos, uno para cada detector. El diagrama esquemático de los circuitos se muestra en la Figura 5. En ella puede observarse la resistencia (R1 y R20) que producen la caída de tensión de los pulsos provenientes de los detectores. Ambas señales son pasadas a través de seguidores de tensión TL074 (U1D y U6D) para luego ser acopladas en AC (C1 y C8) y eliminar el nivel de continua de -12 V antes de ser amplificadas mediante OPAMPs, en configuración de inversores con ganancia 15 (U1C, U6C). Como etapa final del tratamiento analógico, las señales de ambos detectores son pasadas por un filtro pasa bajo de un polo con ganancia 3 y constante de tiempo de $1 \mu\text{s}$. Con esta consideración, los pulsos obtenidos tendrán forma semi gaussiana y pueden ser fácilmente comparados con un voltaje de referencia para

convertirlos en pulsos digitales con forma rectangular mediante los comparadores del CI LM319 y cuyo voltaje umbral puede ajustarse dependiendo de las condiciones requeridas. Con el objeto de conformar mejor los pulsos rectangulares y reducir el tiempo muerto por apilamiento son pasados por dispositivos monoestables no redisparables 74LS123 (U3). Finalmente, ambas señales pueden ingresar individualmente o sumadas al contador/temporizados a través de la compuerta NAND U4B.

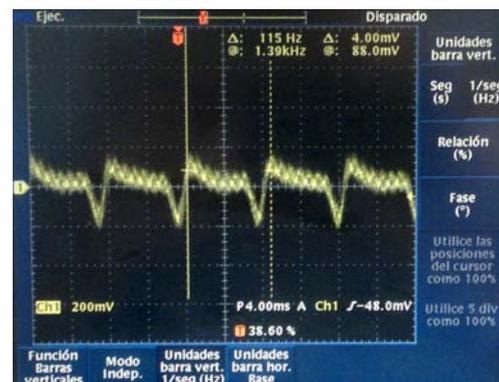


Figura 6. Captura de pantalla de osciloscopio donde se observa el nivel de ruido introducido en los circuitos analógicos por el funcionamiento de las fuentes de alta tensión.

Cabe resaltar que las fuentes de alta tensión para ambos detectores no sufrieron modificaciones y las mismas generan, sobre los circuitos analógicos, un nivel de ruido total que oscila entre los 50 mV y 200 mV dependiendo del blindaje y de la posición donde se realice la medición. Por esta razón,

y para evitar contar pulsos considerados como ruido, el nivel del discriminador en los

comparadores ha sido fijado en 250 mV.

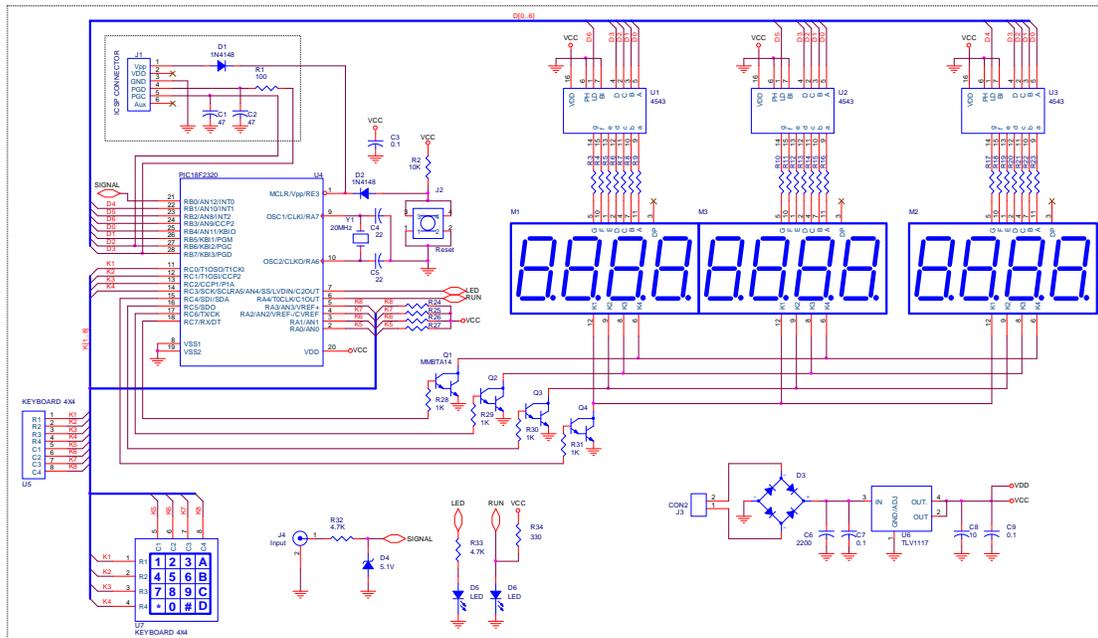


Figura 7. Diagrama esquemático del contador/temporizador digital que ha sido construido.

2.3 Diseño del contador/temporizador (escalímetro)

De acuerdo con los requerimientos del usuario se diseñó y construyó un escalímetro basado en un microcontrolador PIC18F2320, el cual es capaz de controlar un display de 8 dígitos y que permite realizar contajes desde 0 a 99'999,999 (Figura 7). La temporización se realiza en minutos y se visualiza en un display de 4 dígitos, lo que permite tiempos de contaje de hasta 9,999 minutos. La temporización tiene un error total de 0.02 % lo cual no representa un problema para las aplicaciones en las cuales se usará el equipo. Se utiliza una interrupción de hardware para realizar el contaje de pulsos y debido a la alta velocidad de respuesta del microcontrolador, el retardo asociado es de 0.2 μ s, lo que en términos prácticos no representa un periodo de latencia significativo. Se ha incluido un teclado matricial de 4 x 4 teclas para realizar el prefijado del tiempo de contaje deseado, además de proporcionar las funciones básicas para la operación de equipo. El firmware del microcontrolador ha sido escrito en lenguaje C++ usando el compilador MPLAB XC8 v1.12 sobre el entorno de desarrollo MPLAB

X IDE v1.51, programas que son de libre disponibilidad en sus versiones limitadas.

3. Integración y puesta en operación

Se ha mantenido la carcasa original del equipo, pero ha sido necesario retirar la tapa frontal de aluminio y reemplazarla por otra nueva para alojar los controles (Figura 9). Se decidió mantener intactas las tarjetas que proporcionan la alta tensión para ambos detectores, retirándose todas las demás tarjetas electrónicas. La tarjeta que contiene el contador/temporizador se ha montado directamente sobre el panel frontal junto con el teclado matricial y los botones complementarios. Las etapas de tratamiento analógico y demás (Figura 5) se han montado sobre una tarjeta de prototipos y se ha instalado dentro del gabinete del equipo. Ha sido necesario adicionar algo de blindaje para evitar las interferencias electromagnéticas asociadas a la operación de las fuentes de alta tensión (Figura 6). Los voltajes para la operación de las etapas analógicas y el contador/temporizador son proporcionados por la tarjeta de baja tensión original del equipo. Los ensayos experimentales realizados para la determinación de la eficiencia instrumental utilizando fuentes de

Sr-90 presentaron un valor promedio de 11.42 %, muy cercano a la eficiencia instrumental de 11.10 % que presentaba el equipo en el año 2011, antes de su

modernización; igualmente, el fondo instrumental no ha variado, manteniendo en valor promedio de 6.8 ± 0.2 cuentas por minuto.

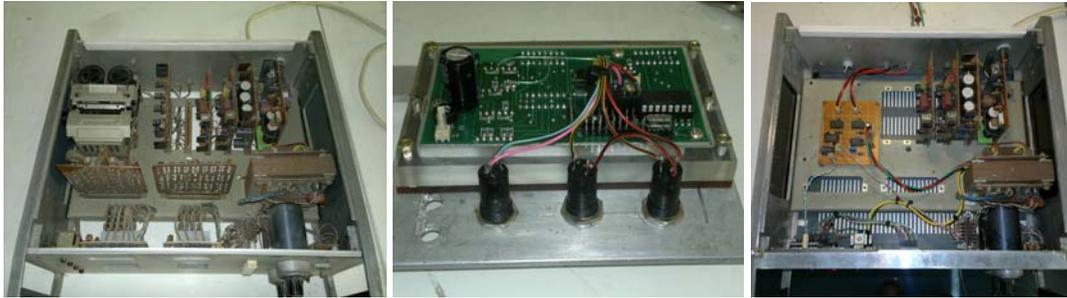


Figura 8: Imágenes donde se observa el interior del módulo LAS-3A original (izquierda), detalle posterior del montaje del contador/temporizador digital (medio) y aspecto del interior del módulo luego de las actualizaciones con la nueva tarjeta de acondicionamiento analógico (derecha).

4. Conclusiones

La modernización y puesta en operación rutinaria de este equipo se ha realizado a una fracción muy pequeña del costo económico y de horas hombre que podría haber implicado su reparación o compra de un equipo nuevo. Los componentes utilizados están disponibles comercialmente lo que facilita el mantenimiento del equipo por algunos años más en adelante.



Figura 9. Vista del panel frontal modificado para incluir las actualizaciones de hardware.

Gran parte de las funciones analógicas del equipo han sido reemplazadas por funciones digitales que le proporcionan mayores prestaciones.

El proceso de modernización de este equipo ha requerido el desmontaje del sistema de detección lo que ha permitido elaborar la documentación técnica de los detectores y preamplificadores utilizados. En un futuro, esta información será de mucha utilidad para las tareas de mantenimiento y eventualmente el cambio de los preamplificadores por versiones más modernas en las que la señal proporcionada por los detectores no viaje a través de la línea de alimentación de -12V,

con la consiguiente mejora de la relación señal a ruido. Esto último será fundamental si en un futuro se prevé actualizar este equipo para realizar espectrometría beta.

5. Bibliografía

- [1] Kumar A, Waker AJ. An experimental study of the relative response of plastic scintillators to photons and beta particles. *Radiation Measurements*. 2012; 47(10):930-935.
- [2] EMI Electronics Limited. Photomultiplier Tubes, Catalogue Supplement. England, 1972.
- [3] Microchip Technology Inc. PIC18F2320 Data Sheet. [Homepage en Internet]. Disponible en: <http://www.microchip.com/wwwproducts/Devices.aspx?dDocName=en010267>
- [4] Osore JM. Calibración del sistema de radiometría beta de bajo fondo LAS-3A para el análisis de radiactividad beta total y Sr-90 en filtros. Documento Técnico DT11-022. Laboratorio de Radioecología. Instituto Peruano de Energía Nuclear. Lima, Perú. 2011. 7 p.
- [5] Osore JM. Calibración del sistema beta LAS-3A para actividad beta total con K-40. Documento Técnico DT13-002. Laboratorio de Radioecología. Instituto Peruano de Energía Nuclear. Lima, Perú. 2013. 4 p.
- [6] Osore JM. Calibración del sistema de radiometría beta de bajo fondo LAS-3A para el análisis de Sr-90. Documento Técnico DT13-008. Laboratorio de Radioecología. Instituto Peruano de Energía Nuclear. Lima, Perú. 2013. 4 p.

Galvanostato para preparación de muestras por electrodeposición

Oscar Baltuano*, Eduardo Montoya, Yuri Hernández

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

Resumen

Se ha sido diseñado y construido un galvanostato o fuente de corriente constante, para ser utilizado en la preparación de muestras o experimentos de laboratorio por electrodeposición. El prototipo construido es de bajo costo, pues utiliza componentes comercialmente disponibles. Este equipo permite entregar valores de corriente desde 0,2 hasta 2,5 amperios, que pueden ser prefijados por el usuario. El sistema electrónico varía automáticamente el voltaje de salida, entre 0 y 50 V, para mantener constante la corriente eléctrica aplicada sobre la carga. El prototipo desarrollado se ha usado para la preparación de muestras de uranio por electrodeposición, las cuales han sido posteriormente analizadas por espectrometría alfa para determinar su composición isotópica.

Abstract

A galvanostate or constant current source, has been designed and built, to be used in sample preparation or other electro-deposition laboratory experiments. The prototype is of low cost because uses only widely available commercial components. The equipment is able to source current values from 0.2 to 2.5 amperes, which can be chosen by the user. The electronic system varies automatically the voltage between 0 and 50 volts, in order to keep constant the electrical current applied on the load. The developed prototype has been useful for uranium sample preparation, by electro-deposition, which have been after analyzed by alpha spectrometry for determining its isotopic composition.

1. Introducción

Un galvanostato o amperostato es un equipo electrónico que permite mantener una corriente constante sobre una carga o resistencia, independientemente del valor de la misma. La corriente deseada sobre la carga puede ser prefijada dentro de los valores de diseño del equipo, en tanto el voltaje entre los terminales variará automáticamente, dependiendo del valor de la resistencia y manteniendo la corriente constante.

Un equipo de este tipo es muy utilizado en estudios de electroquímica para experimentos de corrosión o para realizar la deposición de ciertos metales sobre una superficie conductora (electrodeposición). Los galvanostatos pueden tener dos variantes importantes, los denominados “flotantes”, en los cuales la carga debe estar aislada del punto de tierra del equipo y los denominados “grounded”, en los cuales la carga va puesta a tierra.

En este reporte describimos el diseño y construcción de un galvanostato tipo “flotante” con una capacidad de corriente de hasta 2.5A, para uso en experimentos de electrodeposición en laboratorio.

2. Experimental

2.1 Diseño de ingeniería básica

El principio de operación del galvanostato se muestra en la Figura 1, el mismo que está basado en la característica de amplificador de corriente de un transistor de potencia 2N3055 [1]. Una fuente de voltaje regulada ajustable, de baja corriente, se utiliza para fijar el voltaje de la base del transistor, en tanto la carga sobre la que circulará la corriente del equipos va sobre el circuito de colector. En estas condiciones, la corriente en la carga viene dada por:

$$I = \frac{V_0 - V_{BE}}{RE}$$

Donde V_0 es el voltaje de salida de la fuente de voltaje regulada ajustable, V_{BE} es el voltaje de la juntura base-emisor del transistor el cual tiene un valor nominal 0.8 V aproximadamente y cuyo valor puede cambiar ligeramente con la temperatura. La resistencia de emisor (RE) debe ser de alta potencia y su valor es calculado en función de la corriente máxima sobre la carga (I).

* Correspondencia autor: obaltuano@ipen.gob.pe

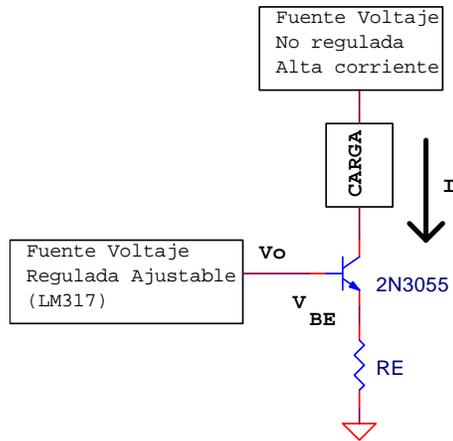


Figura 1. Diagrama de bloques del galvanostato.

2.2 Ingeniería de detalle

Se estableció como criterio de diseño un valor máximo de corriente I , de 2.5A y de acuerdo con el esquema de la Figura 1 se han establecido los valores siguientes:

$$R_E = 3.3 \Omega, V_{BE} = 0.8 \text{ V}$$

Con los datos anteriores se puede observar que el voltaje V_o debe tener un valor máximo de:

$$V_o = I \cdot R_E + V_{BE}$$

$$V_o = 2.5A \cdot 3.3\Omega + 0.8V = 9.05V$$

Por otro lado, la ganancia de corriente (β) del transistor 2N3055 tiene un valor mínimo de 20, con lo cual la corriente máxima que debe poder entregar la fuente de voltaje regulada (V_o) ajustable es de:

$$I_{o_{max}} = 2.5A / 20 = 125 \text{ mA}$$

De lo anterior, puede observarse que los valores máximos de voltaje y corriente para la fuente que proporciona V_o están dentro del rango de operación de un CI LM317 [2], el cual puede generar una salida de voltaje regulada ajustable desde 1.25V hasta el valor máximo determinado por las resistencias usadas en el lazo de retroalimentación del mismo. En la Figura 2 puede observarse el diagrama simplificado para un regulador basado en el CI LM317. El voltaje de salida V_o se controla con el potenciómetro de precisión R_B , de 2K.

Se ha adicionado una resistencia R_C en paralelo con el potenciómetro R_B con la finalidad de limitar el voltaje de salida V_o a un valor máximo de 9.2V (valor cercano a 9.05V) según los criterios establecidos previamente.

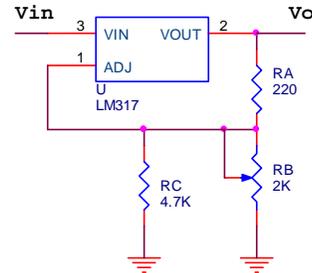


Figura 2. Diagrama simplificado de conexión de un CI LM317.

La expresión que determina el valor V_o vendrá dada por:

$$V_o = 1.25 \left(\frac{R_A + R_B // R_C}{R_A} \right)$$

Puede observarse que la inclusión de la resistencia R_C , introduce una ligera no linealidad (Figura 3) entre el voltaje de salida V_o y su relación con la posición del eje del potenciómetro R_B ; sin embargo, esta no linealidad no es significativa para la operación del mismo, debido a que al ser un potenciómetro de varias vueltas, la precisión se sigue manteniendo.

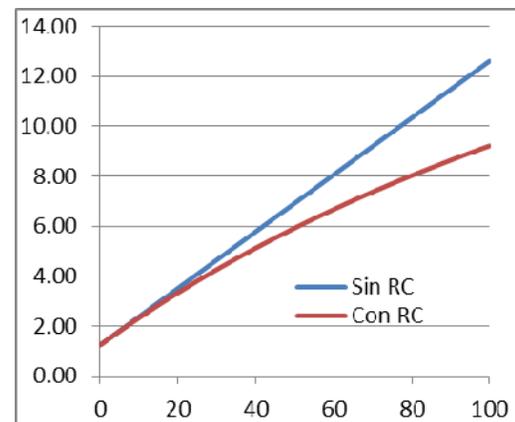


Figura 3. Efecto de la resistencia R_C sobre el voltaje de salida V_o de acuerdo a la posición porcentual del eje del potenciómetro R_B .

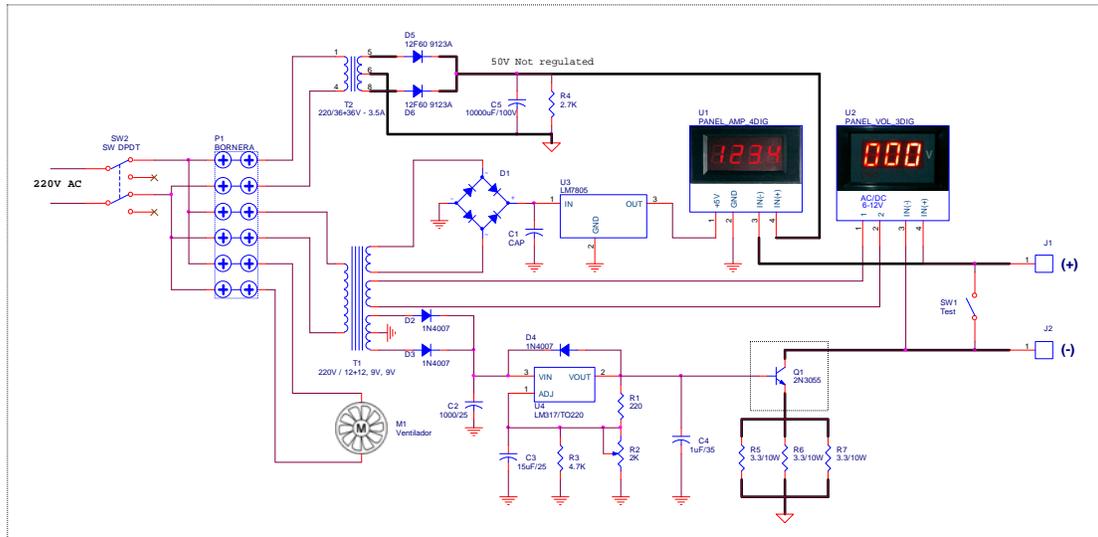


Figura 4. Diagrama esquemático completo del galvanostato que ha sido construido.

2.3 Integración final

Las etapas descritas en las secciones anteriores han sido integradas (Figura 4) de acuerdo con los criterios de diseño. Se ha utilizado un transformador de baja corriente con varios devanados secundarios (T1) para proporcionar voltajes a la fuente regulada V_o y para la alimentación de medidores de voltaje y la corriente de salida del equipo. Otro transformador de alta corriente (T2), con devanado secundario con toma central (36+36V – 3A), entrega la corriente aplicada sobre la carga. Luego del proceso de rectificación el transformador proporcionará una tensión máxima no regulada de 50V a 3A.

3. Montaje y puesta en operación

El montaje de todo el equipo se realizó en un gabinete de aluminio. Sobre el frente del mismo se ha montado la perilla acoplada al potenciómetro de precisión, para ajustar la corriente deseada. Con la finalidad de facilitar la lectura de parámetros de operación al usuario, se ha incorporado un medidor de corriente y un medidor de voltaje, ambos digitales en la parte frontal del equipo (Figura 5).

El equipo ha sido puesto a prueba para acondicionar las muestras mediante la electrodeposición de una fina capa de uranio de muestras de suelos, las cuales posteriormente han sido estudiadas por espectrometría alfa para determinar su composición isotópica [3]. Para este proceso

se construyó una celda electroquímica que permite realizar la deposición sobre un disco de acero inoxidable pulido (Figura 6).



Figura 5. Primer plano del panel frontal del gabinete del galvanostato que ha sido construido.



Figura 6. Celda electroquímica utilizada para realizar electrodeposición de uranio sobre un disco de acero inoxidable usando el galvanostato desarrollado.

En este experimento se configuró una corriente de 1A aplicada durante 2 horas sobre la celda electroquímica. La estabilidad de la corriente se mantuvo con una incertidumbre menor a 10 mA, correspondiente al dígito menos significativo del amperímetro digital. Cabe mencionar que dicha estabilidad se logra cuando el transistor de potencia alcanza la temperatura de operación con carga, en razón que la caída de tensión en la juntura base-emisor es dependiente de la temperatura. Por ello, es necesario esperar algunos minutos de operación, con carga, para obtener la mayor estabilidad de la corriente.

4. Conclusiones

El concepto de diseño de este galvanostato es extremadamente simple, pero funcionalmente el equipo desarrollado cumple con todas las especificaciones y requerimientos de operación por parte del usuario. El costo de

fabricación del galvanostato descrito es una fracción pequeña comparado con el costo de un equipo comercial equivalente.

5. Bibliografía

- [1] On Semiconductor, 2N3055 Complementary Power Transistor Datasheet, 2008.
- [2] National Semiconductor, LM117/LM317A/LM317 3-Terminal Adjustable Regulator Datasheet, 2006.
- [3] Montoya E, Mendoza P, Bedregal P, Baltuano O, Cohen IM. A combined method of neutron activation analysis and radiometric measurements for ^{234}U and ^{238}U determination in soil samples of low uranium concentration. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 2012 January; 291(1):175–178.

Calibración de cámaras gamma para el monitoreo individual de trabajadores ocupacionalmente expuestos a I-131

Susana Gonzáles*, Luis Zapata

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

Resumen

El Laboratorio de Dosimetría Interna se encuentra ubicado en el Centro Nuclear RACSO, muy alejado de los Servicios de Medicina nuclear (SMN), por eso es necesario buscar métodos alternativos para el monitoreo de los Trabajadores Ocupacionalmente Expuestos (TOEs) que manipulan fuentes abiertas de radioiodos en medicina nuclear, ya sea para monitoreo rutinario o casos de accidente. En medicina nuclear el mayor riesgo ocurre durante la preparación de las dosis terapéuticas de I-131. El objetivo de este trabajo es proponer una alternativa para el monitoreo individual de los TOEs expuestos a fuentes abiertas de I-131.

Calibration of gamma cameras for individual monitoring of workers occupationally exposed to I-131

Abstract

Internal Dosimetry Laboratory is located in the RACSO Nuclear Center, far from the Nuclear Medicine Service (NMS), it is necessary to seek alternative methods for monitoring Occupationally Exposed Workers (TOEs) that manipulate radioiodine open source in Nuclear Medicine Services, either for routine monitoring or in case of accident. The highest risk occurs during preparation of therapeutic doses of I-131. The aim of this paper is to propose an alternative for individual monitoring of TOEs exposed to open sources of I-131.

1. Introducción

El I-131 es un producto de fisión ampliamente usado en medicina nuclear con fines de diagnóstico y terapia de cáncer, y otras enfermedades tiroideas. Debido a su alta volatilidad, a temperatura ambiente, el yodo puede ser inhalado por las personas que trabajan con fuentes abiertas incrementándose el riesgo de contaminación interna, principalmente durante la preparación de las dosis terapéuticas de yodo. En el caso de adultos el 30 % del yodo inhalado es absorbido por la glándula tiroides.

La normativa peruana señala que la contaminación interna de los trabajadores expuestos (TOEs) debe ser evaluada cuando se manipule I-131, en función de la carga de trabajo o cuando exista una sospecha de incorporación incidental [1].

El criterio para establecer la necesidad de la implementación del monitoreo individual se encuentra descrito en el documento IAEA Safety Guide RSG 1.2 [2], que muestra los criterios para evaluar el requerimiento de

monitoreo individual, considerando que el potencial de dosis efectiva comprometida es de 1 mSv o más en un año. El mismo documento enfatiza que los trabajadores que manipulan grandes cantidades de radiofármacos, como el I-131 para terapia, deberían tener una vigilancia rutinaria de la contaminación interna. La aplicación de los parámetros sugeridos en la mencionada Guía de Seguridad para la evaluación del riesgo de exposición interna en un centro típico de medicina nuclear conduce al límite de actividad anual de 500 MBq (13.5 mCi).

Los documentos técnicos del OIEA [3,4] indican, que los TOEs que manipulan actividades significativas de I-131 deberían ser sometidos a un monitoreo individual interno para calcular la dosis efectiva y se lleve un registro por un oficial de radioprotección.

En el Perú existen aproximadamente 43 instalaciones licenciadas en medicina

* Correspondencia autor: sgonzales@ipen.gob.pe

nuclear, de los cuales 12 son públicas y 31 privados. Todos los servicios de medicina nuclear trabajan, entre otros radionucleídos, con I-131.

El oficial de radioprotección es el encargado de identificar a los trabajadores con riesgo de exposición e indicar al titular de la instalación para que proporcione los medios para las medidas de protección radiológica eficaces. De ser el caso, también recomienda la implementación de un programa de monitoreo individual debido a la contaminación interna, el cual puede realizarse en períodos de 7, 14 o 30 días, dependiendo de la carga de trabajo, sensibilidad del equipo de detección, etc.

En nuestro país no hay, a la fecha, proveedores de servicios externos para la medición *in vivo* de I-131 en tiroides; por tal razón, se ha iniciado un trabajo con los hospitales y clínicas para calibrar cámaras gamma para que puedan utilizarse en el monitoreo del personal ocupacionalmente expuesto al I-131.

El objetivo de este trabajo es proponer una alternativa para el monitoreo individual de los TOEs expuestos a fuentes abiertas de I-131 y contribuir de esa manera a mejorar la protección radiológica de los trabajadores ocupacionalmente expuestos a fuentes abiertas.

2. Metodología

La calibración se llevó a cabo utilizando un fantoma de cuello-tiroides con una actividad conocida de Ba-133 ($3.284\text{E}+04$ Bq) y se determinó el factor de calibración en cpm/Bq para la determinación de I-131 *in vivo* y su dependencia con la distancia al detector. Se determinó que es preferible realizar las mediciones sin el colimador de las cámaras. Se realizaron mediciones de 5 minutos a distancias de 10, 15 y 20 cm del detector. También se realizaron mediciones a individuos no expuestos para determinar la Actividad Mínima Detectable (AMD), asimismo se utilizó el software AIDE para calcular la Dosis Efectiva Mínima Detectable (DEMD), considerando que la medición se realiza un día después de la fecha de incorporación.

Se determinó el factor de calibración de cámaras gamma de dos instalaciones radiactivas.

3. Resultados y Discusión

En la práctica, las cuentas por minuto (cpm) se dividen entre el FC (cpm/Bq), obteniéndose la actividad presente (Bq), este dato de actividad se divide entre el $m(t)$ dependiente del tiempo transcurrido y el resultado se multiplica por el Coeficiente de dosis por inhalación para I-31, $e(50)$ Sv/Bq, para obtener el resultado de dosis en Sv.

Los resultados indican que los valores de DEMD determinados para la medición *in vivo* de tiroides, en las diferentes distancias, para un intervalo de monitoreo de 30 días se encuentran por debajo del nivel de registro de 1 mSv. En la Tabla 1 y 2 se detallan los resultados encontrados, donde se observa la dependencia de la distancia a los parámetros evaluados; sin embargo, los valores de dosis se encuentran muy por debajo de la dosis para el público en general (1 mSv) evidenciándose la utilización de esta metodología para el monitoreo individual interno.

En la Figura 1, se muestra el simulador de cuello con la tiroides utilizados en la calibración de las cámaras gamma. El simulador se colocó a las distancias estudiadas lo que permitió calcular el factor de calibración.

En la Figura 2 se muestra el uso de las cámaras gamma para el automonitoreo, colocando el cuello de la persona a 20 cm del detector.

Tabla 1. Determinación del factor de calibración, AMD y DEMD en función de la distancia – Instalación 1.

| Distancia (cm) | FC (cpm Bq ⁻¹) | AMD (Bq) | DEMD* (mSv) |
|----------------|----------------------------|----------|-------------|
| 10 | 5.10 +/- 0.016 | 71 | 0.781 E-03 |
| 15 | 3.87 +/- 0.014 | 95 | 1.045 E-03 |
| 20 | 3.36 +/- 0.013 | 111 | 1.221 E-03 |

* DEMD: Dosis Efectiva Mínima Detectable. (mSv)

Tabla 2. Determinación del factor de calibración, AMD y DEMD en función de la distancia – Instalación 2.

| Distancia (cm) | FC (cpm Bq ⁻¹) | AMD (Bq.) | DEMD* (mSv.) |
|----------------|----------------------------|-----------|--------------|
| 10 | 0.329 +/- 3.98E-03 | 336 | 3.696E-03 |
| 15 | 0.242 +/- 3.41E-03 | 473 | 5.203E-03 |
| 20 | 0.174 +/- 2.89E-03 | 658 | 7.238E-03 |

* DEMD: Dosis Efectiva Mínima Detectable. (mSv)

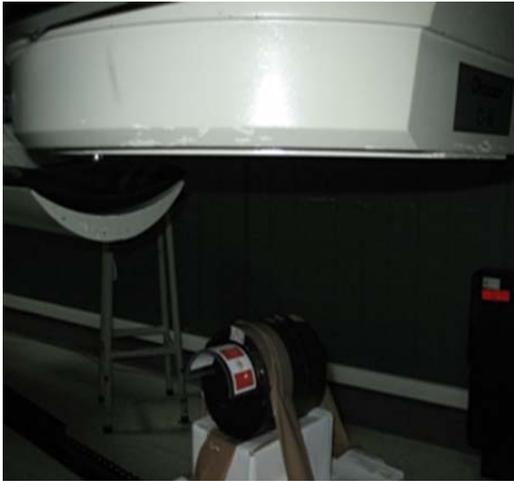


Figura 1. Calibración de Cámara Gamma con simulador de cuello – tiroides a diferentes distancias para calcular el Factor de Calibración.



Figura 2. Uso de cámaras gamma para el automonitoreo a 20 cm del detector.

4. Conclusiones

Los valores de Dosis Efectiva Mínima Detectable (DEMD) determinados para la medición in vivo de tiroides en las 3 distancias para un intervalo de monitoreo de 30 días se encuentran por debajo del nivel de registro de 1 mSv.

Este procedimiento puede ser utilizado en los servicios de medicina nuclear para el monitoreo individual de los trabajadores que manipulan fuentes abiertas de I-131.

Este estudio contribuye a mejorar la Protección Radiológica Ocupacional en los servicios de medicina nuclear.

5. Agradecimientos

Al Hospital de Enfermedades Neoplásicas y a la Clínica Ricardo Palma por su valioso aporte para realizar el presente estudio.

6. Bibliografía

- [1] Instituto Peruano de Energía Nuclear. Requisitos de protección radiológica y seguridad en medicina nuclear. Norma Técnica IR.002.2012. Lima, Perú. 2012.
- [2] International Atomic Energy Agency. Assessment of occupational exposure due to intakes of radionuclides. Safety Guide N° RS-G-1.2. Vienna: IAEA; 1999.
- [3] International Atomic Energy Agency. Radiation protection and safety of radiation sources: International basic safety standards. Iterim Edition. IAEA Safety Standards Series GSR Part 3. Vienna: IAEA; 2011.
- [4] Organismo Internacional de Energía Atómica. Protección radiológica ocupacional. Guía de Seguridad N° RS-G-1.1. Viena: OIEA; 2004.

Evaluación estadística de las variables meteorológicas en el área de influencia del Centro Nuclear RACSO

José Osóres*, Aurelio Anaya

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

Resumen

Este reporte presenta el establecimiento de una base de datos y evaluaciones estadísticas básicas de variables meteorológicas registradas entre los años 1995-2012. Los resultados muestran una prevalencia del viento en dirección SSO a NNE y un incremento gradual de la temperatura. Los valores promedio para este período son los siguientes: $20,18 \pm 3,18$ °C para temperatura media, $24,15 \pm 3,89$ °C para las temperaturas máximas, $15,83 \pm 2,85$ °C para las temperaturas mínimas, $956,2 \pm 2,8$ mbar para presión atmosférica y $77,63 \pm 6,63$ % para humedad relativa.

Statistical evaluation of meteorological variables in the area of influence of the Nuclear Center RACSO

Abstract

This report presents the establishment of a database and basic statistical evaluations of meteorological variables recorded between the years 1995-2012. The results show prevalence wind SSW towards NNE and a gradual increase in temperature. The average values for this period are: $20,18 \pm 3,18$ °C average temperature, $24,15 \pm 3,89$ °C for maximum temperatures, $15,83 \pm 2,85$ °C for minimum temperatures, $956,2 \pm 2,8$ mbar to atmospheric pressure and $77,63 \pm 6,63\%$ for relative humidity.

1. Introducción

El Instituto Peruano de Energía Nuclear cuenta con la Estación Climatológica Ordinaria (ECO) Huarangal, la que se mantiene operativa desde 1980 con el apoyo del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrografía (SENAMHI). Esta estación cuenta con equipos convencionales para la medición de las variables meteorológicas: temperatura máxima, temperatura mínima, humedad relativa, dirección de viento, velocidad de viento y presión atmosférica, que permiten llevar el control permanente en el área de influencia del Centro Nuclear RACSO. La información obtenida es de utilidad para estudios de dispersión atmosférica y aplicable a los potenciales casos de emergencia radiológica [1]. Se trata de un sistema capaz de proporcionar valores de las variables atmosféricas, para que las instalaciones nucleares y radiactivas del emplazamiento elaboren el cálculo de las concentraciones y el análisis de su dispersión, en caso de que llegaran a presentarse emisiones de radionúclidos a la atmósfera; también contribuye en la adecuación y afinación del plan de

emergencia en caso de accidentes radiológicos con la evaluación del posible alcance y área de impacto [2].

La velocidad y dirección del viento son las principales variables utilizadas por los diferentes modelos de dispersión de radionucleídos; sin embargo, es importante considerar que su comportamiento también es afectado por otras variables como la temperatura, presión atmosférica, humedad relativa, tensión de vapor entre otras, razón por la cual es conveniente contar con una adecuada base de datos históricos que puedan ser de fácil acceso a los diferentes grupos de investigación del centro nuclear.

2. Metodología

Se llevó a cabo la revisión y depuración de registros meteorológicos colectados entre los años 1995 y 2002 para luego incorporarlos en una base de datos mediante el empleo del programa estadístico SPSS.

Para la elaboración de la rosa de vientos se utilizaron únicamente datos del año 2012 por

* Correspondencia autor: josores@ipen.gob.pe

ser la información más relevante para los modelos de dispersión atmosférica, la información fue clasificada por trimestres a fin de evaluar el comportamiento de estas variables en función de los períodos estacionales del año.

Los registros de temperatura, presión atmosférica y humedad relativa fueron evaluados en conjunto para el período 1995-2012 y además clasificados en series de tiempo, tomando como fuentes de comparación estadística los años y los meses. La evaluación estadística de estas variables consistió en análisis gráficos, determinación de estadísticas descriptivas, análisis de varianza y pruebas de comparación de medias de Duncan [3], con un nivel de significación del 95 %.

3. Resultados y Discusión

3.1. Dirección y velocidad de viento

Para determinar la dirección de viento preponderante se elaboró una rosa de vientos por cada trimestre del año 2012.

Durante el primer trimestre se observa la mayor velocidad de viento durante el año 2012, con valores entre 6,0 y 7,5 metros por segundo y una preponderancia del 16 % para la dirección SSO (Figura 1).

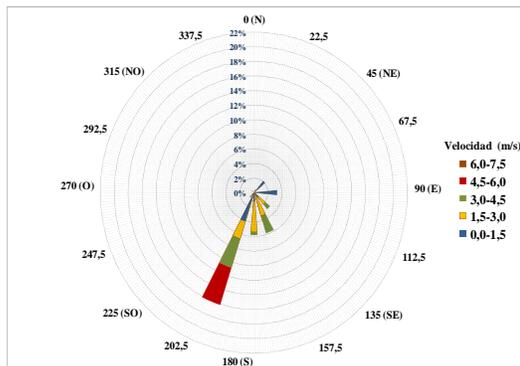


Figura 1. Rosa de vientos – Primer Trimestre 2012.

Para el segundo trimestre la velocidad del viento baja a valores comprendidos entre 1,5 y 3,0 metros por segundo presentando una mayor preponderancia de la dirección SSO con un 21 % (Figura 2).

Durante el tercer trimestre, correspondiente a los meses de invierno, la velocidad del viento tiende a aumentar ligeramente dentro de un rango comprendido entre 3,0 y 4,5 metros por segundo pero la preponderancia continua

con su fuerte tendencia en dirección SSO de hasta 17 % (Figura 3).

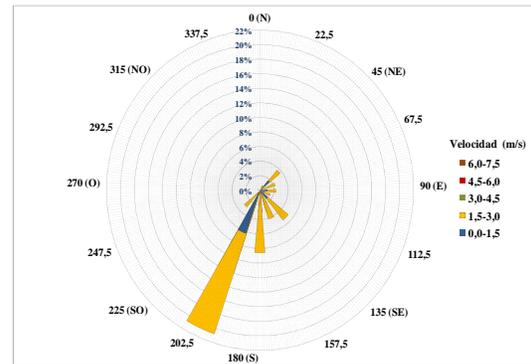


Figura 2. Rosa de vientos – Segundo Trimestre 2012.

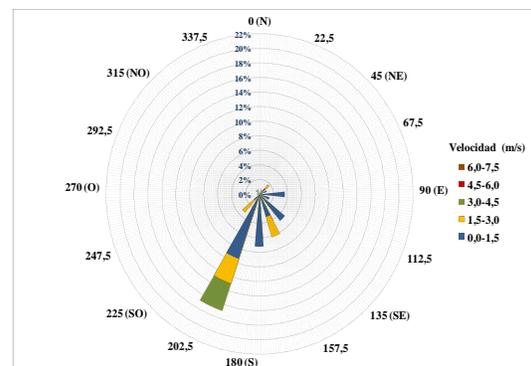


Figura 3. Rosa de vientos – Tercer Trimestre 2012.

Durante el cuarto trimestre continua la misma preponderancia del viento (SSO) con una ligera disminución de la velocidad del viento (Figura 4).

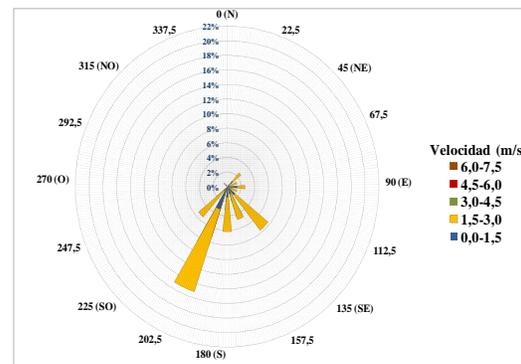


Figura 4. Rosa de vientos – Cuarto Trimestre 2012.

Se puede observar que durante todo el año, no se presentaron evidencias de que la dirección del viento preponderante en el centro nuclear cambie en sentido contrario a las direcciones SSO, S y SSE las cuales se manifiestan en diferente grado durante todo el 2012. Por otro lado, los resultados indican

que durante los meses más calurosos del año la velocidad del viento tiende a aumentar significativamente con respecto a los demás trimestres.

3.2. Temperatura

Los registros de temperatura comprendidos entre los años 1995 y 2012 muestran una temperatura media de $20,18 \pm 3,18 \text{ }^\circ\text{C}$ (Figura 5).

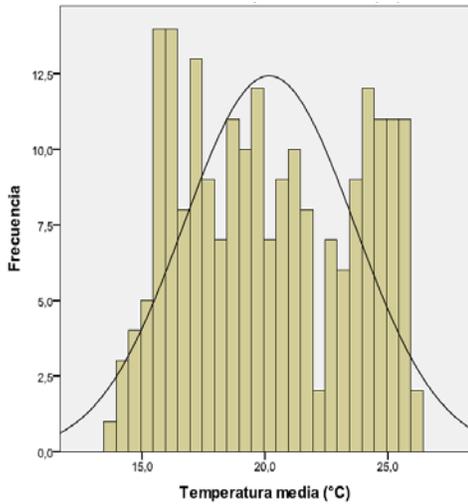


Figura 5. Temperatura media (1995-2012).

Las temperaturas extremas comprendidas para el mismo período de tiempo presentaron valores de $24,15 \pm 3,89 \text{ }^\circ\text{C}$ para las temperaturas máximas (Figura 6) y $15,83 \pm 2,85 \text{ }^\circ\text{C}$ para las temperaturas mínimas (Figura 7).

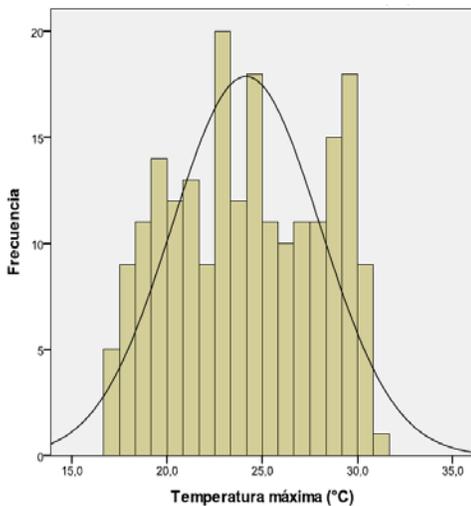


Figura 6. Temperatura máxima (1995-2012).

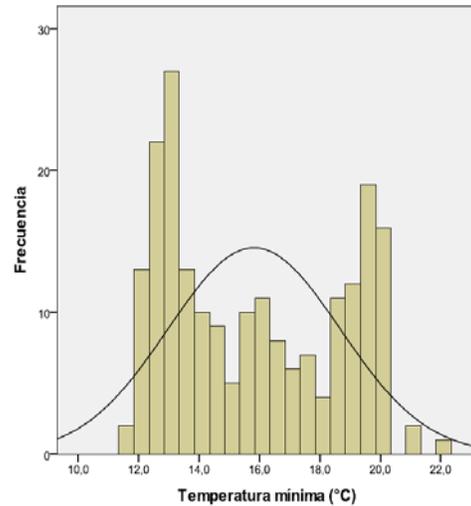


Figura 7. Temperatura mínima (1995-2012).

Se puede observar que las distribuciones de datos tienen diferentes grados de asimetría, siendo mucho mayor la distribución de temperaturas mínimas la cual llega a presentar hasta dos modas. Sin embargo, en las tres variables evaluadas la distribución es de tipo platicúrtica de acuerdo a su grado de curtosis (Tabla 1).

Tabla 1. Estadística descriptiva de los valores de temperatura ambiental (1995-2012).

| | Temperatura $^\circ\text{C}$ | | |
|-------------------|------------------------------|--------|--------|
| | Media | Máxima | Mínima |
| Media | 20,176 | 24,146 | 15,825 |
| Error típico | 0,2359 | 0,2689 | 0,1977 |
| Mediana | 19,833 | 24,120 | 15,425 |
| Moda | 17,0 | 23,0 | 12,6 |
| Desviación típica | 3,4664 | 3,8869 | 2,8518 |
| Varianza | 12,016 | 15,108 | 8,133 |
| Asimetría | 0,122 | -0,20 | 0,264 |
| Curtosis | -1,263 | -1,160 | -1,400 |
| Mínimo | 13,7 | 16,8 | 11,6 |
| Máximo | 26,2 | 31,0 | 22,0 |

Los análisis de varianza realizados muestran una significancia menor a 0,05 por lo que se evidencia la existencia de diferencias significativas entre los valores de temperatura media y extremas entre los diferentes años y meses del período 1995-2012 (Tablas 2, 3 y 4).

Tabla 2. Análisis de Varianza de la Temperatura Media (1995-2012).

| Fuente de Variabilidad | GL | Cuadrados Medios | F | Sig. |
|------------------------|-----|------------------|----------|-------|
| Año | 18 | 4889,162 | 4163,634 | 0,000 |
| Mes | 11 | 215,017 | 287,288 | 0,000 |
| Error | 187 | 0,748 | | |

Tabla 3. Análisis de Varianza de la Temperatura Máxima (1995-2012).

| Fuente de Variabilidad | GL | Cuadrados Medios | F | Sig. |
|------------------------|-----|------------------|----------|-------|
| Año | 18 | 6774,377 | 6741,496 | 0,000 |
| Mes | 11 | 261,075 | 259,808 | 0,000 |
| Error | 180 | 1,005 | | |

Tabla 4. Análisis de Varianza de la Temperatura Mínima (1995-2012).

| Fuente de Variabilidad | GL | Cuadrados Medios | F | Sig. |
|------------------------|-----|------------------|----------|-------|
| Año | 18 | 2898,350 | 4636,372 | 0,000 |
| Mes | 11 | 135,820 | 217,266 | 0,000 |
| Error | 179 | | | |

El análisis gráfico de las series de tiempo de las medias marginales de la temperatura media anual, presenta una anomalía durante el año 1997 debido a la aparición del fenómeno El Niño en la zona norte del Perú y que también afectó en cierta magnitud a la costa central [4]. Luego de esta anomalía, se puede observar una tendencia creciente de la temperatura media anual, aumentando en un poco mas de 1,0 °C (Figura 8).

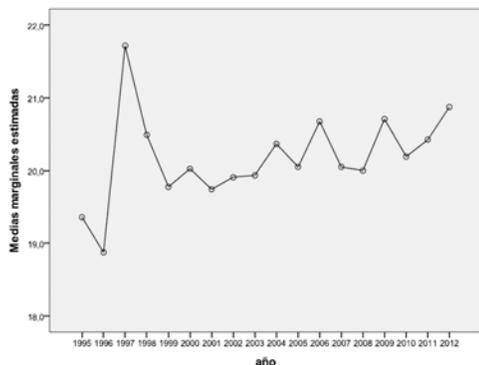


Figura 8. Medias marginales estimadas de la temperatura media (Período 1995-2012).

La prueba de Duncan realizada en función de los meses del año, muestra una diferencia significativa para los diferentes meses con excepción de Febrero y Marzo, los cuales de acuerdo con los registros son los más calurosos así como para los meses de julio y agosto, considerados como los más fríos del año. Además, al realizar esta prueba en función de los años del período de estudio solo muestran la temperatura media del año 1997 como significativamente diferente a los

demás años, esto debido a la presencia del Fenómeno El Niño (Figura 9).

Temperatura media (°C)

Duncan^{a, b}

| año | N | Subconjunto | | | | | |
|------|----|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1996 | 12 | 18,875 | | | | | |
| 1995 | 12 | 19,358 | 19,358 | | | | |
| 2001 | 12 | | 19,742 | 19,742 | | | |
| 1999 | 12 | | 19,775 | 19,775 | | | |
| 2002 | 12 | | 19,908 | 19,908 | 19,908 | | |
| 2003 | 12 | | 19,933 | 19,933 | 19,933 | | |
| 2008 | 12 | | 20,000 | 20,000 | 20,000 | | |
| 2000 | 12 | | 20,025 | 20,025 | 20,025 | | |
| 2005 | 12 | | 20,050 | 20,050 | 20,050 | | |
| 2007 | 12 | | 20,050 | 20,050 | 20,050 | | |
| 2010 | 12 | | | 20,192 | 20,192 | 20,192 | |
| 2004 | 12 | | | 20,367 | 20,367 | 20,367 | |
| 2011 | 12 | | | 20,425 | 20,425 | 20,425 | |
| 1998 | 12 | | | 20,492 | 20,492 | 20,492 | |
| 2006 | 12 | | | | 20,675 | 20,675 | |
| 2009 | 12 | | | | 20,708 | 20,708 | |
| 2012 | 12 | | | | | 20,875 | |
| 1997 | 12 | | | | | | 21,717 |
| Sig. | | ,173 | ,101 | ,081 | ,062 | ,098 | 1,000 |

Se muestran las medias de los grupos de subconjuntos homogéneos. Basadas en las medias observadas. El término de error es la media cuadrática(Error) = ,748. a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 12,000 b. Alfa = ,05.

Figura 9. Prueba de comparación de Duncan para temperaturas medias anuales (1995-2012).

Si bien el análisis gráfico de series de tiempo de las temperaturas medias manifiesta un incremento gradual de la temperatura, la prueba de Duncan verifica su significancia estadística, agrupando los valores de 1995 y 1996 en un subconjunto menor y distante al grupo donde se encuentran los últimos años del período, entre ellos el 2012.

3.3 Presión atmosférica y humedad relativa

Los registros meteorológicos del período 1995-2012 presentan una presión atmosférica promedio de $956,2 \pm 2,8$ mbar (Figura 10) y una humedad relativa de $77,63 \pm 6,63$ % (Figura 11).

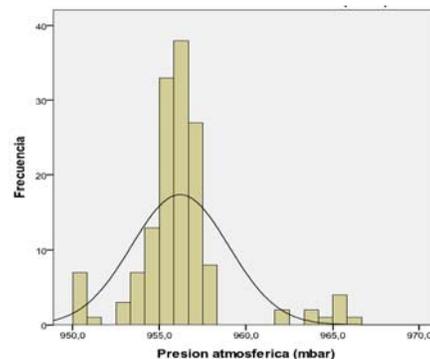


Figura 10. Presión atmosférica (1995-2012).

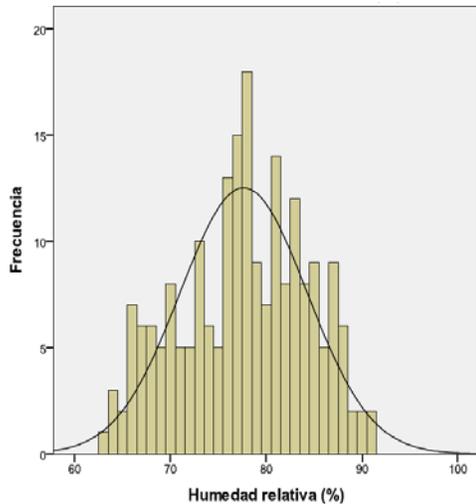


Figura 11. Humedad relativa (1995-2012)

La presión barométrica presenta un fuerte grado de curtosis del tipo leptocúrtica dado que la mayoría de registros se encuentran muy agrupados en la media, moda y mediana, pero no presenta simetría puesto que se observa una ligera tendencia hacia el extremo derecho de la curva. En cambio, la temperatura comprendida dentro del período 1995-2012 presenta una mayor desviación de datos con respecto a su valor medio tendiendo a una mejor simetría de su curva platicúrtica (Tabla 2).

Tabla 5. Estadística descriptiva de los valores de presión atmosférica y humedad relativa (1995-2012).

| | Presión atmosférica (mbar) | Humedad relativa (%) |
|-------------------|----------------------------|----------------------|
| Media | 956,196 | 77,63 |
| Error típico | 0,2312 | 0,460 |
| Mediana | 956,1 | 77,88 |
| Moda | 956,4 | 78 |
| Desviación típica | 2,8029 | 6,628 |
| Varianza | 7,856 | 43,933 |
| Asimetría | 1,243 | -0,195 |
| Curtosis | 4,328 | -0,740 |
| Mínimo | 950,0 | 63 |
| Máximo | 966,0 | 91 |

Durante el período de estudio, ya sea años o meses, las medias marginales estimadas de la presión atmosférica tienden a ser constantes en el rango de 956 mbar. En cambio, la humedad relativa media presenta una tendencia decreciente en función del tiempo (Figura 12), verificando así que esta variable es inversamente proporcional a la tendencia de la temperatura media.

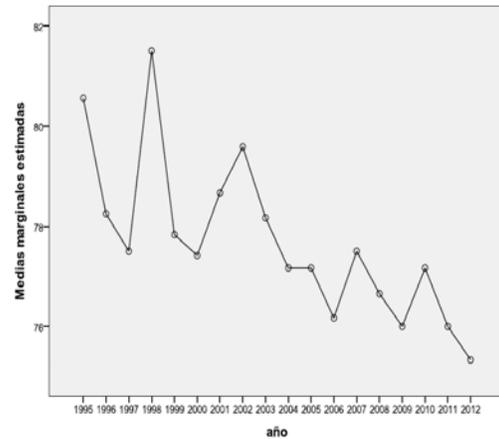


Figura 12. Medias marginales estimadas de la humedad relativa (Período 1995-2012).

El análisis de varianza de la presión atmosférica muestra que para los diferentes meses del año no hay diferencias en los valores registrados durante el período 1995-2012, por otro lado el análisis entre los años asume que al menos un valor es diferente, esto se debe a que dentro de los reportes se registró un valor único de 930 mbar, ligeramente alejado de la media, moda y mediana de esta variable (Tabla 6).

Tabla 6. Análisis de Varianza de la Temperatura Media (1995-2012).

| Fuente de Variabilidad | GL | Cuadrados Medios | F | Sig. |
|------------------------|-----|------------------|-----------|-------|
| Año | 14 | 9565354,606 | 15212,414 | 0,000 |
| Mes | 11 | 700,609 | 1,114 | 0,356 |
| Error | 147 | 628,786 | | |

La prueba de Duncan muestra una ligera variación de los valores de presión atmosférica entre los años 2003 y 2012, sin embargo, se puede afirmar que esta variable es estable en el tiempo (Figura 13).

| año | N | Subconjunto | |
|------|----|-------------|---------|
| | | 1 | 2 |
| 2003 | 12 | 930,658 | |
| 2009 | 2 | 953,250 | 953,250 |
| 2011 | 12 | 953,400 | 953,400 |
| 2005 | 12 | 954,667 | 954,667 |
| 2010 | 8 | 954,912 | 954,912 |
| 2000 | 12 | 955,058 | 955,058 |
| 2002 | 12 | 955,592 | 955,592 |
| 2001 | 12 | 955,642 | 955,642 |
| 2004 | 12 | 956,375 | 956,375 |
| 2007 | 12 | 956,383 | 956,383 |
| 2008 | 6 | 956,850 | 956,850 |
| 1999 | 12 | 957,250 | 957,250 |
| 2006 | 11 | 959,782 | 959,782 |
| 2012 | 12 | 962,992 | |
| Sig. | | ,054 | ,528 |

Figura 13. Prueba de comparación de Duncan para presión atmosférica (1995-2012).

El análisis de varianza de la humedad relativa confirma la diferencia entre los meses, dado que esta variable depende fuertemente de las estaciones que se presentan durante el año y la diferencia entre años se debe al incremento gradual de la temperatura que interviene en el grado de humedad del ambiente (Tabla 7).

Tabla 7. Análisis de Varianza de la Humedad Relativa (1995-2012).

| Fuente de Variabilidad | GL | Cuadrados Medios | F | Sig. |
|------------------------|-----|------------------|----------|-------|
| Año | 18 | 69676,548 | 9746,045 | 0,000 |
| Mes | 11 | 661,856 | 92,578 | 0,000 |
| Error | 179 | 7,149 | | |

Para los datos de humedad relativa, la prueba de Duncan los agrupa en 6 subconjuntos, se observa que los años con mayor humedad relativa fueron 1998, 1995 y 2002 los cuales no son significativamente diferentes de los años 2006, 2008, 2009, 2011, 2012 (Figura 14).

| año | N | Subconjunto | | | | | |
|------|----|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 2008 | 6 | 74,17 | | | | | |
| 2012 | 12 | 75,33 | 75,33 | | | | |
| 2009 | 12 | 76,00 | 76,00 | 76,00 | | | |
| 2011 | 12 | 76,00 | 76,00 | 76,00 | | | |
| 2006 | 11 | 76,36 | 76,36 | 76,36 | | | |
| 2004 | 12 | | 77,17 | 77,17 | 77,17 | | |
| 2005 | 12 | | 77,17 | 77,17 | 77,17 | | |
| 2010 | 12 | | 77,17 | 77,17 | 77,17 | | |
| 2000 | 12 | | 77,42 | 77,42 | 77,42 | 77,42 | |
| 1997 | 12 | | 77,50 | 77,50 | 77,50 | 77,50 | |
| 2007 | 12 | | 77,50 | 77,50 | 77,50 | 77,50 | |
| 1999 | 12 | | 77,83 | 77,83 | 77,83 | 77,83 | |
| 2003 | 12 | | | 78,17 | 78,17 | 78,17 | |
| 1996 | 12 | | | 78,25 | 78,25 | 78,25 | |
| 2001 | 12 | | | 78,67 | 78,67 | 78,67 | |
| 2002 | 12 | | | | 79,58 | | 79,58 |
| 1995 | 11 | | | | | 80,00 | 80,00 |
| 1998 | 12 | | | | | | 81,50 |
| Sig. | | ,084 | ,066 | ,052 | ,076 | ,053 | ,110 |

Se muestran las medias de los grupos de subconjuntos homogéneos. Basadas en las medias observadas. El término de error es la media cuadrática(Error) = 7,149.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 11,261
 b. Los tamaños de los grupos son distintos. Se empleará la media armónica de los tamaños de los grupos. No se garantizan los niveles de error tipo I.
 c. Alfa = ,05.

Figura 14. Prueba de comparación de Duncan para humedad relativa (1995-2012).

4. Conclusiones

Durante el año 2012 la prevalencia del viento se mantiene constante en dirección de SSO a NNE, no llegando a superar los 10 m/s en ninguno de los trimestres evaluados.

En las evaluaciones del período 1995-2012 se verifica una anomalía meteorológica durante el año 1997 coincidente con el fenómeno El Niño; sin embargo, luego de esta anomalía se observa un incremento en la temperatura media mayor a 1,0 °C al finalizar el período.

La humedad relativa presenta la misma tendencia inversa con respecto a la temperatura.

Se ha establecido una base de datos meteorológico para el período 1995-2012, esta información se encuentra disponible a la comunidad científica para evaluaciones de modelos ambientales.

5. Agradecimientos

Al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) por su valioso aporte para la implementación de la estación meteorológica del centro nuclear RACSO.

6. Bibliografía

- [1]. Anaya A, Osoreo J, Gonzáles S, López E. Estación Meteorológica de Huarangal. En: Instituto Peruano de Energía Nuclear. Informe Científico Tecnológico 2003. Lima: IPEN; 2004. p. 120.
- [2]. Rivero T, Ramírez R, Bucio FJ, Rojas P. Torre meteorológica del ININ. Contacto Nuclear. 2008; 52:12-14.
- [3]. Duncan DB. Multiple range and multiple F tests. Biometrics. 1955; 11:1-42.
- [4]. Aceituno P. El Fenómeno El Niño 1997-1998. Bull. Inst. Fr. Études Andines. 1998, 27(3):443-448.

Preparación de muestras patrones de O-18 y H-2

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

División de Industria e Hidrología, Instituto Peruano de Energía Nuclear, Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

Resumen

El presente estudio tuvo como finalidad preparar muestras patrones de O-18 y H-2 y realizar una intercomparación previa con el fin de obtener resultados precisos y seguros durante los análisis de O-18 y H-2 que se realizarán en el equipo láser LGR del Laboratorio de Hidrología del IPEN.

Abstract

This report shows the performance of laser equipment LGR Hydrology Laboratory of IPEN, by comparing the analysis of samples of O-18 and H-2 performed in the Isotope Hydrology Laboratory of CCHEN (Chile) nominated by the IAEA "Designated Center Stable Isotope Analysis for the Regional Cooperation Agreement"

1. Introducción

La preparación y almacenamiento de estándares internos de O-18 y H-2 son de suma importancia, debido a que se utilizarán en el equipo de Espectrometría Láser LGR (Los Gatos Research) para realizar los análisis isotópicos durante un período de 5 años; por esa razón, es necesario contar con al menos tres estándares de concentración conocida de O-18 ($\delta^{18}\text{O}$) y H-2 ($\delta^2\text{H}$), un estándar liviano, otro pesado y otro intermedio [1]. Asimismo, a fin de contribuir con la exactitud de los resultados y minimizar la posibilidad de ocurrencia de errores, también es importante realizar el mantenimiento del equipo, realizando la limpieza de los conductos del equipo Láser LGR DLT100.

Una vez establecidos los estándares y teniendo la seguridad de que los patrones estén bien preparados, así como del buen funcionamiento del equipo, es necesario realizar una intercomparación entre laboratorios; con esta finalidad se enviaron cinco muestras de tres patrones a los laboratorios de Hidrología Isotópica del OIEA con el fin de comparar los patrones preparados localmente.

2. Desarrollo experimental

2.1 Materiales y equipos

- Tres barriles de aluminio de 20 litros de capacidad para el almacenamiento de patrones, que aseguren un cierre

hermético para prevenir la evaporación, que perdure al menos 5 años y que no debe almacenarse por más de 10 años [2].

- Destilador de agua.
- Tres patrones de O-18 y H-2 proporcionados y calibrados por Los Gatos Research.
- Tres muestras limpias de agua de un volumen de 30 litros que abarquen un amplio rango (altura de nivel del mar, altura intermedia y agua de altura o cordillera).
- Conductímetro marca WTW, modelo 44600-00.

2.2 Metodología

- Se seleccionaron 3 lugares para la colección de 30 litros de agua que se utilizarán en la prueba de intercomparación.

- Para preparar los patrones locales se seleccionaron los siguientes lugares de muestreo: agua de mar (playa de Ancón), agua intermedia (vapor de agua del Laboratorio de Hidrología del Centro Nuclear RACSO) y agua pesada (Manantial Jatunura). Las características de las muestras se presentan en la Tabla 1.

- Espectrómetro Láser LG DLT-100, modelo 908-0008-2001, para medición de O-18 y H-2.

* Correspondencia autor: gmaghella@ipen.gob.pe

Tabla 1. Valores de muestras colectadas.

| | Altura m | Coordenadas UTM | |
|--------------------------------|-------------|--------------------|---------|
| Agua de mar (pesada) | 0 | 0261978 | 8698229 |
| Agua local (intermedia) | 451 | 0280506 | 8694809 |
| Agua manantial (liviana) | 4765 | 0507357 | 8549920 |

- Las muestras de agua colectadas se destilan a través del sistema de destilación presentado en la Figura 1:



Figura 1. Sistema de destilación de agua.

- La conductividad de los patrones debe ser menor a 20 uS/cm, de lo contrario debe realizarse un intercambio iónico.

Tabla 2. Valores de conductividad.

| | Conductividad antes de destilar (uS/cm) | Conductividad después de destilar (uS/cm) |
|-------------------------------------|---|---|
| Agua de mar (pesada-STD1) | 51 500 | 2.8 |
| Agua local (intermedia- STD2) | 1 050 | 16.8 |
| Agua manantial (liviana-STD3) | 1 732 | 1.8 |

- Una vez que las muestras de agua estuvieron limpias, se almacenaron en los recipientes de aluminio (Figura 2) manteniendo una presión de 1,5 a 2,5 bar

para eliminar el oxígeno remanente, inyectando N₂.

- El almacenamiento de los recipientes se realizó en un ambiente donde no había presencia de luz directa y se evitó un lugar de alta temperatura para evitar la evaporación, evitando abrirla constantemente para prevenir la contaminación. Antes de extraer las muestras se agitaron los recipientes para un buen mezclado de los patrones.



Figura 2. Recipientes de aluminio.

- Se realizó la calibración con los estándares suministrados por el fabricante del equipo, Los Gatos Research (LGR), de acuerdo con la configuración de la Figura 3.

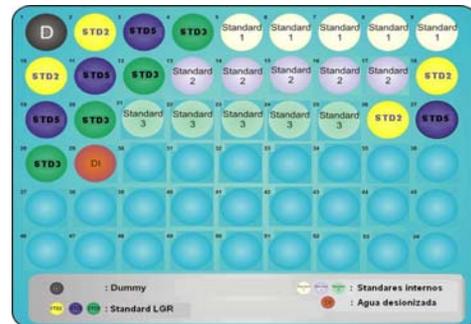


Figura 3. Posiciones de patrones internos y patrones internacionales (LGR).

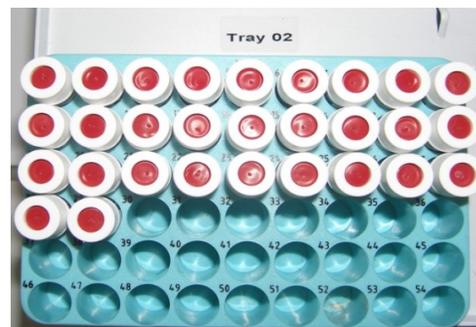


Figura 4. Posición de patrones internos y muestras en la bandeja.

Los valores de los estándares de O-18 y H-2

por LGR (STD 2, STD 3 y STD 5) se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Valores de O-18 y H-2.

| Estándar | $\delta^2\text{H}$ | $\delta^{18}\text{O}$ |
|----------|--------------------|-----------------------|
| | Valor (por mil) | Valor (por mil) |
| STD 2 | -117.0 | -15.55 |
| STD 3 | -79.0 | -11.54 |
| STD 5 | -9.8 | -2.96 |

- Los muestras son analizadas en el Espectrómetro Laser LGR (Figura 5) y tratados para la obtención de los resultados.



Figura 5. Espectrómetro láser.

3. Resultados y Discusión

Los resultados de O-18 y H-2 realizados en el Espectrómetro de Laser LGR del Laboratorio de Isótopos ambientales del IPEN se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Resultados de O-18 y H-2 del espectrómetro láser.

| Cód. Lab | $\delta^2\text{H}$ | $\delta^2\text{H}$ D.est. | $\delta^{18}\text{O}$ | $\delta^{18}\text{O}$ D.est. |
|----------|--------------------|------------------------------|-----------------------|---------------------------------|
| STD1 | -3.24 | 1.58 | -0.79 | 0.16 |
| STD1 | -2.36 | 0.59 | -0.38 | 0.14 |
| STD1 | -3.48 | 1.01 | -0.58 | 0.24 |
| STD1 | -3.59 | 1.27 | -0.53 | 0.15 |
| STD1 | -2.62 | 0.67 | -0.47 | 0.10 |
| STD2 | -32.05 | 1.59 | -6.56 | 0.16 |
| STD2 | -31.57 | 0.54 | -6.59 | 0.21 |
| STD2 | -32.14 | 0.63 | -6.69 | 0.10 |
| STD2 | -32.35 | 0.68 | -6.82 | 0.14 |
| STD2 | -31.62 | 1.24 | -6.81 | 0.20 |
| STD3 | -119.5 | 1.11 | -16.7 | 0.17 |
| STD3 | -120.4 | 0.77 | -16.7 | 0.26 |
| STD3 | -120.5 | 0.56 | -16.9 | 0.20 |
| STD3 | -119.5 | 0.98 | -16.6 | 0.16 |
| STD3 | -120.3 | 0.96 | -16.7 | 0.15 |

Donde los valores de desviación estándar por mil para el H-2 y O-18 deben ser menores a 2 y 0.3 respectivamente.

A partir de la Tabla 4, se obtiene el promedio de los valores de los estándares STD 1, STD2 y STD3, respectivamente, representados en las siguientes tablas:

Tabla 5. Resultados promedio del espectrómetro LGR de O-18 y H-2.

| Cód. Lab | $\delta^2\text{H}$ | $\delta^2\text{H}$ D.est. | $\delta^{18}\text{O}$ | $\delta^{18}\text{O}$ D.est. |
|----------|--------------------|------------------------------|-----------------------|---------------------------------|
| STD1 | -3.06 | 1.02 | -0.55 | 0.16 |
| STD2 | -31.95 | 0.94 | -6.69 | 0.16 |
| STD3 | -120.04 | 0.88 | -16.72 | 0.19 |

Tabla 6. Resultados promedio de 05 muestras de O-18 y H-2 de Laboratorio de Viena.

| Cód. Lab | $\delta^2\text{H}$ | $\delta^2\text{H}$ D.est. | $\delta^{18}\text{O}$ | $\delta^{18}\text{O}$ D.est. |
|----------|--------------------|------------------------------|-----------------------|---------------------------------|
| STD1 | -3,10 | 0,29 | -0,63 | 0,07 |
| STD2 | -31,07 | 0,79 | -6,70 | 0,01 |
| STD3 | -119,13 | 1,12 | -16,73 | 0,06 |

Al realizar la intercomparación comparando las tablas 4 y 5 observamos que los resultados de los STD1 (Agua pesada), STD2 (agua intermedia) y STD3 (agua liviana) están muy próximos de aquellos resultados obtenidos en el Laboratorio de Viena.

4. Conclusiones

El Espectrómetro láser LGR DLT-100 del IPEN, da muy buenos resultados y se encuentra apto para poder realizar análisis que serán aplicados en los estudios de hidrología isotópica. La intercomparación con los resultados obtenidos por el Laboratorio de Hidrología en Viena, nos muestran que no hay diferencias significativas con los resultados obtenidos por el Laboratorio de Hidrología Isotópica del IPEN, por ende la preparación y los estándares internos preparados pueden ser utilizados.

5. Referencias

- [1] International Atomic Energy Agency. Laser spectroscopic analysis of liquid water samples for stable hydrogen and oxygen isotopes. Training Course Series 35. Vienna: IAEA; 2009.
- [2] Tanweer A, Groning M, Van Duren M, Jaklitsch M, Poltenstein L. Stable isotope internal laboratory water standards: Preparation, calibration and storage. International Atomic Energy Agency Technical Procedure Note 43. 2009.

Diseño y definición de parámetros de un sistema portátil para la obtención de radioisótopo ^{99m}Tc (GENVI)

Javier Gago^{1,*}, Oscar Baltuano¹, Pablo Mendoza¹, Rolando Arrieta², Yuri Hernández¹,
Eduardo Montoya¹

¹ Dirección de Investigación y Desarrollo, 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

Resumen

Se presenta el diseño de un módulo portátil y compacto para la obtención del ^{99m}Tc a partir del ^{99}Mo , mediante extracción con solventes y purificación posterior mediante cromatografía en columnas de alúmina básica y ácida. Se describe la función y momento de actuación de cada componente (mecánico, eléctrico, etc.). El módulo propuesto operará en forma automática minimizando las intervenciones manuales. Se redundará en lo referente a los sistemas de seguridad en cuanto al empleo de sensores y cámaras digitales a fin de tener un mayor control a distancia apropiada. El prototipo propuesto es de bajo costo económico, tecnología accesible y fácil mantenimiento a fin de cumplir con los niveles y estándares de calidad establecidos para su aplicación medicinal.

Design and definition of parameters of a portable system for obtaining radioisotope ^{99m}Tc (GENVI)

Abstract

We presents the design of a compact and portable module for obtaining from ^{99}Mo ^{99m}Tc by solvent extraction and subsequent purification by column chromatography on basic alumina and acidic. It determines the function and operation of each component (mechanical, electrical, etc.). Operate the proposed module automatically minimizing any manual operation. It redund storegarding security systems regarding the use of sensors and digital cameras to take more appropriate remote control. The proposed prototype is low economic cost technology accessible and easy maintenance to meet the quality standards set levels for medical application.

1. Introducción

El Tecnecio-99m (^{99m}Tc) es el radioisótopo más utilizado en medicina nuclear. Su uso en diagnóstico médico permite visualizar imágenes de estructuras anatómicas y brindar información sobre las distintas funciones orgánicas. Su gran demanda se debe a sus favorables propiedades nucleares así como a la gran cantidad de compuestos que se pueden marcar con él (radiofármacos). Sin embargo, en nuestro país su aplicación se encuentra aún limitada por su distribución restrictiva debido tanto a su relativo corto periodo de semidesintegración (6,02 h) y el hecho de contar con un solo centro de producción (reactor RP-10).

Una alternativa a la limitación planteada lo constituyen los generadores portátiles de ^{99}Mo - ^{99m}Tc , que posibilitará su uso en lugares alejados a los centros de producción permitiendo una mayor cobertura de

pacientes así como una efectiva aplicación de la medicina nuclear.

El prototipo planteado en el presente trabajo se basa en un diseño a partir de la referencia [1] redundando en sistemas de seguridad y nivel de automatización lo suficientemente adecuado para su uso efectivo.

2. Descripción del diseño

El diseño se basa en un sistema de conductos, electroválvulas, sensores cuyo esquema se muestra en la Figura 1, teniendo como referencia el sistema desarrollado por Sankha Chattopadhyay [1,2].

El sistema mecánico está compuesto a base de materiales de acero inoxidable c316, teflón y plomo antimoniado en las principales funciones que ofrece el sistema para el proceso directo en la obtención del producto.

*Correspondencia autor: jgago@ipen.gob.pe

Los otros materiales con funciones indirectas son el aluminio 6063, vidrio y acrílico. El sistema de transporte de las diferentes soluciones estará centralizado por una bomba de vacío, que mediante un sistema de electroválvulas y sensores permite el

desplazamiento del flujo de aire por los conductos o vías ya programadas, que a su vez provocará una diferencia de presiones que permitirá el desplazamiento de las diferentes soluciones para la obtención del ^{99m}Tc .

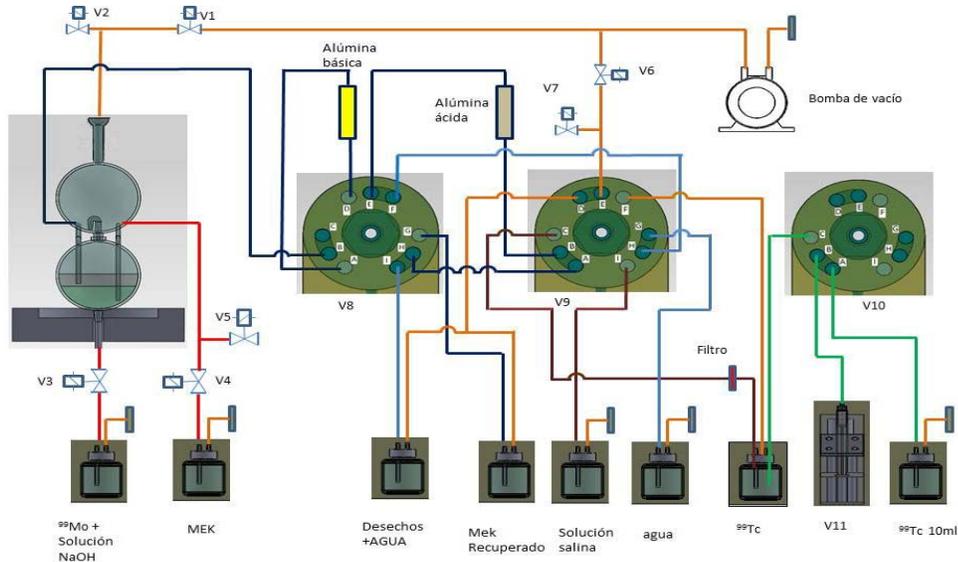


Figura 1. Diseño del sistema de obtención del ^{99m}Tc .

El recorrido de las soluciones será a través de tubos de flexibles de teflón; asimismo, el intercambio de vías será a través de electroválvulas especiales de teflón desarrollados en el taller mecánico de INDE. El uso de teflón es por su inercia química frente a soluciones ácidas o básicas. Las otras electroválvulas de acero inoxidable solo servirán para el paso del flujo de aire que proporcionara la bomba de vacío.

Otro de los componentes que se va emplear, son dos cámaras esféricas de vidrio borosilicato dispuestas según la Figura 2, la que se encuentra en la parte inferior tendrá la función de separador de líquidos y evitar que la solución sea arrastrado hacia la bomba de vacío. En la cámara esférica inferior (reactor) se realizará las reacciones de las soluciones para la obtención del ^{99}Tc . Este proceso de reacción será monitoreado por dos cámaras web, uno de ellos dirigido hacia la cámara del separador de fluidos para controlar el estado libre de solución y, la segunda cámara va controlar al reactor y observar las turbulencias que se generen con la bomba de vacío y el ingreso de aire de las electroválvulas correspondientes. Para el momento de la formación de fases que

provocará las dos soluciones estén bien definidas, se procederá a retirar la solución que se encuentre en la fase superior.

Las sustancias al irradiarse en el reactor se activarán por inducción neutrónica expresada como actividad (Ci) y por eso hay la necesidad de blindar la radiación electromagnética producida, en la práctica, con plomo antimoniado, dispuestos en anillos tal como se representa en la Figura 2.

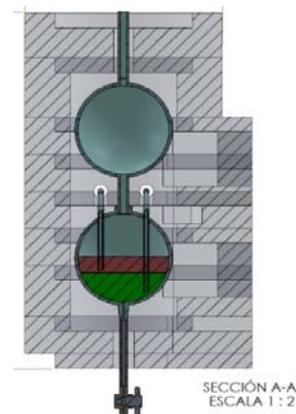


Figura 2. Reactor químico – radiactivo.

2.1 Sistema de electroválvulas

Se empleará dos tipos electroválvulas, el primero desarrollado en el taller mecánico de INDE, que tiene las siguientes características:

- Es de material de teflón por donde circula las soluciones acidas y básicas.
- Tiene un accionamiento de un motor eductor de corriente continua de 10V.
- Puede intercambiar 6 vías en dos posiciones.

La causa de este desarrollo es la exigencia aséptica del contacto de la solución con todos los conductos (o vías). En la Figura 3 se puede observar las posiciones y vías disponibles que puede ofrecer este mecanismo.

El segundo tipo de electroválvula que se va a emplear es de adquisición comercial, con las características que sus componentes son de acero inoxidable c316 y solo tendrá función de habilitar el paso de flujo de aire. Este tipo de electroválvula tiene 2 posiciones y 2 vías para conexiones de 1/8".

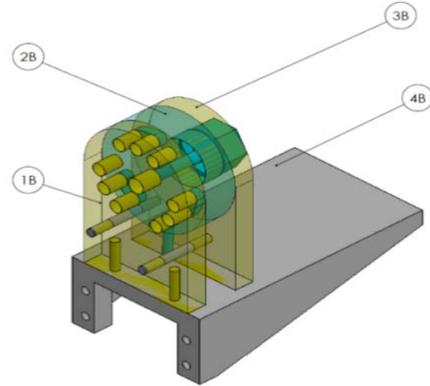


Figura 3. Primer prototipo de válvula múltiple: vías (6) y posiciones (2).

2.2 Diagrama Espacio-Tiempo

La secuencia de funcionamiento de cada electroválvula y bomba de vacío va seguir un orden de operación según el esquema que se muestra en la Figura 4.

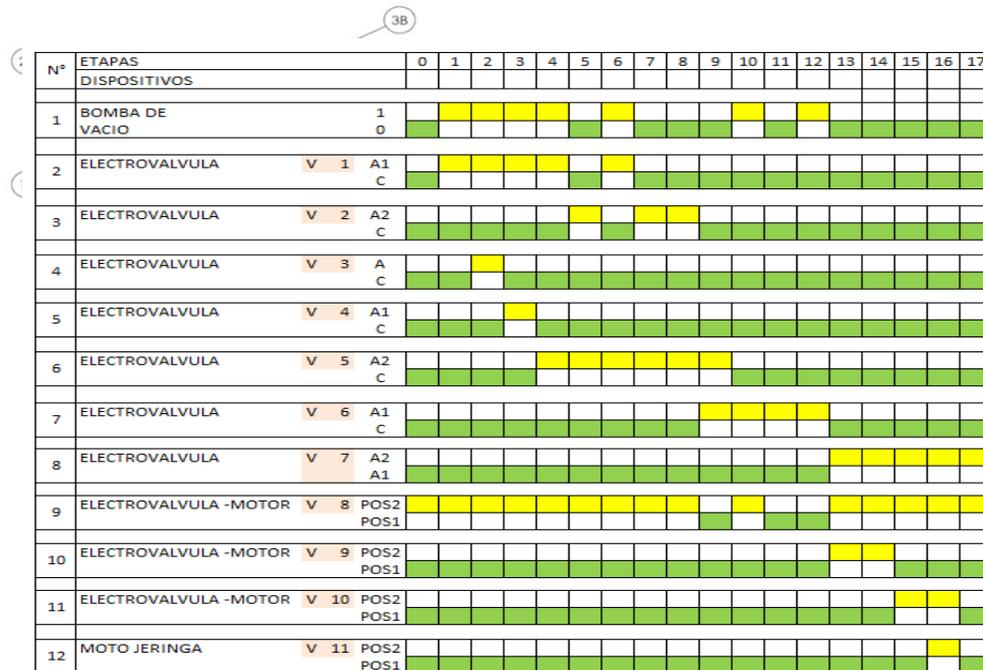


Figura 4. Diagrama espacio – tiempo.

Electroválvula V1: Controla el flujo de aire que succiona la bomba de vacío.

Electroválvula V2: Controla el flujo de aire que ingresa del medio ambiente previo filtrado hacia las cámaras esféricas de vidrio

(reactor) para atenuar la turbulencia en la mezcla de las soluciones.

Electroválvula V3: Controla el ingreso de la solución que contiene ⁹⁹Mo hacia el reactor.

Electroválvula V4: Controla el ingreso de la solución que contiene MEK hacia el reactor.

Electroválvula V5: Controla el ingreso de aire del medio ambiente previo filtrado hacia el reactor, para generar la turbulencia en el proceso de mezcla de las soluciones ácidas y básicas.

Electroválvula V6: Controla el ingreso del flujo de aire que van recorrer las electroválvulas circulares de teflón (V 8 y V 9).

Electroválvula EV7: Controla el ingreso del flujo de aire del medio ambiente, previo filtrado, hacia sistema de jeringa.

Electroválvula V8: Permitirá el paso de la solución ⁹⁹Mo ⁹⁹Tc hacia los filtros de alúmina y ácida en combinación con la electroválvula V9 y posibilitará una recuperación del MEK

Electroválvula EV9: Tendrá la función principal de obtener el ⁹⁹Tc, habilitando el ingreso de la solución salina.

Electroválvula EV10: Habilitará la distribución del ⁹⁹Tc en forma controlada por el motor jeringa.

Motor jeringa VII: Es un sistema dosificador a base de una jeringa descartable controlado por un motor reductor de corriente 12V DC.

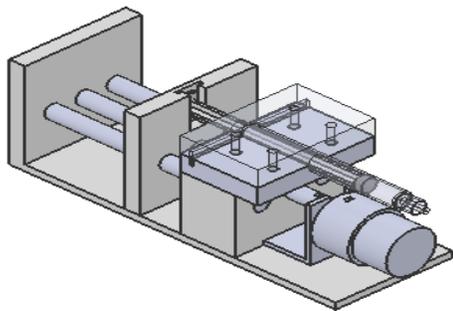


Figura 5. Diseño de motor-jeringa.

2.3 Determinación de actividad (mCi) y capacidad de producción

Considerando que en el extractor se emplean 30 mL de solución alcalina de Na₂MoO₄ y 30 mL de MEK. Se asume para el recinto interior un blindaje de 7 cm de diámetro de base, 15 cm de alto y un espesor de pared de Pb de 3 cm, lo que daría una masa aproximada de 29 kg compatible con los 34 kg que se indica en algunos modelos. El cálculo de blindaje, basado en sistemas similares [1,2], es adecuado para una actividad del orden de 400 mCi de ⁹⁹Mo que

es la máxima actividad que se utilizaría para la obtención del radioisotopo ^{99m}Tc en el prototipo propuesto.

2.4 Cálculo del Blindaje

El blindaje de plomo es usado para atenuar la radiación emitida por ⁹⁹Mo (740 KeV) y ^{99m}Tc (140 KeV). La actividad de la fuente es de 400 mCi.

Se tiene como referencia un blindaje de 30 mm de espesor plomo. El blindaje de plomo va estar en una estructura de acero inoxidable donde las partes laterales y posteriores tendrán una pared de acero inoxidable de 3 mm de espesor, la parte frontal solo tendrá una pared de vidrio de 6 mm de espesor.

Este diseño tiene las longitudes o distancias (Tabla 1) para determinar la tasa de dosis, principalmente en la superficie de contacto de la pared de vidrio.

Tabla 1. Distancias para establecer la tasa de dosis.

| Material | Fuente ⁹⁹ Mo | Aire | Blindaje Pb | Aire | Vidrio | Aire |
|-----------------|-------------------------|------|-------------|------|--------|------|
| Distancias (mm) | 0 | 1 | 30 | 75 | 6 | 1000 |
| | | 1112 | | | | |

Se elaboró el modelo para el cálculo de la tasa de dosis frontal a 1m de la superficie externa de la cabina (pared de vidrio), para un blindaje de 30 mm de Pb.

Para este cálculo se utilizó dos procedimientos, en el primero se empleó la siguiente ecuación:

$$Exposición = A \cdot \frac{\tau}{d^2} \dots \dots (1)$$

Donde:

A: Actividad (Ci)

τ: 0.112924 ($\frac{m^2 \cdot h}{Ci \cdot h}$)

d: distancia (m)

La constante “τ” denominado factor gamma es la tasa de dosis a una distancia específica de una determinada cantidad de un radionúclido emisor de rayos gamma. Esta constante se utiliza con frecuencia para fines de protección radiológica [3].

Tabla 2. Factores de transmisión para fotones gamma a través del blindaje de plomo [4].

| Ítem | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---------------------------------------|---|----|----|----|----|----|----|
| Hemi espesor Pb (m) x10 ⁻³ | 7 | 14 | 21 | 28 | 35 | 42 | 49 |

Utilizando la ecuación 1, con una actividad de 400 mCi y los factores señalados en la Tabla 2 se obtienen los valores teóricos de exposición de 2.77 mSv/h.

Un segundo procedimiento se hace utilizando el software MicroShield 4.00 [5]. Se obtiene una tasa de dosis de 4.145 mSv/h y a una distancia de 1 m donde el operador puede trabajar a 0.042 mSv/h.

La dosis del personal ocupacionalmente expuesto es de 0.025 mSv/h. En la superficie de la pared de vidrio, se calcula requerirá un blindaje mayor, el espesor que se empleará es de 65 mm. Estos datos serán verificados experimentalmente.

2.5 Sistema de control electrónico

La secuencia de funcionamiento de las electroválvulas y el control de la operación del equipo se realizará con un controlador de relay programable tipo Eaton Moeller EASY820 o similar. Estos dispositivos están diseñados para operar en condiciones de ambientes industriales, por lo que tienen una alta inmunidad al ruido y garantizan una operación continua libre de fallas. Adicionalmente se prevé dotar al equipo de un sistema de comunicación con una PC a través de un puerto USB para realizar el registro de operación y eventos, así como proporcionar una opción alternativa de control. Para ello se tiene previsto realizar el desarrollo del software de control correspondiente.

3. Conclusiones

El diseño define los parámetros para la fabricación de un primer prototipo de un generador de Tecnecio empleando materiales y accesorios dentro del medio local, económico y cumpliendo con los estándares de calidad, de fácil mantenimiento y operación segura.

El cálculo de blindaje indica que se verificará experimentalmente con espesores de plomo que oscilan entre 30 mm y 65 mm, porque existen factores que varían según la obtención de la fórmula para estos cálculos.

Desde el punto de vista de la protección radiológica se tiene que establecer un área contralada mínima de 2.5 m alrededor de la fuente para tener una tasa de dosis menor o igual a 7.5 uSv/h en los exteriores de dicha área.

4. Agradecimiento

Se agradece especialmente el apoyo del Ing. Alvaro Aguirre del grupo de Cálculo Análisis y Seguridad de la Dirección de Producción del IPEN por los cálculos del blindaje de plomo.

5. Bibliografía

- [1] Sankha Chattopadhyay, Sujata Saha Das, Luna Barua. A simple and rapid technique for recovery of ^{99m}Tc from low specific activity (n, γ) ^{99}Mo based on solvent extraction and column chromatography. *Applied Radiation and Isotopes*. 2010; 68:1-4.
- [2] Sankha Chattopadhyay, Luna Barua, Anirban De, Sujata Saha Das, Remashan Kuniyil, Partha Bhaskar, Sasanka Shekhar Pal, Sishir Kumar Sarkar, Malay Kanti Das. Computerized compact module for separation of ^{99m}Tc -radionuclide from molybdenum. Elsevier. *Applied Radiation and Isotopes*. 2012; 70:2631-2637.
- [3] Unger LM, Trubey DK. Specific gamma-ray dose constants for nuclides important to dosimetry and radiological assessment. In: Oak Ridge National Laboratory, ORNL/RSIC-45. Tennessee; 1982.
- [4] Groth MJ. Empirical dose rate and attenuation data for radionuclides in nuclear medicine. *Australasian Physical & Engineering. Science in Medicine*. 1996; 19(3):160-167.
- [5] MicroShield Software 4.00. Licensed to: ANSTO. Serial: 4.00-00216.

Efectos de la radiación gamma sobre la vitamina C en solución de agua, jugo de naranja y cristales secos

Johnny Vargas*

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

Resumen

Uno de los compuestos orgánicos más sensibles a la temperatura, almacenamiento y radiaciones es el ácido ascórbico. En una planta de irradiación para el tratamiento cuarentenario se procesan frutas y hortalizas frescas, vegetales portadores de vitamina C. En este estudio se presentan los resultados de la irradiación de vitamina C a una determinada concentración (42,24 mg/100 ml), contenida en 3 diferentes sustratos: Jugo de naranja, solución de agua y ácido ascórbico puro en cristales, diluida posteriormente en agua. Las dosis aplicadas de radiación gamma fueron 0; 0,1; 1,0 y 10 kGy, la tasa de dosis fue 7,433 Gy/min. Los resultados muestran que los mayores porcentajes de destrucción de vitamina C irradiada, a las dosis respectivas, se presentaron en la solución de vitamina C contenida en agua (15,62; 64,11 y 84,38 %) debido al efecto indirecto de la radiación gamma. Para la vitamina C contenida en jugo de naranja se encontraron porcentajes de: 5,25; 7,33 y 50,50 % respectivamente, debido a que los otros constituyentes del jugo de naranja tienen un efecto protector en la vitamina C contra las radiaciones. Para la vitamina C en cristales se hallaron menores porcentajes de destrucción: 3,13; 4,60 y 6,74 %, demostrándose que el tipo de sustrato y la dosis aplicada tienen un papel importante en los efectos de la radiación sobre la vitamina C.

Gamma radiation effect on vitamin C in water solution, orange juice and dried crystals

Abstract

One of the more organic compounds sensitive to temperature, storage and radiation is ascorbic acid. In an irradiation plant quarantine treatment, will be processed fruits and vegetables, vegetable carriers of vitamin C. We present the results of the irradiation of vitamin C at a specific concentration (42.24 mg/100 ml) contained in three different substrates: orange juice, water solution of ascorbic acid in pure crystals diluted in water. The applied doses of gamma radiation were 0, 0.1, 1.0, and 10 kGy dose rate was 7.433 Gy / min. The results show that the highest vitamin C destruction irradiated at the respective doses were presented in the solution of vitamin C contained in water, (15.62, 64.11 and 84.38 %) due to the indirect effect of gamma radiation to the vitamin C contained in the orange juice percentages were: 5.25, 7.33 and 50.50 % respectively, due to which the other constituents of orange juice have a protective effect against vitamin C radiation for vitamin C in crystals were lower destruction rates: 3.13, 4.60 and 6.74 %. It is demonstrated that the type of substrate and the applied dose have an important role in the effects of radiation on vitamin C.

1. Introducción

El Perú ha tenido un incremento notable en la agro-exportación de vegetales frescos, que contienen, entre otros nutrientes, la vitamina C. Estos productos requieren de tratamientos cuarentenarios sofisticados como el agua caliente o el fumigante químico bromuro de metilo, que es perjudicial para la salud y 50 veces más destructor de la capa de ozono que los clorofluorocarbonos (CFC), por lo que está próxima su prohibición total.

A través del tiempo se ha ido reduciendo o prohibiendo el uso de aditivos y fumigantes

químicos sobre los alimentos, la tendencia actual es utilizarlo cada vez menos.

La tecnología de irradiación de alimentos surge como una alternativa viable, como tratamiento cuarentenario por ser un proceso físico, debido a que los rayos gamma son radiaciones electromagnéticas de una longitud de onda muy corta, de la misma naturaleza que la luz visible, ultravioleta, infrarrojo, rayos X, microondas y ondas de telecomunicaciones. Además es un proceso en frío, que no eleva la temperatura del

* Correspondencia autor: jvargas@ipen.gob.pe

producto, es de alta penetrabilidad y no deja residuos [1].

Este proceso reemplaza a los métodos químicos más tóxicos para combatir a las poblaciones microbianas e insectos de los alimentos.

La Vitamina C es uno de los compuestos orgánicos más sensibles a la temperatura, almacenamiento y radiaciones, está presente principalmente en las frutas y hortalizas frescas, siendo la más utilizada de todas. El máximo defensor de esta vitamina fue el premio Nobel Linus Pauling, un químico americano que sostuvo la teoría que la mayoría de las enfermedades se producía por deficiencia de la misma [2].

La radiación sobre los alimentos no actúa de manera semejante en todo tipo de productos y el grado de destrucción de la vitamina, depende de la composición misma del alimento, porcentaje de agua contenida (o absorbida) por el mismo tiempo transcurrido entre la irradiación y el análisis, condiciones de almacenaje previas y posteriores a la irradiación, dosis de radiación, tasas de dosis, naturaleza y concentración de la vitamina, presencia o ausencia de aire, temperatura y otras variables [3].

Dentro de las otras variables debemos de agregar la geometría del producto, la densidad relativa y la distancia fuente de radiación-producto.

La irradiación de alimentos puede variar el contenido vitamínico de un alimento, pero esta variación puede minimizarse controlando algunos parámetros, tales como la irradiación en congelado, al vacío, tiempo de almacenamiento, etc.

Por otro lado, Diehl (1990) menciona que a bajas dosis (1 kGy) no encontró cambios significativos en contenidos de vitamina C, por ejemplo en naranjas, plátanos, mangos y papayas [4]. También se encontraron porcentajes similares de vitamina C en papas irradiadas durante el control después de 5 meses de almacenamiento [5].

Debido a su importancia desarrollamos este trabajo de investigación sobre el efecto de la radiación gamma en el ácido ascórbico o Vitamina C, en diferentes sustratos y a

diferentes dosis.

2. Experimental

Los productos fueron irradiados en el equipo de irradiación Gammacell 220. Previamente se hicieron análisis dosimétricos, que de acuerdo con la densidad y geometría nos permitieron calcular los tiempos de exposición a la radiación gamma (13,45; 134,5 y 1345 minutos), para administrar las diferentes dosis deseadas a ser estudiadas.

Para las dosimetrías se utilizó el método ASTM E 1026 – 1995 Practice for Using the Fricke Reference Standard Dosimetry System, que consiste en una solución de iones ferrosos en medio ácido, estos por la radiación se oxidan a iones férricos, cuantificándose por espectrofotometría. Para la determinación de la vitamina C se utilizó el método de la AOAC.

Las soluciones de vitamina C diluída en agua y contenida en el jugo de naranja se irradiaron en matraces aforados de 100 ml. El ácido ascórbico o vitamina C en cristales se irradiaron en viales, luego se diluyeron con agua destilada en matraces aforados a 100 ml.



Figura 1. Solución de ácido ascórbico y jugo de naranja en cámara de irradiación.

3. Resultados y Discusión

En la Tabla 1 se aprecia que el mayor porcentaje de destrucción sucede en la solución de ácido ascórbico en agua, que para 10 kGy es de 84,38 %, debido al efecto indirecto de las radiaciones. En el caso de la vitamina C contenida en el jugo de naranja, a la misma dosis, el porcentaje de destrucción es de 50,50%, debido a que los otros nutrientes presentes en la naranja sirven de agente protector contra las radiaciones.

Tabla 1. Irradiación de la vitamina C en solución con agua, jugo de naranja y en cristales.

| Dosis (kGy) | Solución de ácido ascórbico en agua | | Jugo de Naranja | | Acido ascórbico en cristales | |
|-------------|-------------------------------------|--------------------|-------------------------------|--------------------|-------------------------------|--------------------|
| | mg ácido ascórbico por 100 ml | (%) de destrucción | mg ácido ascórbico por 100 ml | (%) de destrucción | mg ácido ascórbico por 100 ml | (%) de destrucción |
| 0 | 42,68 | 0 | 42,24 | 0 | 42,24 | 0 |
| 0,1 | 35,64 | 15,62 | 40,44 | 5,25 | 40,92 | 3,13 |
| 1,0 | 27,08 | 64,11 | 39,55 | 7,33 | 40,30 | 4,60 |
| 10,0 | 6,60 | 84,38 | 21,56 | 50,50 | 39,39 | 6,74 |

También se observa que dosis de 0,1 y 1,0 kGy producen una destrucción entre un 5,25 % a 7,33 % en el jugo de naranja; sin embargo, a las mismas dosis en la solución de agua se observa una destrucción entre 15,62 % y 64,11 % respectivamente. También podemos apreciar que a mayor dosis se observa un mayor porcentaje de destrucción, que está en relación con el tipo de sustrato, donde el menor porcentaje de destrucción de vitamina C sucede en:

Cristales secos < jugo de naranja < solución de agua

Las dosis usadas para el tratamiento cuarentenario oscilan entre 100 Gy y 400 Gy, teniendo en cuenta que otra aplicación de la tecnología de irradiación es la descontaminación microbiana, donde se aplica dosis promedio de 10 kGy, por lo que la dosis administrada para el tratamiento cuarentenario en frutas y hortalizas es hasta 100 veces menor, minimizándose de esta manera los efectos adversos en sus características intrínsecas de los vegetales a tratar.

4. Conclusiones

Dosis de 0,1 kGy y 1,0 kGy producen destrucción de vitamina C, en la solución de agua, de 15,62 % y 64,11 % respectivamente; mientras que en el jugo de naranja los porcentajes de destrucción son menores y oscilan entre 5,25 % y 7,33 %, respectivamente, debido al efecto protector contra las radiaciones de los otros constituyentes presentes en el jugo de naranja.

A mayor dosis, mayor porcentaje de destrucción de vitamina C. El menor porcentaje de destrucción de vitamina C ocurre en cristales secos, seguido por el jugo de naranja y el mayor porcentaje de destrucción de la vitamina C o ácido ascórbico se encontró en la solución de agua.

Las dosis óptimas para el tratamiento cuarentenario oscilan entre 100 Gy y 400 Gy, por lo que las pérdidas de las vitaminas son mínimas.

La radiación gamma es una alternativa como tratamiento cuarentenario para la exportación de frutas y hortalizas, permitirá ampliar y mejorar el acceso de los productos peruanos a los mercados internacionales.

5. Bibliografía

- [1] Vargas J, *et al.* Aplicaciones de la radiación gamma en frutas y hortalizas. Perspectivas agroindustriales para el espárrago peruano. En: Instituto Peruano de Energía Nuclear. Informe Científico Tecnológico 2004. Lima: IPEN; 2005. p. 123-128.
- [2] Botanical Online. Propiedades de la Vitamina C (Ácido ascórbico) [homepage de internet]. Disponible en: <http://www.botanical-online.com/medicinalesvitaminac.htm>
- [3] Calderón T. La irradiación de alimentos. Principios realidades y perspectivas de futuro. Madrid : Mc Graw-Hill; 2000.
- [4] Diehl JF. Safety of irradiated foods. New York: Marcel Decker Inc.; 1990.
- [5] Cohen AJ, Elias PS, Eds. Recent advances in food irradiation. Elsevier Biomedical Press; 1984.

Desarrollo de un potenciostato analítico de bajo costo y altas prestaciones

Oscar Baltuano*, Yuri Hernández, Eduardo Montoya

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

Resumen

Se ha diseñado y construido un potenciostato analítico de bajo costo para su uso en experimentos de electroquímica y cuantificación de iones de metales pesados en agua. El prototipo opera con una celda de tres electrodos y está concebido para funcionar como equipo de laboratorio. Ha sido probado en condiciones controladas, correlacionando diversas concentraciones de plomo, cobre y mercurio disueltos en agua y midiendo la señal obtenida, también se han realizado pruebas con electrodos de trabajo de cobre y oro.

Abstract

An analytical potentiostat of low cost, for use in electrochemistry experiments and determination of heavy metal ions in water has been designed and built. The prototype is intended for being used with a three electrode cell. And has been conceived to work as laboratory equipment and has been tested under controlled conditions, correlating diverse concentrations of dissolved lead, copper and mercury ions and measuring the obtained signals. Copper and gold working electrodes have been used as working electrodes.

1. Introducción

Un potenciostato analítico es un instrumento que utiliza procesos electroquímicos para la determinación de concentración de ciertos elementos trazas en agua. Es un instrumento complejo que requiere un ajuste muy preciso de las condiciones de operación de los componentes analógicos y un sistema de control que permita variar / cambiar las condiciones eléctricas de la celda de medición. Con el desarrollo de las computadoras y los sistemas electrónicos embebidos, el diseño de estos instrumentos se ha simplificado considerablemente. Diversas propuestas de potenciostatos de propósito específico, “hechos en casa”, se han descrito en la literatura [1,2]. En este trabajo se presenta una alternativa de alta tecnología y bajo costo, desarrollada en los laboratorios de investigación y desarrollo del IPEN.

2. Desarrollo experimental

2.1 Tarjeta de potenciostato

El potenciostato se ha diseñado y construido teniendo en cuenta no solo la información disponible en la literatura, sino la experiencia previa de los autores en el desarrollo de instrumentación científica. Una tarjeta Arduino Duemilanove se utiliza para generar, mediante software, la rampa de voltaje y los niveles de la señal rectangular aplicados

sobre la celda electroquímica. Este sistema hace posible controlar todos los parámetros necesarios para obtener una gran versatilidad, lo que le permite adaptarse a diferentes condiciones de operación. Algunos dispositivos adicionales como ADC's y DAC's de 12 bits y una memoria RAM de 32KB, han sido montados externamente para superar algunas limitaciones de la tarjeta Arduino Duemilanove. Todos los dispositivos se controlan y comunican a través de una interface SPI y consisten en un convertidor DAC de 12-bits y de 2 canales de salida (MCP4822), un convertidor ADC de 12-bits y 4 canales de entrada (MCP3204) y una memoria SRAM externa de 32KB (23K256) que amplía la limitada capacidad de memoria de la tarjeta Arduino Duemilanove (2KB). Todos estos dispositivos son fabricados por la compañía Microchip. Este sub-sistema, además controla la ganancia del convertidor I-V del potenciostato y el motor vibrador acoplado al electrodo de trabajo de la celda electroquímica [3].

Los componentes digitales y el sistema analógico se han montado sobre una tarjeta de impreso en doble cara, con componentes de montaje de superficie (SMD). Esto ha permitido que el tamaño de la tarjeta se

* Correspondencia autor: obaltuano@ipen.gob.pe

reduzca lo suficiente como para instalarse sobre la tarjeta Arduino Mega en forma de un “shield” con un tamaño de 6.5 cm x 5.5 cm.



Figura 1. Primer plano de la tarjeta analógica del potencióstato para ser montada como *shield* sobre una tarjeta Arduino Duemilanove.

2.2 Celda electroquímica

Los experimentos preliminares de voltametría de redisolución anódica se realizaron empleando una celda electrolítica de teflón, construida en el laboratorio. Como electrodo de trabajo se utilizó alambre de cobre para bobinas de 160 micras de diámetro, tomando como punto de partida la propuesta de Legeai & Vittori [4]. El alambre se embebió en acrílico transparente de uso dental, empleando como molde una punta de micropipeta Eppendorf de 50 μL . Luego se pulió el bloque de acrílico, hasta dejar expuesta una sección circular de cobre metálico de 160 micras de diámetro.



Figura 2. Celda electroquímica construida para realizar las pruebas de medición del potencióstato.

El electrodo de referencia se construyó insertando un trozo de alambre de plata en una jeringa descartable, el cual se llenó con

solución de KCl 4M saturado en AgCl. Como electrodo auxiliar se empleó un disco de acero inoxidable tipo 304, que se usó también como fondo de la celda. En pruebas posteriores, el electrodo de trabajo de cobre, se reemplazó con un electrodo de oro de 250 micras y con el cual se obtuvieron los mejores resultados. La Figura 2 muestra una imagen de la celda electrolítica y los electrodos empleados.

2.3 Integración y montaje final

La tarjeta electrónica del potencióstato tiene el tamaño y la forma para ser montada sobre una tarjeta Arduino Duemilanove. Esta última posee la capacidad de conectarse a una PC a través de un puerto USB emulando una conexión serial RS-232. El montaje de todos los componentes se ha realizado dentro de un gabinete de aluminio de 9.5 x 12 x 4 cm, en su interior se instaló un transformador y fuente de voltaje de +12V/-12V para la alimentación de los componentes electrónicos analógicos. Los conectores respectivos se han montado sobre el gabinete de aluminio, con lo cual todo el sistema queda confinado dentro para un correcto aislamiento eléctrico.

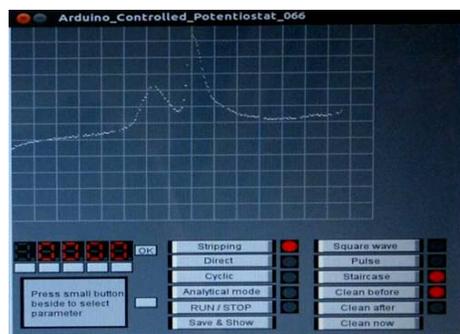


Figura 3. Captura de pantalla de la interfaz desarrollada para controlar el módulo del potencióstato.

La tarjeta Arduino Duemilanove está basada en un microcontrolador ATMEGA328 y el firmware ha sido escrito en el entorno de desarrollo proporcionado por la plataforma Arduino [4]. Para el control, desde la PC, se ha escrito un programa de comunicación y control en lenguaje Processing [4], el cual permite controlar todas las variables y recuperar los datos de la memoria del potencióstato luego de finalizada la adquisición y procesamiento de los mismos (Figura 3).

3. Resultados y discusión

Para realizar las mediciones mediante voltamperometría de redisolución anódica, en condiciones de laboratorio, se ha empleado como electrodo de trabajo un micro-electrodo vibrante de oro [6] de 250 μm de diámetro. El prototipo de potenciostato desarrollado se conectó a una tarjeta Arduino Duemilanove, la que a su vez estuvo conectada a una PC a través del puerto USB. Los datos fueron enviados a la PC para su posterior análisis. Las condiciones experimentales de operación se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Parámetros de operación del potenciostato.

| Parámetro | Valor |
|--|-------|
| Tiempo de electrodeposición (s) | 60 |
| Altura de pulso (mV) | 25 |
| Tiempo entre el inicio del pulso y el muestreo de corriente (ms) | 3 |
| Tiempo entre el muestreo de corriente y el final del pulso (ms) | 3 |
| Altura del escalón de la rampa de barrido de potencial (mV) | 1 |
| Potencial de electrodeposición (mV*) | -600 |
| Potencial de final de barrido y reposo (mV*) | +750 |

* Respecto al electrodo de referencia Ag/AgCl - 4M en KCl

El electrolito de soporte, empleado para las determinaciones de metales pesados mediante voltametría de redisolución anódica, es una solución de ácido clorhídrico 0,1 M. Se pone énfasis en que el sistema químico a emplear puede ser neutralizado con una suspensión de carbonato de calcio, para obtener, como producto de desecho, una solución de cloruro de calcio, que no es tóxica para el ambiente.



Figura 4. Gabinete de aluminio conteniendo la tarjeta de potenciostato, tarjeta arduino Duemilanove y tarjeta de alimentación de voltajes.

La Figura 5 presenta un ejemplo de las señales transitorias asociadas con la determinación de trazas de plomo en agua, mediante voltametría de redisolución anódica, empleando el prototipo de potenciostato descrito en este informe. La señal en la parte superior de la pantalla del osciloscopio, corresponde a la onda cuadrada con que se excita la celda electrolítica, mientras que la señal en la parte inferior corresponde a la corriente eléctrica, que se genera como respuesta en el electrodo de trabajo. En el ejemplo mostrado, cada pulso tiene una duración de 25 milisegundos y en cada pulso, la lectura se ha tomado inmediatamente antes del pulso siguiente. Los pulsos de excitación de onda cuadrada, están montados sobre una rampa de potencial que evoluciona hacia valores positivos desde valores del orden de -1 voltio, con respecto al electrodo de referencia y con escalones de 1 mV.

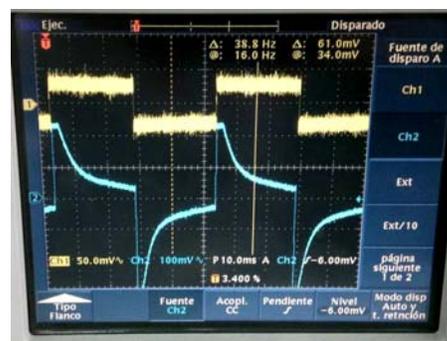


Figura 5. Señales del potencial de excitación de onda cuadrada (trazo superior) y corriente transitoria de repuesta (trazo inferior), obtenidas empleando como electrodo de trabajo un disco de cobre de 160 μm .

Las Figuras 6 y 7 presentan las señales obtenidas para una concentración de Pb(II) de 200 $\mu\text{g/L}$. Las curvas corriente - potencial de la Figura 5 corresponden a la respuesta del electrodo de trabajo, a los impulsos de onda cuadrada que resultan positivos o negativos con respecto al valor de la rampa. En la Figura 7 se representa la señal neta, que corresponde a la diferencia entre las dos señales mostradas en la Figura 6. La medición repetida en 21 veces dio una corriente promedio de $9,41 \times 10^{-7}$ A, con un coeficiente de variación del 1,5 %.

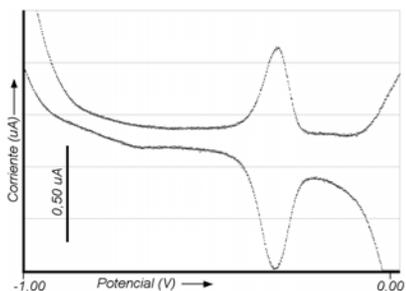


Figura 6. Respuesta del electrodo de trabajo a la excitación de potencial de onda cuadrada, para una concentración de Pb(II) de 200 µg/L.

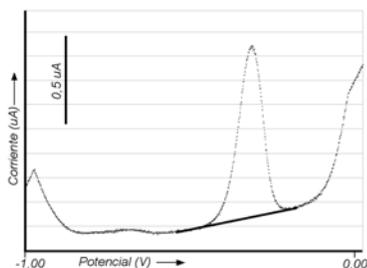


Figura 7. Señal analítica neta (corriente de electrólisis) para una concentración de Pb(II) de 200 µg/L.

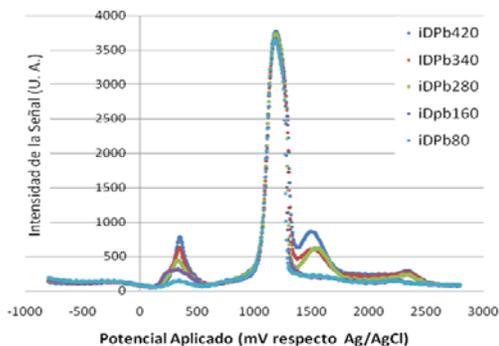


Figura 8. Respuesta del potenciostato para diferentes concentraciones de plomo, cobre y mercurio.

Los resultados obtenidos en las 21 réplicas de la medición para la concentración de Pb(II) de 200 µg/L, evidencian que la repetibilidad de la medición es más que adecuada para el propósito.

4. Conclusiones

La técnica de redisolución anódica es ideal para la determinación de iones pesados disueltos en agua. El uso de esta técnica requiere de instrumentos avanzados los cuales gracias a la electrónica moderna y el

desarrollo de la instrumentación alternativa pueden ser diseñados y construidos a costos muy reducidos. El uso de un electrodo de oro muestra los mejores resultados con respecto a otros materiales; sin embargo, esta condición no es excluyente sino complementaria, lo que implica que la utilización de una celda multielectrodo incrementaría notablemente la capacidad de medición de esta técnica. Teniendo en cuenta los buenos resultados obtenidos con el potenciostato construido, la replicación del diseño y su integración para operar como un solo instrumento con una celda multielectrodo es el siguiente objetivo a alcanzar.

5. Bibliografía

- [1] Gopinath AV, Russell D. An Inexpensive Field-Portable Programmable Potentiostat. *Chem Educator*. 2005; 10:1-6.
- [2] Montoya E, Baltuano O, Montoya H, Mendoza M, Hernández Y. A Low Cost pc-based voltammetric analyzer for determination of cadmium, copper, lead, nickel, zinc and other trace elements in water. En: Instituto Peruano de Energía Nuclear. Informe Científico Tecnológico 1998-2001. Lima; IPEN. 2002. p. 105-107.
- [3] Alves GMS, Magalhaes JMCS, Salaün P, van den Berg CMG. Simultaneous electrochemical determination of arsenic, copper, lead and mercury in unpolluted fresh waters using a vibrating gold microwire electrode. *Analytica Chimica Acta*. 2011; 703:1-7.
- [4] Arduino Electronics. [homepage de Internet]. Disponible en: <http://www.arduino.cc/>.
- [5] Processing 2. [homepage de Internet]. Disponible en: <http://www.processing.org/>.
- [6] Legeai S, Vittori O. A Cu/Nafion/Bi electrode for on-site monitoring of trace heavy metals in natural waters using anodic stripping voltammetry: An alternative to mercury-based electrodes. *Analytica Chimica Acta*. 2006; 560:184-190.

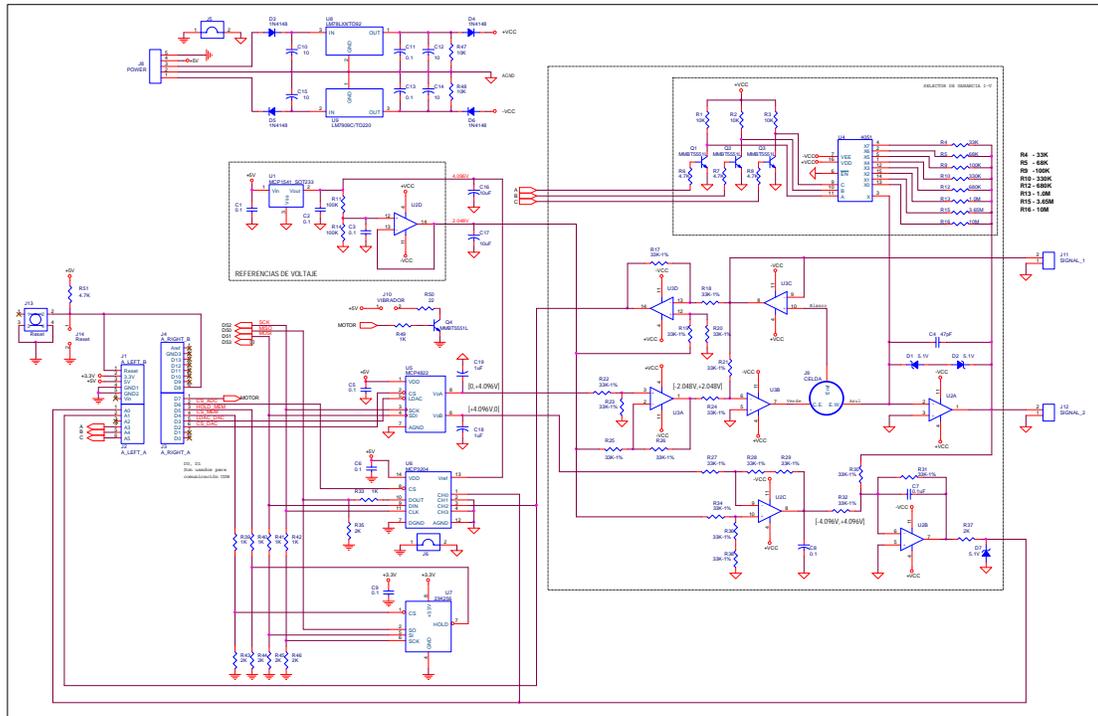


Figura 9. Diagrama esquemático de la tarjeta del potenciómetro.

Monitoreo radiológico ambiental debido al accidente nuclear de Fukushima

José Osóres*, Raúl Jara

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

Resumen

Debido al accidente de Fukushima (Japón), entre los años 2011 y 2012, se realizó el monitoreo radiológico ambiental con la finalidad de evaluar algún posible impacto en el medio ambiente del Perú. Los resultados confirman que, por la posición geográfica de nuestro país, no se produjo ningún tipo de contaminación radiactiva que pueda ser de riesgo para la población.

Environmental radiological monitoring due to the Fukushima nuclear accident

Abstract

Because of the accident of Fukushima (Japan), between 2011 and 2012, we performed the environmental radiological monitoring in order to assess any possible impact on the environment of Peru. The results confirm that, for the geographical position of our country, there was no radioactive contamination that may be of risk to the public.

1. Introducción

El 11 de marzo de 2011, ocurrió un terremoto de magnitud 9,0 a las 5h46 UT en el océano Pacífico (38.30° N, 142.50° E), al este de la ciudad de Sendai, Japón. Posteriormente, a las 6h36 UT, un fuerte tsunami llegó a la planta de energía nuclear Fukushima Dai-ichi, lo que llevó a la pérdida de las unidades de generación de energía y los sistemas de refrigeración. Por consiguiente, la fusión de los núcleos de los reactores de agua en ebullición, la ventilación de los edificios de contención, las explosiones de hidrógeno en los edificios de los reactores y el comienzo de la ebullición en ciertas piscinas dio lugar a grandes emisiones de materiales radiactivos al medioambiente, con la participación de los compartimentos atmosféricos y terrestres. El insumo principal se deriva de una fracción de las aguas de refrigeración contaminadas por el combustible, que luego ingresaron al mar [1].

En nuestro continente, el yodo-131 fue transportado al sur de los Estados Unidos después de 11 días de ocurrido el accidente. La precipitación pluvial fue la principal vía de eliminación de I-131 atmosférico además de su descomposición, lo que resulta en una actividad de I-131 detectable en las aguas superficiales [2].

Por su ubicación geográfica el Perú en el Hemisferio Sur, no es posible que reciba en sus costas los vientos procedentes del Japón

que se encuentra en el Hemisferio Norte, ambos limitados por la Zona de Convergencia Intertropical (ITCZ) ubicada en la línea ecuatorial del planeta (Figura 1).

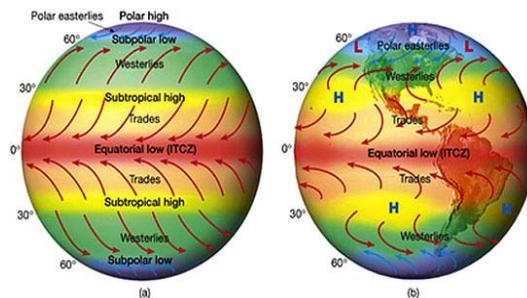


Figura 1. Direcciones prevalentes de vientos superficiales [3].

En el Perú se lleva a cabo el monitoreo radiológico ambiental desde el año 1966 [4] y el propósito principal del mismo es identificar los radionucleídos artificiales que puedan representar riesgo radiosanitario para la población y el medioambiente [5].

Con la ocurrencia del accidente de Fukushima y a fin de asegurar la tranquilidad de la población de nuestro país, se procedió a establecer un plan de monitoreo paralelo al Programa de Vigilancia Radiológica Ambiental que lleva rutinariamente el Instituto Peruano de Energía Nuclear [6].

* Correspondencia autor: josores@ipen.gob.pe

2. Metodología

Entre marzo 2011 y diciembre 2012 se colectaron 465 muestras ambientales procedentes de Ancash, Arequipa, Callao, Cuzco, La Libertad, Lima y Piura (Figura 3).



Figura 2. Zonas de muestreo ambiental.

Dentro de los componentes ambientales colectados se tienen agua de consumo, agua de mar, agua superficial, aire, arena de playa, leche de vaca, moluscos (choro, pota) papa, pescados (anchoveta, anchoas, atún, jurel, caballa, merluza, lisa, harina de pescado), quinua, sedimento marino y suelo superficial [7,8,9,10]; la mayor cantidad de muestras estuvieron orientadas a productos marinos y leche (Figura 3).

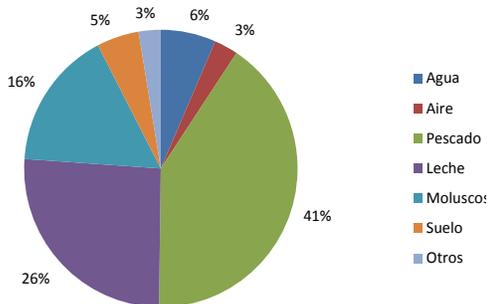


Figura 3. Tipo de muestras colectadas.

Se realizó la determinación de la actividad beta total en muestras de aire y agua con un sistema de radiometría alfa/beta LB4110 Tennelec/Nucleus [11], expresando los valores en miliBequerelios (mBq) o

Bequerelios (Bq) por unidad de volumen. Para la determinación de radionucleídos artificiales emisores gamma (I-131, Cs-134 y Cs-137) se utilizó un sistema de espectrometría gamma de alta resolución de germanio hiperpuro con una eficiencia relativa del 16% asociado al programa de análisis Genie 2000.

Las muestras que presentaron niveles de actividad por encima del umbral de detección instrumental fueron comparadas con la información proporcionada por la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias de México.

3. Resultados y Discusión

Durante el período de estudio, la actividad beta total en aire fue entre $0,53 \pm 0,15$ mBq/m³, valores muy inferiores a los encontrados en México [12], los cuales presentaron una mayor distribución, con un valor promedio de $3,31 \pm 2,95$ mBq/m³ (Figura 4).

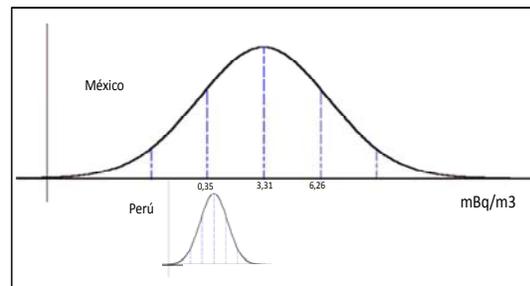


Figura 4. Distribución de frecuencias de actividad beta total en aire (México-Perú).

Los resultados promedio de actividad beta total en agua de consumo humano fueron de $0,06 \pm 0,01$ Bq/L y para agua de mar fueron de $40,27 \pm 1,24$ Bq/L, en el primero de los casos los resultados se encuentran muy por debajo de los valores recomendados por agencias internacionales en donde los niveles de actividad beta total en agua de consumo no deben sobrepasar de 1,00 Bq/L. En el caso del agua de mar, los resultados se deben a la presencia de K-40 y otros elementos naturales propios de este componente ambiental.

El análisis de radionucleídos artificiales emisores gamma en todas las muestras ambientales dieron como resultado de que todos los ensayos estuvieron por debajo del umbral de detección instrumental, el cual se

encuentra entre 1,0 y 10,0 Bq por unidad de masa o volumen; en la Tabla 1 se pueden observar los resultados del análisis de pescado en Fukushima a fines del año 2011 [13] y comparados con los valores de México y Perú, se puede observar que en los países de nuestra región no se detectó ninguno de los radionucleídos evaluados.

Tabla 1. Actividad de radionucleídos emisores gamma en muestras de pescado (Bq/kg).

| | I-131 | Cs-134 | Cs-137 |
|-----------|-------|--------|--------|
| Fukushima | N.D. | 577 | 713 |
| México | N.D. | N.D. | N.D. |
| Perú | N.D. | N.D. | N.D. |

N.D. = No detectado

Madigan *et al.* reportaron un incremento de $0,7 \pm 0,2$ Bq/Kg de Cs-134 y $2,0 \pm 0,5$ Bq/Kg de Cs-137 en atún azul del pacífico *Thunnus orientalis* en las costas de Estados Unidos [14], si bien estos valores no representan riesgo alguno para la población, demostró que los peces migratorios pueden transportar los radiocesios en su cuerpo a través de largas distancias. En el caso de nuestro país y a fin de evaluar probables transferencias, se hicieron estudios detallados en muestras de atún de nuestra región, considerando que la especie predominante en nuestras costas es el atún de aleta amarilla, *Thunnus alalunga*, y al igual que las otras muestras evaluadas no se encontraron valores por encima del umbral de detección instrumental.

El límite establecido en nuestro país para radionucleídos en alimentos es de 1000 Bq/kg [15] y en Japón se redujeron estos niveles hasta 200 Bq/kg [16], en este sentido y asumiendo que a nuestro país llegaran valores de Cs-134 o Cs-137 menores a 1,0 Bq/kg, la población no sufrirá ningún efecto nocivo debido a la radiación por consumo de productos hidrobiológicos, agua o leche de vaca.

4. Conclusiones

En base a los resultados del monitoreo y evaluación de muestras ambientales realizado entre marzo 2011 y diciembre 2012, se puede afirmar que el accidente de Fukushima no ha ocasionado impacto radiológico ambiental alguno en nuestro país.

5. Agradecimientos

A la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias de México por la valiosa información proporcionada durante el desarrollo del estudio.

6. Bibliografía

- [1]. Lagionie P, Bailly Du Bois P, Boust D, Fievet B, Garreau P, Connan O, Charmasson S, Arnaud M, Duffa C, Champion D. Consequences of radioactive releases into the sea resulting from the accident at the Fukushima Dai-ichi nuclear power plant – Evolution of expert investigation according to the data available. Radioprotection. 2012; 47(3):423-447.
- [2]. Yang W, Guo L. Depositional fluxes and residence time of atmospheric radioiodine (I-131) from the Fukushima accident. Journal of Environmental Radioactivity. 2012; 113:32-36.
- [3]. The Remote Sensing Tutorial RST. [homepage de Internet]. Section 14. Atmospheric circulation, weather systems. Acceso 2013-06-21. Disponible en: http://www.fas.org/irp/imint/docs/rst/Sect14/Sect14_1c.html
- [4]. Jibaja E, Amiel J, Pardo C, Salazar E. Radiactividad ambiental en 1966. Boletín de la JCEA. 1967; 12(57):12-25.
- [5]. Osore JM, Gonzáles S, Martínez J, López E, Jara R, Anaya A. Impacto radiológico ambiental del Centro Nuclear RACSO: Programa de vigilancia radiológica ambiental. En: Instituto Peruano de Energía Nuclear. Informe Científico Tecnológico 2002. Lima: IPEN. 2003. p. 205-206.
- [6]. Osore JM, Gonzáles S, Martínez J, López E, Jara R, Anaya A. Radiological environmental monitoring program national level: Results 2009. En: Instituto Peruano de Energía Nuclear. Informe Científico Tecnológico 2009. Lima: IPEN. 2010. p. 159-164.
- [7]. Osore JM, Jara R. Monitoreo radiológico ambiental en la zona costera: Resultados al 2011-04-12. Instituto Peruano de Energía Nuclear. Documento Técnico DT11-005-JOR Lima. 2011. 6 p. [Informe interno].
- [8]. Osore JM, Jara R. Monitoreo radiológico ambiental en la zona costera: Resultados al 2011-04-29. Instituto Peruano

- de Energía Nuclear. Documento Técnico DT11-007-JOR. Lima. 2011. 10 p. [Informe interno].
- [9]. Osores JM, Jara R. Actividad beta global en partículas de polvo en aire colectadas en el Centro Nuclear RACSO entre abril y mayo del 2011. Instituto Peruano de Energía Nuclear. Documento Técnico DT11-016-JOR. Lima. 2011. 7 p. [Informe interno].
- [10]. Osores JM, Jara R. Análisis de radiactividad gamma en una muestra de pescado fresco importado (*Pangasius hypophthalmus*, “basa”). Instituto Peruano de Energía Nuclear. Documento Técnico DT11-018-JOR. Lima. 2011. 12 p. [Informe interno].
- [11]. Osores JM, González S, Martínez J, López E, Jara R, Anaya A. Calibración del sistema de radiometría de bajo fondo LB-4110 para determinación de actividad beta total. En: Instituto peruano de Energía Nuclear. Informe Científico Tecnológico 2008. Lima: IPEN. 2009. p. 284-210.
- [12]. Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardas. CNSNS. Actividades de la CNSNS en vigilancia radiológica ambiental. Nota informativa sobre los acontecimientos en la central nuclear de Fukushima Dai-Ishi. México. Septiembre 2011.
- [13]. Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardas. CNSNS. Nota informativa sobre los acontecimientos en la central nuclear de Fukushima Dai-Ishi. México. Octubre 2011.
- [14]. Madigan DJ, Baumann S, Sondgrass OE, Ergul HA, Dewar H, Fisher NS. Radiocesium in pacific bluefin tuna *Thunnus orientalis* in 2012 validates new tracer technique. Environ. Sci. Technol. 2013, 47(5):2287-2294.
- [15]. 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
- [16]. Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardas. CNSNS. Nota informativa sobre los acontecimientos en la central nuclear de Fukushima Dai-Ishi. México. Septiembre 2011.

ANEXOS

| | |
|---|------------|
| A. Publicaciones en revistas internacionales indexadas | 177 |
| B. Publicaciones en revistas nacionales | 177 |
| C. Otras publicaciones especializadas | 177 |
| D. Presentación y disertación de trabajos en congresos, seminarios, simposios, talleres y publicación en actas a nivel nacional e internacional | 177 |
| E. Tesis desarrolladas | 178 |
| 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 | 185 |
| G. Programa nacional de entrenamiento, talleres, cursos y becas en el extranjero | 187 |
| H. Programa nacional de entrenamiento y cursos organizados por el IPEN-OIEA en el Perú | 195 |
| I. Estancias, pasantías y visitas científicas de investigadores nacionales | 196 |
| J. Estancias y pasantías a investigadores extranjeros en instituciones del país | 197 |
| K. Proyectos financiados por el Organismo Internacional de Energía Atómica a través del Acuerdo Regional para la Cooperación en América Latina (ARCAL) | 197 |
| K.1 Proyectos nacionales período 2012 | 197 |
| K.2 Proyectos regionales | 197 |
| L. Misiones de expertos extranjeros en Perú | 198 |

A. Publicaciones en Revistas Internacionales Indexadas

Bedregal PS, Mendoza PA, Cohen IM, Baltuano OR, Montoya EH. **Neutron activation analysis of archaeological artifacts using the conventional relative method: A realistic approach for analysis of large samples.** Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. 2012 January; 291(1):37–42.

Montoya EH, Mendoza PA, Bedregal PS, Baltuano OR, Cohen IM. **A combined method of neutron activation analysis and radiometric measurements for ^{234}U and ^{238}U determination in soil samples of low uranium concentration.** Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. 2012 January; 291(1):175–178.

García O, Di Giorgio M, Vallergera MB, Radl A, Taja MR, Seoane A, De Luca J, Stuck Oliveira M, Valdivia P, Lamadrid AI, González JE, Romero I, Mandina T, Pantelias G, Terzoudi G, Guerrero-Carbajal C, Arceo Maldonado C, Espinoza M, Oliveros N, Martínez-López W, Di Tomaso MV, Méndez-Acuña L, Puig R, Roy L, Barquinero JF. **Interlaboratory comparison of dicentric chromosome assay using electronically transmitted images.** Radiation Protection Dosimetry. (2012) doi:10.1093/rpd/ncs139

Vassileva J, Rehani MM, Al-Dhuhli H, Al-Naemi HM, Al-Suwaidi JS, Appelgate K, Arandjic D, Bashier EHO, Beganovic A, Benavente T, Bieganski T, Dias S, El-Nachef L, Faj D, Gamarra-Sánchez ME, Garcia-Aguilar J, Gbelcová L, Gershan V, Gershkevitch E, Gruppetta E, Hustuc A, Ivanovic S, Jauhari A, Kharita MH, Kharuzhyk S, Khelassi-Toutaoui N, Khosravi HR, Khoury H, Kostova-Lefterova D, Zaman A, Zontar D. **IAEA survey of pediatric CT practice in 40 countries in Asia, Europe, Latin America, and Africa: Part 1, frequency and appropriateness.** American Journal of Roentgenology. 2012 May; 198(5):1021–1031.

Taype C, Agapito J, Accinelli R, Espinoza J, Goodman S, Anne-Lauren B, Shaw M. **Genetic diversity, population structure and drug resistance of Mycobacterium tuberculosis in pulmonary TB patients in Perú.** Infection, Genetics and Evolution. 2012; 12:577–585.

Sheen P, Ferrer P, Gilman RH, Christiansen G, Moreno-Román P, Gutiérrez AH, Sotelo J, Evangelista W, Fuentes P, Rueda D, Flores M, Olivera P, Solis J, Pesaresi A, Lamba D, Zimic M. **Role of metal ions on the activity of Mycobacterium tuberculosis pyrazinamidase.** American Journal of Tropical Medicine and Hygiene. 2012 July; 87(1):153–161.

Morales R, Cano R, Rivera L, Moscol D. **Follow-up of high-risk thyroid cancer patients with bone and lung metastases.** World Journal of Nuclear Medicine. 2012 Sep-Dec; 11(3):168–169.

B. Publicaciones en Revistas Nacionales

Tello Gina, Ugarte Martha, Agapito Juan, Soto Alonso. **Detección de tuberculosis en el servicio de emergencia: utilidad de la segunda baciloscopia realizada el mismo día.** Rev Peru Med Exp Salud Pública. 2012;29(2):223–27.

Elvis SC, Rosa PC, Jorge RB, Teresa LU, César GC, Agapito J, César PE. **Presencia de *Escherichia coli* O157 en crías de alpacas (*Vicugna pacos*).** Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú. 2012; 23(1):98–104.

Valdivia Henry, Morales Rossana, Taxa Luis, Álvarez Manuel, Santos Carlos, Zeballos Albert, *et al.* **Ganglio centinela para estadios tempranos en cáncer de cuello uterino.** Revista Peruana de Ginecología y Obstetricia 2012; 58(1):35–41.

Morales Rossana. **Adecuación de los documentos de consentimiento informado en los hospitales públicos de Lima Metropolitana a la normativa vigente.** Revista de la Sociedad Peruana de Medicina Interna. 2012 abr-jun; 25(2):48–64.

C. Otras Publicaciones Especializadas

Araujo Luis, Cano Roque. **Medicina nuclear: Gammagrafía del esqueleto y cáncer de pulmón.** En: Amorin Kajjat E. (Ed.) Cáncer de pulmón. 1ra. Ed. Lima: Editorial Perú Offset; 2012. p. 179–190.

López Alcides, Prado Antonio, Agapito Juan, Montoya Eduardo (Eds.) **Informe Científico Tecnológico 2011.** Instituto Peruano de Energía Nuclear. Lima: Perú, 2012.

D. Presentación y disertación de trabajos en congresos, seminarios, simposios, talleres y publicación en actas a nivel nacional e internacional

Mallaupoma Mario. **7th Meeting of the International Steering Committee on Denial of Shipments of Radioactive Material of the International Atomic Energy Agency (IAEA).** Chair of the 7th Meeting of the International Steering Committee on the Denial of Shipment of Radioactive Material. Viena, Austria, 13–15 February 2012.

Morales Rosanna, Cano Roque. **Follow up of High Risk Thyroid Cancer Patients with Bone and Lung Metastases.** 7th International Conference on Radiopharmaceutical Therapy (ICRT 2012), Finlandia, Noviembre 2012.

Johnny Vargas. **Dosimetría química en la física de radiaciones.** Encuentro Científico Internacional de Invierno ECI 2012v: “Victor Latorre Aguilar”. Lima, 4 de enero 2012

Johnny Vargas. **Plantas de irradiación y reactores nucleares.** Encuentro Científico Internacional de Invierno ECI 2012v: “Victor Latorre Aguilar”. Lima, 5 de enero 2012.

- Montoya Modesto. **Políticas para impulsar el desarrollo tecnológico del país.** Asociación Electrotecnia Peruana, Lima, 10 de enero 2012.
- Montoya Modesto. **Investigación y desarrollo en el Perú.** Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, 8 de febrero 2012.
- Montoya Modesto. **Foro ciencia y tecnología.** Consejo Departamental de Lima, Colegio de Ingenieros del Perú, Lima, 29 de febrero 2012.
- Morales Rossana. **Relación médico paciente, relaciones interpersonales entre el personal de salud.** Curso de Bioética: La Persona: Ayer, Hoy y Siempre. Colegio Médico del Perú, Consejo Regional V. Arequipa, Perú, marzo 2012
- Montoya Modesto. **Balance de las colaboraciones entre países andinos, Francia y Europa.** Seminario las energías renovables hoy. Perspectivas de colaboración entre América Latina y Europa. Banco de Desarrollo de América Latina Cooperación Regional para los Países Andinos de la República de Francia. Lima, 1–2 de marzo de 2012.
- Montoya Modesto. **III Encuentro Innovación.** CISMID. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, 27 de marzo del 2012.
- Montoya Modesto. **¿Pueden las patentes medir el grado de innovación de una sociedad?** Seminario Respondiendo a las necesidades de la empresa: Rol de la Propiedad Intelectual en el marco de los Fondos Fincyt, Fidecom y Fondecyt. Universidad Peruana Cayetano Heredia. Lima, 31 de mayo 2012.
- Montoya Modesto. **¿Cómo Puede Perú fomentar el emprendedurismo de base tecnológica?** Encuentro por la Investigación Cayetano Heredia (Ex-CADI). 8 de junio 2012.
- Morales, Rossana. **Terapia del dolor oncológico con radiofármacos en pacientes con cáncer.** IX Congreso Peruano del Dolor, Asociación Peruana Para el Estudio del Dolor. Lima, Perú, 20–23 junio de 2012.
- Montoya Modesto. **Aguas subterráneas.** Expoagua 2012. Lima, 23 de junio 2012.
- Johnny Vargas. **Perspectivas de la tecnología de irradiación en el Perú para frutas y hortalizas de exportación.** Encuentro Científico Internacional de Invierno ECI 2012i: “Olga Lock Sing de Ugaz”. Lima, 1 de agosto 2012.
- Montoya Modesto. **Las difusas fronteras entre la física nuclear y la física de partículas.** Encuentro Científico Internacional 2012 de invierno. 31 de julio – 3 de agosto 2012.
- Montoya Modesto. **El Proceso de formación y afirmación de la vocación científica.** 20º Congreso Nacional de Estudiantes de Ingeniería de Sistemas y Computación. Chiclayo, 7 de agosto 2012.
- Johnny Vargas. **La irradiación en la industria de frutas y hortalizas.** Circulo de Investigación de Frutas y Hortalizas de la Facultad de Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional Agraria de La Molina (CIFHFIA-UNALM). Lima, 6 de setiembre 2012.
- Montoya Modesto. **Avances en la comprensión de fisión a bajas energías de excitación del uranio.** Simposio Peruano de Física. Sociedad Peruana de Física. Trujillo, 15–19 de octubre 2012.
- Mallaupoma Mario. **Gestión de residuos peligrosos y desarrollo de tecnologías limpias.** Congreso Peruano de Química 2012 “Mariano Eduardo de Rivero y Ustariz”. Arequipa, Perú, 17–19 octubre 2012.
- Mallaupoma Mario. **Tratamiento de residuos radiactivos líquidos en el accidente nuclear de Fukushima.** Congreso Peruano de Química 2012, “Mariano Eduardo de Rivero y Ustariz”, Arequipa, Perú, 17–19 octubre de 2012.
- Montoya Modesto. **Los centros nucleares en el siglo del conocimiento.** CAEN. Lima, 31 de octubre 2012.
- Montoya Modesto. **La ciencia y la tecnología nucleares para el desarrollo nacional.** I Encuentro Nacional de Arte Cultura y Ciencia. Cusco, 1–3 de noviembre 2012.
- Montoya Modesto. **Políticas para impulsar la investigación y el desarrollo.** Facultad de Ingeniería Mecatrónica, Universidad Ricardo Palma. Lima, 5 de noviembre 2012.
- Montoya Modesto. **Tendencias de los centros de investigación del Perú y el mundo.** III Semana del Conocimiento en el SIBUS. Universidad San Martín de Porres. Lima, 14–16 de noviembre 2012.
- Montoya Modesto. **Gestión del conocimiento para incrementar publicaciones y patentes.** XV Taller de Investigación 2012. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, 16 de noviembre 2012.
- Montoya Modesto. **Perspectivas de la energía nuclear.** XII Encuentro Nacional de Universidad y Medio Ambiente (ENUMA). Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, 12–16 de noviembre 2012.
- Montoya Modesto. **Las nuevas tendencias de la ciencia y la tecnología en el Perú.** II Semana Nacional de la Ciencia, Tecnología e Innovación 2012. Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica. Lima, 24–28 de noviembre 2012.
- Montoya Modesto. **El rol de las universidades y los organismos públicos de investigación en la creación de una cultura de la innovación.** Seminario “El rol de la propiedad intelectual en diferentes sectores económicos: una aproximación multidisciplinaria. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, 26–27 de noviembre 2012.
- Johnny Vargas. **I Congreso Nacional de Calidad e Inocuidad Alimentaria.** CONCIA 2012, Universidad Ricardo Palma. Facultad de Ciencias Biológicas. Lima, 4–7 de setiembre 2012.

E. Tesis desarrolladas

Montes Osorio Angel Jesús
Evaluación del polimorfismo genético mediante PCR-SSCP en dos secuencias del gen TLR2 en alpacas (*Vicugna pacos*) y su relación con enfermedades infecciosas. Tesis de Licenciatura en

Biología. Facultad de Ciencias Naturales y Matemática. Universidad Nacional Federico Villarreal. 2012. Lima, Perú. Asesor en IPEN: Dr. Juan Agapito.

F. Cursos y otros eventos organizados por el IPEN

F.1 Cursos desarrollados en el Centro Superior de Estudios Nucleares (CSEN)

Protección radiológica en radiología dental

Fecha: 7.01.2012
Profesor: G. Maghella

Física nuclear básica para docentes

Fecha: 9–13.01.2012
Profesores: M. Vela, E. Medina F., J. Felix, J. Ávila, P. Olivera

Protección radiológica en radiología Dental

Fecha: 7,14.01.2012
Profesor: G. Maghella

Protección radiológica en radiodiagnóstico médico

Fecha: 9–14.01.2012
Profesores: L. Defilippi, E. Medina F.

Actualización sobre protección radiológica en radiodiagnóstico médico

Fecha: 14.01.2012
Profesor: L. Defilippi

Reciclaje de plásticos convencionales

Fecha: 14.01.2012
Profesor: R. Marlene

Cálculo termohidráulico

Fecha: 9–18.01.2012
Profesor: A. Gallardo

Seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)

Fecha: 16–19.01.2012
Profesor: G. Maghella, R. Visurraga

Radioquímica básica para docentes

Fecha: 16–20.01.2012
Profesores: P. Olivera, J. Felix, J. Cusi, R. Arrieta, S. Ticona, E. Montoya, M. Ubillus, M. Vivanco

Actualización sobre seguridad radiológica en radiografía y gammagrafía industrial

Fecha: 21.01.2012
Profesor: J. Condori

Actualización sobre seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares

Fecha: 21.01.2012
Profesor: G. Maghella

Actualización sobre seguridad radiológica en el uso de equipos de rayos X no médico

Fecha: 23–24.01.2012
Profesor: M. Ticllacuri

Cálculo neutrónico

Fecha: 16–25.01.2012
Profesor: A. Gallardo

Seguridad radiológica en el uso de equipos de rayos X No Médico

Fecha: 23–25.01.2012
Profesor: M. Ticllacuri

Transporte de material radiactivo

Fecha: 18–27.01.2012
Profesor: M. Mallaupoma

Seguridad radiológica en medicina nuclear

Fecha: 23–27.01.2012
Profesores: L. Defilippi, J. Condori, R. Visurraga

Actualización sobre protección radiológica en radioterapia

Fecha: 28.01.2012
Profesor: B. García

Maestría en Física Médica: Física de radioterapia I

Fecha: Ene
Profesores: V. Bourel, S. Guzmán

Maestría en Física Médica: Física de medicina nuclear I

Fecha: Ene
Profesor: M. Velásquez

Maestría en Física Médica: Protección radiológica

Fecha: Ene
Profesor: M. Mallaupoma

Maestría en Física Médica: Simulación computacional

Fecha: Ene
Profesor: M. Montoya

Maestría en Física Médica: Física del radiodiagnóstico I

Fecha: Ene
Profesor: M. Rodriguez

Radiobiología básica para docentes

Fecha: 30.01–3.02.2012
Profesores: M. Vela, C. Valle, M. Espinoza

Seguridad radiológica en radiografía y gammagrafía industrial

Fecha: 30.01–3.02.2012
Profesor: M. Ticllacuri

Actualización sobre protección radiológica en radiología dental

Fecha: 4.02.2012
Profesor: G. Maghella

Actualización sobre protección radiológica en radiodiagnóstico médico

Fecha: 4.02.2012
Profesor: L. Defilippi

Protección radiológica en radiología dental

Fecha: 4.02.2012
Profesor: G. Maghella

Protección radiológica en radiología dental

Fecha: 4–11.02.2012
Profesor: G. Maghella

Protección radiológica en radiodiagnóstico médico

Fecha: 6–11.02.2012
Profesores: L. Defilippi, R. Visurraga

- Actualización sobre seguridad radiológica en radiografía y gammagrafía industrial**
Fecha: 11.02.2012
Profesor: M. Ticllacuri
- Seguridad radiológica en el uso de fuentes radiactivas**
Fecha: 15–17.02.2012
Profesor: J. Condori
- Actualización sobre seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)**
Fecha: 18.02.2012
Profesor: J. Condori
- Actualización en el control operativo de fuentes de radiación ionizantes**
Fecha: 18.02.2012
Profesor: J. Condori
- Actualización sobre seguridad radiológica en radiografía y gammagrafía industrial**
Fecha: 18.02.2012
Profesor: J. Condori
- Protección radiológica en radiodiagnóstico médico**
Fecha: 18–19.02.2012
Profesor: M. Vela
- Protección radiológica en radiología dental**
Fecha: 18–19 Feb
Profesor: M. Vela
- Actualización sobre protección radiológica en radiodiagnóstico médico**
Fecha: 18–19.02.2012
Profesor: M. Vela
- Seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)**
Fecha: 20–23.02.2012
Profesores: G. Maghella, J. Condori
- Actualización en radioterapia**
Fecha: 25.02.2012
Profesor: B. García
- Seguridad radiológica en radiografía y gammagrafía industrial**
Fecha: 25–26.02.2012
Profesor: J. Condori
- Seguridad radiológica en el uso de equipos de rayos X no médico**
Fecha: 27–29.02.2012
Profesores: M. Ticllacuri, E. Medina F.
- Seguridad radiológica en radioterapia**
Fecha: 20.02–2.03.2012
Profesor: B. García
- Análisis de fluorescencia de rayos X**
Fecha: 27.02–2.03.2012
Profesor: P. Olivera
- Actualización en radiografía y gammagrafía industrial**
Fecha: 2.03.2012
Profesor: R. Visurraga
- Protección radiológica en radiología dental**
Fecha: 3.03.2012
- Profesor: G. Maghella
- Transporte seguro de materiales radiactivos**
Fecha: 3.03.2012
Profesor: M. Mallaupoma
- Actualización sobre protección radiológica en radiología dental**
Fecha: 3.03.2012
Profesor: G. Maghella
- Actualización sobre protección radiológica en radiodiagnóstico médico**
Fecha: 3.03.2012
Profesor: L. Defilippi
- Curso de ensayos no destructivos (Básico)**
Fecha: 5–9.03.2012
Profesor: R. Visurraga
- Curso de protección radiológica en radiodiagnóstico médico**
Fecha: 5–10.03.2012
Profesores: J. Condori, L. Defilippi, R. Visurraga
- Actualización sobre seguridad radiológica en medicina nuclear**
Fecha: 10.03.2012
Profesor: L. Defilippi
- Seguridad radiológica en el uso de aceleradores de electrones para inspección no intrusiva**
Fecha: 10–11.03.2012
Profesor: M. Mallaupoma
- Curso de seguridad radiológica en medicina nuclear**
Fecha: 12–16.03.2012
Profesores: L. Defilippi, E. Medina F.
- Curso para oficiales de protección radiológica en radiografía industrial**
Fecha: 12–17.03.2012
Profesores: M. Ticllacuri, R. Visurraga
- Curso de seguridad radiológica en radiografía y gammagrafía industrial**
Fecha: 19–23.03.2012
Profesor: M. Ticllacuri
- Actualización sobre seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)**
Fecha: 24.03.2012
Profesor: J. Condori
- Actualización sobre seguridad radiológica en radiografía y gammagrafía industrial**
Fecha: 24.03.2012
Profesor: M. Ticllacuri
- Curso de inspección de soldadura. Módulo 1: Procesos de soldadura y simbolización**
Fecha: 19–28.03.2012
Profesor: F. Calderón
- Curso de seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)**
Fecha: 27–29.03.2012
Profesor: J. Condori
- Curso de seguridad física de fuentes radiactivas para inspectores**
Fecha: 27–29.03.2012

Profesores: L. Livingston, D. Miller, J. Manion, E. Watson

Curso Scale 6 y Relap 5 (Proyecto PER/4/023)

Fecha: 19–30.03.2012

Profesores: Mark Dehart, Cristhian Gálvez

Curso de seguridad radiológica en el uso de equipos de rayos X no médico

Fecha: 2–4.04.2012

Profesor: M. Ticllacuri

Actualización sobre seguridad radiológica en radiografía y gammagrafía industrial

Fecha: 3.04.2012

Profesor: R. Visurraga

Seguridad radiológica en el uso de equipos de rayos X no médico

Fecha: 12.04.2012

Profesor: E. Medina F.

Curso de líquidos penetrantes. Nivel II

Fecha: 9–13.04.2012

Profesor: R. Visurraga

Curso de protección radiológico en radiodiagnóstico médico

Fecha: 9–14.04.2012

Profesores: J. Condori, L. Defilippi, R. Visurraga

Actualización sobre protección radiológica en radiología dental

Fecha: 14.04.2012

Profesor: J. Condori

Protección radiológica en radiodiagnóstico médico y mantenimiento de rayos X

Fecha: 14.04.2012

Profesor: L. Defilippi

Protección radiológica en radiología dental

Fecha: 14.04.2012

Profesor: J. Condori

Actualización sobre seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)

Fecha: 21.04.2012

Profesor: J. Condori

Actualización sobre seguridad radiológica en radiografía y gammagrafía industrial

Fecha: 21.04.2012

Profesor: J. Condori

Curso de seguridad radiológica en el uso de fuentes radiactivas

Fecha: 23–26.04.2012

Profesores: G. Maghella, J. Condori

Curso de seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)

Fecha: 23–26.04.2012

Profesores: G. Maghella, R. Visurraga

Curso de inspección de soldadura. Módulo 2: Metalúrgica de la soldadura

Fecha: 16–27.04.2012

Profesores: H. Villacorta, F. Calderón

Actualización sobre protección radiológica en radiodiagnóstico médico y mantenimiento de rayos X

Fecha: 28.04.2012

Profesor: L. Defilippi

Curso de protección radiológica en radiodiagnóstico médico

Fecha: 29–30.04.2012

Profesor: M. Mallaupoma

Curso de seguridad radiológica en el uso de equipos de rayos X no médico

Fecha: 2–4.05.2012

Profesor: J. Condori

Protección radiológica en radiología dental

Fecha: 5.05.2012

Profesor: G. Maghella

Actualización sobre protección radiológica en radiodiagnóstico médico

Fecha: 5.05.2012

Profesor: M. Ticllacuri

Actualización sobre protección radiológica en radiología dental

Fecha: 5.05.2012

Profesor: G. Maghella

Actualización sobre seguridad radiológica en radioterapia

Fecha: 5.05.2012

Profesor: B. García

Curso de partículas magnéticas. Nivel II

Fecha: 7–11.05.2012

Profesor: R. Visurraga

Curso de actualización sobre seguridad radiológica en radioterapia

Fecha: 7–9.05.2012

Profesor: B. García

Curso de protección radiológica en radiodiagnóstico médico

Fecha: 7–12.05.2012

Profesor: L. Defilippi

Seguridad radiológica en el uso de equipos de rayos X no médico (FRX)

Fecha: 12.05.2012

Profesor: J. Condori

Seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)

Fecha: 18.05.2012

Profesor: E. Medina F.

Curso de seguridad radiológica en radiografía y gammagrafía industrial

Fecha: 21–25.05.2012

Profesor: M. Ticllacuri

Curso de inspección de soldadura. Módulo 3: Ensayos destructivos, calificación de soldadores

Fecha: 21–30.05.2012

Profesor: F. Calderón

Curso de seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)

Fecha: 28–31.05.2012
Profesor: G. Maghella

Radiológica en radiología dental

Fecha: 2.06.2012
Profesor: G. Maghella

Actualización sobre protección radiológica en radiodiagnóstico médico

Fecha: 2.06.2012
Profesor: L. Defilippi

Actualización sobre protección radiológica en radiología dental

Fecha: 2.06.2012
Profesor: G. Maghella

Actualización sobre seguridad radiológica en medicina nuclear

Fecha: 2.06.2012
Profesor: L. Defilippi

Transporte seguro de materiales radiactivos

Fecha: 2.06.2012
Profesor: M. Mallaupoma

Curso de protección radiológica en radiodiagnóstico médico

Fecha: 2–3.06.2012
Profesor: J. Condori

Curso de protección radiológica en radiodiagnóstico médico

Fecha: 4–9.06.2012
Profesores: L. Defilippi, R. Visurraga

Curso de seguridad radiológica en el uso de medicina Nuclear

Fecha: 11–14.06.2012
Profesores: L. Defilippi, E. Medina F.

Curso de radiografía industrial. Nivel I

Fecha: 4–15.06.2012
Profesores: H. Villacorta, R. Visurraga

Actualización sobre seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)

Fecha: 16.06.2012
Profesor: G. Maghella

Actualización sobre seguridad radiológica en la operación y mantenimiento de la PPR

Fecha: 19–21.06.2012
Profesor: M. Mallaupoma

Curso de seguridad radiológica en radiografía y gammagrafía industrial

Fecha: 18–22.06.2012
Profesor: M. Ticllacuri

Actualización sobre seguridad radiológica en radiografía y gammagrafía industrial

Fecha: 23.06.2012
Profesor: M. Ticllacuri

Curso de seguridad radiológica en el uso fuentes radiactivas

Fecha: 25–28.06.2012
Profesor: J. Condori

Curso de inspección de soldadura. Módulo 4: digestología, ensayos no destructivos

Fecha: 25–30.06.2012
Profesores: H. Villacorta, R. Visurraga

Curso de protección radiológica en radiodiagnóstico médico

Fecha: 2–7.07.2012
Profesor: L. Defilippi

Protección radiológica en radiología dental

Fecha: 7.07.2012
Profesor: G. Maghella

Actualización sobre protección radiológica en radiología dental

Fecha: 7.07.2012
Profesor: G. Maghella

Actualización sobre seguridad radiológica en la operación y mantenimiento de la PPR

Fecha: 11.07.2012
Profesor: M. Mallaupoma

Curso de seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)

Fecha: 9–12.07.2012
Profesores: G. Maghella, E. Medina

Curso de radiografía industrial. Nivel II

Fecha: 2–13.07.2012
Profesores: H. Villacorta, R. Visurraga

Curso de seguridad radiológica en radioterapia

Fecha: 2–14.07.2012
Profesor: B. García

Actualización sobre protección radiológica en radiodiagnóstico médico

Fecha: 14.07.2012
Profesor: L. Defilippi

Actualización sobre seguridad radiológica en radiografía y gammagrafía industrial

Fecha: 21.07.2012
Profesor: R. Visurraga

Curso de actualización sobre protección radiológica en radiodiagnóstico médico

Fecha: 21 y 22 Jul
Profesor: J. Condori

Curso de seguridad radiológica en radiografía y gammagrafía industrial

Fecha: 21–22.07.2012
Profesor: J. Condori

Curso de inspección de soldadura. Módulo 5: Códigos, normas, especificaciones, inspección uniones soldadas, estudios de casos

Fecha: 16–25.07.2012
Profesor: F. Calderón

Curso de seguridad radiológica en el uso de equipos de rayos X no médico

Fecha: 23–25.07.2012
Profesores: M. Ticllacuri, E. Medina F.

Curso para oficiales de protección radiológica en radiografía industrial

Fecha: 23–27.07.2012
Profesores: J. Condori, R. Visurraga

- Curso de oficiales de protección radiológica en radiografía industrial**
Fecha: 30.07–4.08.2012
Profesores: M. Ticllacuri, R. Visurraga
- Curso de seguridad radiológica en medicina nuclear**
Fecha: 1–3.08.2012
Profesores: L. Defilippi, E. Medina F.
- Curso de actualización sobre seguridad radiológica en medicina nuclear**
Fecha: 2–3.08.2012
Profesor: L. Defilippi
- Actualización sobre protección radiológica en radiología dental**
Fecha: 4.08.2012
Profesor: M. Vela
- Protección radiológica en radiología dental**
Fecha: 4.08.2012
Profesor: M. Vela
- Actualización sobre protección radiológica en radiodiagnóstico médico**
Fecha: 5.08.2012
Profesor: J. Condori
- Curso de seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)**
Fecha: 6–9.08.2012
Profesor: G. Maghella
- Curso de protección radiológica en radiología dental**
Fecha: 4–11.08.2012
Profesor: M. Vela
- Curso de protección radiológica en radiodiagnóstico médico**
Fecha: 6–11.08.2012
Profesor: L. Defilippi
- Actualización sobre protección radiológica en radiodiagnóstico médico**
Fecha: 11.08.2012
Profesor: L. Defilippi
- Curso de seguridad radiológica en el uso de fuentes radiactivas**
Fecha: 13–16.08.2012
Profesor: J. Condori
- Curso de ultrasonido. Nivel I**
Fecha: 6–17.08.2012
Profesores: F. Calderón, R. Visurraga
- Actualización sobre seguridad radiológica en radiografía y gammagrafía industrial**
Fecha: 18.08.2012
Profesor: R. Visurraga
- Seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Perfilaje de pozos petroleros)**
Fecha: 18.08.2012
Profesor: M. Ticllacuri
- Actualización sobre seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)**
Fecha: 18.08.2012
Profesor: G. Maghella
- Curso de seguridad radiológica en el uso de equipos de rayos X no médico**
Fecha: 20–22.08.2012
Profesor: M. Ticllacuri
- Curso de respuesta en la seguridad física de instalaciones nucleares**
Fecha: 21–23.08.2012
Profesores: M. Strosinski, M. Thompson
- Curso de inspección de soldadura. Módulo 6: Seguridad en el trabajo de soldadura. El inspector de soldadura y sus responsabilidades**
Fecha: 20–29.08.2012
Profesores: J. Matos, F. Calderón
- Curso de neutrónica**
Fecha: 22–31.08.2012
Profesor: E. Villarino
- Curso de seguridad radiológica en radiografía y gammagrafía industrial**
Fecha: 3–7.09.2012
Profesor: M. Ticllacuri
- Seguridad radiológica en el uso de equipos de rayos X no médico (Control de equipajes)**
Fecha: 8.09.2012
Profesor: J. Condori
- Actualización sobre protección radiológica en radiodiagnóstico médico**
Fecha: 8.09.2012
Profesor: M. Ticllacuri
- Actualización sobre protección radiológica en radiología dental**
Fecha: 8.09.2012
Profesor: L. Defilippi
- Protección radiológica en radiología dental**
Fecha: 8.09.2012
Profesor: L. Defilippi
- Actualización sobre seguridad radiológica en radiografía y gammagrafía industrial**
Fecha: 12.09.2012
Profesor: R. Visurraga
- Curso de ultrasonido. Nivel I**
Fecha: 3–14.09.2012
Profesores: F. Calderón, R. Visurraga
- Curso de termohidráulica**
Fecha: 3–14.09.2012
Profesor: C. Mazufri
- Curso de protección radiológica en radiodiagnóstico médico**
Fecha: 10–15.09.2012
Profesores: L. Defilippi, R. Visurraga
- Seguridad radiológica en el uso de equipos de rayos X no médico (Control de equipajes)**
Fecha: 16.09.2012
Profesor: J. Condori
- Curso de seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)**
Fecha: 17–20.09.2012
Profesores: G. Maghella, E. Medina F.

- Actualización sobre seguridad radiológica en radiografía y gammagrafía industrial**
Fecha: 20.09.2012
Profesor: J. Condori
- Transporte de materiales radiactivos**
Fecha: 22.09.2012
Profesor: M. Mallaupoma
- Seguridad radiológica en el uso de equipos de rayos X no médico (control de equipajes)**
Fecha: 24.09.2012
Profesor: J. Condori
- Curso de manejo e interpretación de códigos y normas**
Fecha: 24–28.09.2012
Profesor: F. Calderón
- Actualización sobre seguridad radiológica en radiografía y gammagrafía industrial**
Fecha: 29.09.2012
Profesor: M. Ticllacuri
- Actualización sobre seguridad radiológica en medicina nuclear**
Fecha: 29.09.2012
Profesor: L. Defilippi
- Seguridad radiológica en el uso de equipos de rayos X no médico**
Fecha: 1.10.2012
Profesor: J. Condori
- Curso de seguridad radiológica en el uso de equipos de rayos X no médico**
Fecha: 3–5.10.2012
Profesores: J. Condori, E. Medina F.
- Curso de inspección visual**
Fecha: 3–11.10.2012
Profesores: R. Visurraga, F. Calderón
- Curso de seguridad radiológica en el uso de fuentes radiactivas**
Fecha: 9–12.10.2012
Profesor: J. Condori
- Actualización sobre protección radiológica en radiología dental**
Fecha: 13.10.2012
Profesor: G. Maghella
- Protección radiológica en radiología dental**
Fecha: 13.10.2012
Profesor: G. Maghella
- Transporte seguro de materiales radiactivos**
Fecha: 13.10.2012
Profesor: M. Mallaupoma
- Curso de oficiales de protección radiológica en radiografía industrial**
Fecha: 15–19.10.2012
Profesor: M. Munive
- Curso protección radiológica en radiodiagnóstico médico**
Fecha: 15–20.10.2012
Profesores: L. Defilippi, R. Visurraga
- Seguridad radiológica en el uso de equipos de rayos X no médico (FRX)**
Fecha: 20.10.2012
Profesor: J. Condori
- Actualización sobre protección radiológica en radiodiagnóstico médico y mantenimiento de equipos de rayos X**
Fecha: 20.10.2012
Profesor: M. Ticllacuri
- Maestría en Física Médica: Física de radiodiagnóstico I**
Fecha: 9–23.10.2012
Profesor: M. Rodriguez
- Maestría en Física Médica: Física de radiodiagnóstico II**
Fecha: 9–26.10.2012
Profesor: M. Rodriguez
- Curso de metalurgia, tratamientos térmicos, tecnología de materiales para no metalurgistas**
Fecha: 22–26.10.2012
Profesor: V. Falconí
- Curso de oficiales de protección radiológica en radiografía industrial**
Fecha: 25,27,28,31.10.2012
Profesores: J. Condori, R. Visurraga
- Actualización sobre seguridad radiológica en radioterapia**
Fecha: 3.11.2012
Profesor: B. García
- Curso de seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)**
Fecha: 5–8.11.2012
Profesor: G. Maghella
- Curso de seguridad radiológica en medicina nuclear**
Fecha: 5–9.11.2012
Profesores: G. Maghella, L. Defilippi
- Actualización sobre protección radiológica en radiología dental**
Fecha: 10.11.2012
Profesor: M. Vela
- Protección radiológica en radiología dental**
Fecha: 10.11.2012
Profesor: M. Vela
- Actualización para oficiales de protección radiológica en radiografía industrial**
Fecha: 11.11.2012
Profesor: G. Lázaro
- Actualización sobre oficiales de protección radiológica en irradiadores industriales**
Fecha: 11.11.2012
Profesor: J. Condori
- Curso de medición de espesores por ultrasonido**
Fecha: 5–13.11.2012
Profesor: H. Villacorta
- Curso de reentrenamiento para oficial de radioprotección**
Fecha: 6–13.11.2012

Profesores: A. Zúñiga, R. Arrieta, A. Gallardo

Curso de seguridad radiológica en radiografía y gammagrafía industrial

Fecha: 12-16.11.2012

Profesor: M. Ticllacuri

Curso de protección radiológica en radiología dental

Fecha: 10,17.11.2012

Profesor: M. Vela

Actualización sobre seguridad radiológica en radiografía y gammagrafía industrial

Fecha: 17.11.2012

Profesor: M. Ticllacuri

Curso de protección radiológica en radiodiagnóstico médico

Fecha: 19-24.11.2012

Profesores: L. Defilippi, R. Visurraga

Curso para oficiales de protección radiológica en radiografía industrial

Fecha: 19-24.11.2012

Profesores: M. Ticllacuri, R. Visurraga

Actualización sobre protección radiológica en radiodiagnóstico médico y mantenimiento de equipos de rayos X

Fecha: 24.11.2012

Profesor: M. Ticllacuri

Maestría en Física Médica: Tópico de física médica II - Simulación Geant 4

Fecha: 19-25.11.2012

Profesor: P. Arce

Simulación Geant 4

Fecha: 21,21,22,26.11.2012

Profesor: P. Arce

Curso de seguridad radiológica en el uso de equipos de rayos X no médico

Fecha: 26-28.11.2012

Profesor: J. Condori

Curso seguridad radiológica en el uso de fuentes radiactivas

Fecha: 26-29.11.2012

Profesor: J. Condori

Protección radiológica en radiología dental

Fecha: 1.12.2012

Profesor: M. Vela

Actualización sobre protección radiológica en radiología dental

Fecha: 1.12.2012

Profesor: M. Vela

Protección radiológica en radiología dental

Fecha: 1,5.12.2012

Profesores: M. Vela, R. Visurraga

Curso de seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)

Fecha: 10-13.12.2012

Profesores: G. Maghella, R. Visurraga

Curso de protección radiológica en radiodiagnóstico médico

Fecha: 10-15.12.2012

Profesores: M. Ticllacuri, R. Visurraga

Seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)

Fecha: 15.12.2012

Profesor: J. Condori

Seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)

Fecha: 16.12.2012

Profesor: J. Condori

Transporte seguro de materiales radiactivos

Fecha: 22.12.2012

Profesor: M. Mallaupoma

F.2 Cursos y eventos descentralizados

Protección radiológica en radiodiagnóstico médico

Fecha: 21-22.01.2012

Dirigido a: Red de Salud San Juan - VM de la DISA II Lima Sur

Profesor: L. Defilippi

Protección radiológica en radiología dental

Fecha: 21-22.01.2012

Dirigido a: Red de Salud San Juan - VM de la DISA II Lima Sur

Profesor: L. Defilippi

Protección radiológica en radiología dental

Fecha: 22.01.2012

Dirigido a: Hospital de la Solidaridad de Cusco. Cusco

Profesor: G. Maguella

Seguridad radiológica en el uso de fuentes radiactivas

Fecha: 22.02.2012

Dirigido a: Corporación Aceros Arequipa S.A. Sede Pisco

Profesor: E. Medina F.

Seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Perfilaje de Pozos Petroleros)

Fecha: 17.03.2013

Dirigido a: Weatherford. Talara, Piura

Profesor: M. Ticllacuri

Transporte seguro de materiales radiactivos (Densímetros nucleares)

Fecha: 17 Mar

Dirigido a: GyM S.A. Cajamarca

Profesor: M. Mallaupoma

Seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)

Fecha: 24.03.2012

Dirigido a: G&S Servicios de Ingeniería. Cajamarca

Profesor: M. Mallaupoma

Protección radiológica en radiología dental

Fecha: 14.04.2012

Dirigido a: Odontólogos de Arequipa

Profesor: G. Maghella

Seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)

Fecha: 19-20.04.2012

Dirigido a: Servicios Especiales San Antonio. Talara

Profesor: M. Ticllacuri

- Curso de protección radiológica en radiología dental**
Fecha: 28–29.04.2012
Dirigido a: Hospital Huacho. Oyón, Huacho
Profesor: M. Vela
- Curso de protección radiológica en radiodiagnóstico médico**
Fecha: 28–29.04.2012
Dirigido a: Hospital Huacho. Oyón, Huacho
Profesor: M. Vela
- Seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)**
Fecha: 19.05.2012
Dirigido a: Trupal S.A. (La Libertad)
Profesor: M. Mallaupoma
- Curso de seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)**
Fecha: 25–26.05.2012
Dirigido a: Minera BATEAS S.A.C. Arequipa
Profesor: J. Condori
- Curso de seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)**
Fecha: 27–28.05.2012
Dirigido a: Minera BATEAS S.A.C. Arequipa
Profesor: J. Condori
- Curso de ultrasonido industrial**
Fecha: 29–30.05.2012
Dirigido a: Corporación Aceros Arequipa S.A. Sede Pisco
Profesores: R. Visurraga, F. Calderón
- Protección radiológica en radiología dental**
Fecha: 10.06.2012
Dirigido a: Colegio Odontológico del Perú. Lambayeque
Profesor: G. Maghella
- Actualización sobre protección radiológica en radiología dental**
Fecha: 23.06.2012
Dirigido a: Red Asistencial Arequipa EsSalud
Profesor: M. Mallaupoma
- Actualización sobre protección radiológica en radiodiagnóstico médico**
Fecha: 23.06.2012
Dirigido a: Red Asistencial Arequipa EsSalud
Profesor: M. Mallaupoma
- Protección radiológica en radiología dental**
Fecha: 24.06.2012
Dirigido a: Red Asistencial EsSalud Junín. Huancayo
Profesor: G. Maghella
- Seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)**
Fecha: 26.06.2012
Dirigido a: Sociedad Minera Cerro Verde, Arequipa
Profesor: E. Medina F.
- Seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)**
Fecha: 14.07.2012
Dirigido a: San Martín Contratistas Generales, Cajamarca
Profesor: M. Ticllacuri
- Seguridad radiológica en el uso de fuentes radiactivas para análisis**
Fecha: 14.07.2012
Dirigido a: Yura S.A. Arequipa
Profesor: M. Mallaupoma
- Curso de protección radiológica en radiología en medicina nuclear**
Fecha: 21–22.07.2012
Dirigido a: Hospital Víctor Lazarte de EsSalud. Trujillo
Profesor: M. Vela
- Curso de protección radiológica en radiología dental**
Fecha: 21–22.07.2012
Dirigido a: Hospital Víctor Lazarte de EsSalud. Trujillo
Profesor: M. Vela
- Seguridad radiológica en el uso de equipos de rayos X no médico**
Fecha: 2.08.2012
Dirigido a: Yura S.A. Arequipa
Profesor: E. Medina F.
- Seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)**
Fecha: 4.08.2012
Dirigido a: OSMA Engineering S.R.L. Cajamarca
Profesor: G. Maghella
- Curso de protección radiológica en radiodiagnóstico médico**
Fecha: 18–19.08.2012
Dirigido a: CSEN - Clínica San Pablo. Toromocho
Profesor: M. Mallaupoma
- Actualización sobre seguridad radiológica en radiografía y gammagrafía industrial**
Fecha: 21.08.2012
Dirigido a: EGEMSA S.A. Cusco
Profesor: R. Visurraga
- Actualización sobre seguridad radiológica en radioterapia**
Fecha: 25.08.2012
Dirigido a: Hospital III Goyeneche, Arequipa
Profesor: A. Cárdenas
- Curso de protección radiológica en radiodiagnóstico médico**
Fecha: 25–26.08.2012
Dirigido a: Red Asistencial EsSalud Puno
Profesor: M. Vela
- Curso de protección radiológica en radiología dental**
Fecha: 25–26.08.2012
Dirigido a: Red Asistencial EsSalud Puno
Profesor: M. Vela
- Curso de seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)**
Fecha: 28–31.08.2012
Dirigido a: Xstrata Tintaya S.A. Arequipa
Profesor: G. Maghella
- Curso de seguridad radiológica en el uso de rayos X no médico (FRX)**
Fecha: 31.08.2012
Dirigido a: GERDAU S.A. SIDERPERU, Chimbote
Profesor: M. Mallaupoma

Curso de protección radiológica en radiodiagnóstico médico

Fecha: 8–9.09.2012

Dirigido a: Centro Médico Radiológico Virgen del Carmen, Cusco

Profesor: M. Vela

Seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)

Fecha: 14.09.2012

Dirigido a: Sociedad Minera Cerro Verde, Arequipa

Profesor: E. Medina F.

Curso de seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)

Fecha: 18–19.09.2012

Dirigido a: CIA Minera Milpo, Cerro Lindo (Chincha)

Profesor: J. Condori

Curso de ultrasonido. Nivel I

Fecha: 18–21.09.2012

Dirigido a: GERDAU S.A. SIDERPERU, Chimbote

Profesor: R. Visurraga

Seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)

Fecha: 22.09.2012

Dirigido a: CIA Argentun, Morococha (Junín)

Profesor: G. Maghella

Curso de protección radiológica en radiodiagnóstico médico

Fecha: 29–30.09.2012

Dirigido a: CSEN - Clínica San Pablo, Toromocho

Profesor: M. Mallaupoma

Curso de difracción de rayos X

Fecha: 16–19.10.2012

Dirigido a: Superintendencia Nacional de Aduanas y de Administración Tributaria (SUNAT)

Profesor: J. Solís

Curso de seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)

Fecha: 1–4.11.2012

Dirigido a: Consorcio Minero Horizonte, La Libertad

Profesor: J. Condori

Seguridad radiológica en el uso de equipos de rayos X no médico (FRX)

Fecha: 10.11.2012

Lugar: Juliaca, Puno

Profesor: J. Condori

Seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Perfilaje de pozos petroleros)

Fecha: 10.11.2012

Lugar: SCHLUMBERGER SURENCO S.A. Talara

Profesor: G. Maghella

Curso de seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)

Fecha: 17–18.11.2012

Dirigido a: OBRAINSA, Jaén, Cajamarca

Profesor: J. Condori

Seguridad radiológica en el uso de equipos de rayos X no médico (FRX)

Fecha: 24.11.2012

Dirigido a: Compañía Minera Miski Mayo, Piura

Profesor: M. Mallaupoma

Curso de protección radiológica en radiología dental

Fecha: 24–25.11.2012

Dirigido a: Colegio Odontológico del Perú, San Martín

Profesor: M. Vela

Curso de protección radiológica en radiodiagnóstico médico

Fecha: 24–25.11.2012

Dirigido a: Colegio Odontológico del Perú, San Martín

Profesor: M. Vela

Protección radiológica en radiología dental

Fecha: 1.12.2012

Dirigido a: Dirección Regional de Salud del Callao DIRESA, Callao

Profesor: G. Maghella

Actualización sobre seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (Densímetros)

Fecha: 6.12.2012

Dirigido a: Corporación Lindley, Arequipa

Profesor: E. Medina F.

Seguridad radiológica en el uso de rayos X no médico

Fecha: 7.12.2012

Dirigido a: Sociedad Agrícola Virú, Trujillo

Profesor: G. Maghella

Curso de protección radiológica en radiodiagnóstico médico

Fecha: 14–15.12.2012

Dirigido a: Red Asistencial EsSalud, Ica

Profesor: M. Munive

Curso de protección radiológica en radiología dental

Fecha: 14–15.12.2012

Dirigido a: Red Asistencial EsSalud, Ica

Profesor: M. Munive

Protección radiológica en radiología dental

Fecha: 15.12.2012

Dirigido a: Colegio Odontológico Regional de Callao

Profesor: G. Maghella

Curso de protección radiológica en radiodiagnóstico médico

Fecha: 15–16.12.2012

Dirigido a: Red Asistencial EsSalud, Tacna

Profesor: M. Mallaupoma

Curso de protección radiológica en radiología dental

Fecha: 15–16.12.2012

Dirigido a: Red Asistencial EsSalud, Tacna

Profesor: M. Mallaupoma

G. Programa nacional de entrenamiento, talleres, cursos y becas en el extranjero

Fátima Salazar Montañez (Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas - INEN)

Curso sobre fundamentos en física médica

Lugar : Jaén, Baeza España

Período : 23.01–17.02.2012

Apoyo : OIEA

Ada Rodríguez Odonnell (Instituto Nacional de Salud del Niño)

Curso regional sobre garantía de calidad en los análisis de muestras enriquecidos con deuterio realizado con equipos FTIR

Lugar : Asunción, Paraguay
Período : 23-27.01.2012
Apoyo : OIEA

Silvia Vásquez Atachagua (IPEN)

Taller internacional sobre análisis de secuencias producidas mediante tecnología de nueva generación.

Lugar : Cuernavaca, México
Período : 23-27.01.2012
Apoyo : OIEA

Luis Villacorta Arévalo (Servicios Industriales de la Marina S. A. - SIMA)

Curso regional de capacitación sobre la parte común del Nivel 3

Lugar : Sao Paulo, Brasil
27.02-9.03.2012
Apoyo : OIEA

Alberto Gallardo Padilla (IPEN)

Capacitación en la esfera de reactores de investigación

Lugar : Buenos Aires, Argentina
Período : 27.02-30.03.2012
Apoyo : OIEA

Javier Salas de los Ríos (Ministerio de Relaciones Exteriores)

Taller subregional hacia una adhesión universal de los instrumentos jurídicos internacionales sobre seguridad nuclear

Lugar : Bogotá, Colombia
Período : 29.02-2.03.2012
Apoyo : OIEA

Carla Paola Castillo Silva (IPEN)

Taller subregional hacia una adhesión universal de los instrumentos jurídicos internacionales sobre seguridad nuclear

Lugar : Bogotá, Colombia
Período : 29.02-2.03.2012
Apoyo : OIEA

Alberto Montano Chuqui (IPEN)

Taller subregional hacia una adhesión universal de los instrumentos jurídicos internacionales sobre seguridad nuclear

Lugar : Bogotá, Colombia
Período : 29.02-2.03.2012
Apoyo : OIEA

Carlos Barreda Tamayo (IPEN)

Reunión de coordinación del programa de cooperación técnica para la región de América Latina y El Caribe

Lugar : Viena, Austria
Período : 12-16.03.2012
Apoyo : OIEA

Alberto Montano Chuqui (IPEN)

Reunión de coordinación del programa de cooperación técnica para la región de América

Latina y El Caribe

Lugar : Viena, Austria
Período : 12-16.03.2012
Apoyo : OIEA

Ivan Llamas Montoya (IPEN)

Taller sobre la consideración de los factores humanos en las diferentes fases de la vida de los reactores de investigación

Lugar : Viena, Austria
Período : 12-16.03.2012
Apoyo : OIEA

Judith Carrión Zuñiga (EsSalud - Hospital Nacional Guillermo Almenara)

Curso regional de capacitación en aplicaciones clínicas de las terapias con radionúclidos

Lugar : Buenos Aires, Argentina
Período : 12-16.03.2012
Apoyo : OIEA

Patricia Saavedra Sobrados (Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas - INEN)

Curso regional de capacitación en aplicaciones clínicas de las terapias con radionúclidos

Lugar : Buenos Aires, Argentina
Período : 12-16.03.2012
Apoyo : OIEA

Orlando Lucas (Servicio Nacional de Sanidad Agraria - SENASA)

I Reunión de Coordinación del Proyecto RLA/5/055

Lugar : Santiago de Chile, Chile
Período : 12-16.03.2012
Apoyo : OIEA

Germán Mendoza Pérez (IPEN)

Curso regional de capacitación sobre respuesta a emergencias radiológicas (Proyecto RLA/9/061)

Lugar : Santo Domingo, República Dominicana
Período : 12-16.03.2012
Apoyo : OIEA

Vicenta Velarde Andrade (EsSalud - Hospital Nacional Edgardo Rebagliati Martins)

Capacitación en el Instituto Nacional de Cancerología (PER/6/016)

Lugar : Ciudad de México, México
Período : 15.03-4.05.2012
Apoyo : OIEA

Alberto Montano Chuqui (IPEN)

1° Reunión de consultores jurídicos para otorgar personería jurídica al foro iberoamericano de organismos radiológicos y nucleares

Lugar : Buenos Aires, Argentina
Período : 19-23.03.2012
Apoyo : OIEA

Regulo Visurraga Sosa (IPEN)

Reunión final de coordinación del proyecto RLA/8/044

Lugar : Bogotá, Colombia
Período : 19-24.03.2012
Apoyo : OIEA

Edgard Ovalle Saldarriaga (IPEN)

Capacitación en la esfera de reactores de investigación

Lugar : Buenos Aires, Argentina
 Período : 19.03–19.05.2012
 Apoyo : OIEA

Maritza Barriga Sánchez (Instituto Tecnológico de la Producción - ITP)

Curso regional de capacitación sobre análisis, evaluación e interpretación de datos de contaminantes en peces y moluscos

Lugar : Montevideo, República Oriental del Uruguay
 Período : 19–28.03.2012
 Apoyo : OIEA

José Gonzáles Benavides (Instituto Nacional de Salud del Niño - INSN)

Reunión final de coordinación RLA/6/064

Lugar : Montevideo, República Oriental del Uruguay
 Período : 26–30.03.2012
 Apoyo : OIEA

Roxana Ventocilla Reaño (Servicio Nacional de Sanidad Agraria - SENASA)

1° Reunión de coordinación del Proyecto RLA/5/060

Lugar : Sao Paulo, Brasil
 Período : 26–30.03.2012
 Apoyo : OIEA

Jorge Herrera Aguilar (IPEN)

Curso de postgrado sobre protección radiológica y seguridad en el uso de las fuentes de radiación

Lugar : Buenos Aires, Argentina
 Período : 26.03–14.09.2012
 Apoyo : OIEA

Santiago Ticona Toalino (IPEN)

Reunión regional sobre la transferencia de experiencias en la esfera de la cultura de la seguridad relacionada con la protección radiológica ocupacional de la industria nuclear

Lugar : Ciudad de México, México
 Período : 26–30.03.2012
 Apoyo : OIEA

Carlos Ampuero Flores (IPEN)

1° Reunión del Comité de Dirección para la Red Global de Seguridad Radiológica y Física (GNSSN)

Lugar : Viena, Austria
 Período : 2–4.04.2012
 Apoyo : OIEA

Cecilia Aguilar Ramírez (EsSalud - Hospital Nacional Carlos Alberto Seguín Escobedo de Arequipa)

1° Reunión de coordinación del Proyecto RLA/6/070

Lugar : La Habana, Cuba
 Período : 23–27.04.2012
 Apoyo : OIEA

Elder Celedonio Ortega (IPEN)

Reunión regional sobre la organización de servicio técnico - científico en apoyo a la Protección Radiológica Ocupacional (TSO)

Lugar : Sao Paulo, Brasil
 Período : 23–27.04.2012
 Apoyo : OIEA

Yuri Ravello Ratzemberg (IPEN)

1° Reunión de coordinación de consulta sobre programa de licenciamiento y de inspección para ciclotrones

Lugar : Belo Horizonte, Brasil
 Período : 9–13.04.2012
 Apoyo : OIEA

Tony Benavente Alvarado (IPEN)

Reunión regional para evaluar el funcionamiento de la red latinoamericana de protección radiológica ocupacional

Lugar : Viena, Austria
 Período : 9–13.04.2012
 Apoyo : OIEA

Luz Gómez Pando (Universidad Nacional Agraria La Molina - UNALM - Programa de Cereales)

1° Reunión de coordinación del Proyecto RLA/5/063 (ARCAL CXXVI)

Lugar : Ocoyoacac, México
 Período : 16–20.04.2012
 Apoyo : OIEA

Gaby Alfaro Rodríguez (IPEN)

1° Reunión de coordinación del Proyecto RLA/0/046 ARCAL (CXXXI)

Lugar : Santiago de Chile, Chile
 Período : 2–4.05.2012
 Apoyo : OIEA

Ramos Martínez Ramírez (IPEN)

Capacitación en la esfera de la producción de isótopos

Lugar : Madrid, España
 Período : 2.05–2.07.2012
 Apoyo : OIEA

Mónica Vivanco Montoya (IPEN)

Curso regional de actualización de la versión en español del código de práctica respecto a la radioesterilización de tejidos

Lugar : Buenos Aires, Argentina
 Período : 14–18.05.2012
 Apoyo : OIEA

Bruno Mendoza Sánchez (IPEN)

1° Reunión de coordinación del Proyecto RAL/1/011

Lugar : Ciudad de México, México
 Período : 14–18.05.2012
 Apoyo : OIEA

Eduardo Medina Gironzini (IPEN)

XIII Congreso de la Asociación Internacional de Protección (IRPA)

Lugar : Glasgow, Escocia
 Período : 14–18.05.2012
 Apoyo : OIEA

Emma Castro Gamero (IPEN)

2. Reunión de coordinación del Proyecto CRP 16111

Lugar : Viena, Austria
 Período : 2–4.05.2012
 Apoyo : OIEA

Marco Munive Sánchez (IPEN)

Taller regional sobre la publicación de requisitos de seguridad generales del OIEA. Parte 3: Protección radiológica y seguridad de las fuentes de radiación

Lugar : San José, Costa Rica

Período : 22–25.05.2012
Apoyo : OIEA

Juan Agapito Panta (IPEN)

Reunión sobre actualización de procedimientos de laboratorio, ejercicios de intercomparación y estándares

Lugar : Santiago de Chile, Chile
Período : 4–8.06.2012
Apoyo : OIEA

Marco Espinoza Zevallos (IPEN)

Reunión sobre actualización de procedimientos de laboratorio, ejercicios de intercomparación y estándares

Lugar : Santiago de Chile, Chile
Período : 4–8.06.2012
Apoyo : OIEA

Edgard Medina Flores (IPEN)

Reunión sobre sensibilización de los estados miembros respecto al plan integrado de apoyo a la seguridad nuclear

Lugar : Viena, Austria
Período : 6–8.06.2012
Apoyo : OIEA

Gerardo Lázaro Moreyra (IPEN)

2. Reunión de consultores sobre evaluación del stress en centrales nucleares

Lugar : Buenos Aires, Argentina
Período : 18–22.06.2012
Apoyo : OIEA

Jorge Condori Ccari (IPEN)

Reunión final del Proyecto RLA/8/046

Lugar : Quito, Ecuador
Período : 18–22.06.2012
Apoyo : OIEA

Patricia Bedregal Salas (IPEN)

13th International symposium on Biological and Environmental Reference Materials (BERM)

Lugar : Viena, Austria
Período : 25–29.06.2012
Apoyo : OIEA

Arturo Portilla Soncco (IPEN)

Curso regional de capacitación sobre radiofarmacia PET

Lugar : Buenos Aires, Argentina
Período : 25–29.06.2012
Apoyo : OIEA

Rosanna Morales Guzmán-Barrón (IPEN)

1^o Reunión del Proyecto RLA/6/069

Lugar : Montevideo, República Oriental del Uruguay
Período : 25–29.06.2012
Apoyo : OIEA

Jorge Rafael Aguilar (Hospital Central de la FAP)

Curso regional de capacitación sobre protección radiológica y optimización en procedimientos intervencionistas

Lugar : Managua, República de Nicaragua
Período : 27–29.06.2012
Apoyo : OIEA

Jorge Huayaney Santos (Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas - INEN)

Curso regional de capacitación sobre protección radiológica y optimización en procedimientos intervencionistas

Lugar : Managua, República de Nicaragua
Período : 27–29.06.2012
Apoyo : OIEA

Alfredo Ramos Auccasi (EsSalud - Hospital Nacional Edgardo Rebagliati Martins)

Curso regional de capacitación sobre protección radiológica y optimización en procedimientos intervencionistas

Lugar : Managua, República de Nicaragua
Período : 27–29.06.2012
Apoyo : OIEA

Marco Munive Sánchez (IPEN)

Reunión del Comité Ejecutivo del foro iberoamericano de organismos reguladores, radiológicos y nucleares

Lugar : La Habana, Cuba
Período : 29.06–3.07.2012
Apoyo : OIEA

Marco Munive Sánchez (IPEN)

Reunión plenaria del foro del foro iberoamericano de organismo reguladores radiológicos y nucleares

Lugar : La Habana, Cuba
Período : 4–5.07.2012
Apoyo : OIEA

Marco Munive Sánchez (IPEN)

Conferencia por el XV aniversario del programa extrapresupuestal del foro

Lugar : La Habana, Cuba
Período : 6.07.2012
Apoyo : OIEA

Kattia Bohorquez Cairo (IPEN)

Reunión regional sobre la metodología para la elaboración de planes estratégicos nacionales del sector nuclear de algunos de los países de América Latina y el Caribe

Lugar : Buenos Aires, Argentina
Período : 16–20.07.2012
Apoyo : OIEA

Carlos Gayoso Caballero (IPEN)

Reunión regional sobre la metodología para la elaboración de planes estratégicos nacionales del sector nuclear de algunos de los países de América Latina y el Caribe

Lugar : Buenos Aires, Argentina
Período : 16–20.07.2012
Apoyo : OIEA

Alberto Montano Chuqui (IPEN)

Reunión regional sobre la metodología para la elaboración de planes estratégicos nacionales del sector nuclear de algunos de los países de América Latina y el Caribe

Lugar : Buenos Aires, Argentina
Período : 16–20.07.2012
Apoyo : OIEA

Renán Ramírez Quijada (IPEN)

Reunión técnica de oficiales nacionales del a Escala Internacional de Eventos Radiológicos y Nucleares (INES)

Lugar : Viena, Austria
Período : 16–20.07.2012
Apoyo : OIEA

Juan Ávila López (IPEN)

Reunión/taller sobre el intercambio de experiencias en la modelización de sistemas energéticos con fines de planificación

Lugar : Zagreb, Croacia
Período : 23–27.07.2012
Apoyo : OIEA

Jorge Martínez Gastelú (IPEN)

Reunión regional sobre programas de protección radiológica en prácticas que implique exposición a materiales con elevada concentración de radionucleidos naturales - NORM

Lugar : Quito, Ecuador
Período : 23–27.07.2012
Apoyo : OIEA

José Antonio Prado Cuba (IPEN)

Reunión de coordinación para discutir sobre la estructura y contenido de la base de datos para la red LANENT

Lugar : Montevideo, República Oriental del Uruguay
Período : 23–27.07.2012
Apoyo : OIEA

Abraham Delgado Huaco (EsSalud Hospital Base Carlos Alberto Seguín Escobedo - Arequipa)

Curso regional de capacitación sobre el uso apropiado de la PET/CT

Lugar : Montevideo, República Oriental del Uruguay
Período : 27.07–31.08.2012
Apoyo : OIEA

Edwin Prado Cominges (Ministerio de Energía y Minas - MEM)

Fórum sobre sostenibilidad global de la energía nuclear: Fuerzas e impedimentos para una cooperación regional respecto a sistemas sostenibles de la energía nuclear

Lugar : Viena, Austria
Período : 30.07–3.08.2012
Apoyo : OIEA

Carlos Espinoza Alegría (IPEN)

Fórum sobre sostenibilidad global de la energía nuclear: Fuerzas e impedimentos para una cooperación regional respecto a sistemas sostenibles de la energía nuclear

Lugar : Viena, Austria
Período : 30.07–3.08.2012
Apoyo : OIEA

Alberto Montano Chuqui (IPEN)

1º Reunión de coordinación del Proyecto RLA/0/047 (ARCA CXXXII)

Lugar : Puerto Príncipe, Haití
Período : 30.07–2.08.2012
Apoyo : OIEA

Oscar Pineda Coronel (Servicio Nacional de Sanidad Agraria – SENASA)

8. Reunión sobre las moscas de la fruta

Lugar : Ciudad de Panamá, Panamá
Período : 30.07–3.08.2012
Apoyo : OIEA

Arturo Portilla Soncco (IPEN)

Programa de capacitación en producción y control de calidad de radiofármacos (Clínica Navarra)

Lugar : Pamplona, España
Período : 1.08–30.09.2012
Apoyo : OIEA

Ana Ramos Moreno (Servicio Nacional de Sanidad Agraria – SENASA)

Curso regional de capacitación sobre validación de métodos para contaminantes inorgánicos

Lugar : Campinas, Brasil
Período : 6–17.08.2012
Apoyo : OIEA

Edwin Prado Cominges (Ministerio de Energía y Minas - MEM)

Curso interregional de capacitación sobre liderazgo y gestión para la introducción y expansión de programas nucleoelectrónicos

Lugar : Argonne, USA
Período : 6–17.08.2012
Apoyo : OIEA

Emma Castro Gamero (IPEN)

Taller sobre avances en el uso de la tecnología de las radiaciones y nanotecnología en ingeniería de tejidos

Lugar : Sao Paulo, Brasil
Período : 13–17.08.2012
Apoyo : OIEA

Norma Nolazco Alvarado (Servicio Nacional de Sanidad Agraria – SENASA)

Reunión para determinar la ocurrencia de la especie *Anastrepha fraterculus* morphotype a fin de establecer un sistema de monitoreo

Lugar : Viena, Austria
Período : 15–16.08.2012
Apoyo : OIEA

Elías Andrés Ocaña Solano (IPEN)

2. Curso de técnicos de protección radiológica y seguridad de las fuentes de radiación

Lugar : Buenos Aires, Argentina
Período : 22.08–2.11.2012
Apoyo : OIEA

María Díaz Palacios (IPEN)

Curso regional de capacitación sobre el control reglamentario de las instalaciones de ciclotrón y aplicaciones PET/CT

Lugar : Belo Horizonte, Brasil
Período : 20–31.08.2012
Apoyo : OIEA

Edgard Medina Flores (IPEN)

Taller regional para la preparación de programas nacionales de educación y de entrenamiento en protección radiológica

Lugar : Río de Janeiro, Brasil
Período : 27–31.08.2012
Apoyo : OIEA

- Abraham Delgado Huaco
Curso regional sobre las aplicaciones clínicas de PET-TC para médicos especialistas en medicina nuclear
 Lugar : Montevideo, República Oriental del Uruguay
 Período : 27–31.08.2012
 Apoyo : OIEA
- Eduardo Montoya Rossi (IPEN)
Reunión del contrato de investigación N° 17392
 Lugar : Delft, Holanda
 Período : 27–31.08.2012
 Apoyo : OIEA
- Odorico Belzusarri Padilla (Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas - INEN)
Curso regional sobre hipofraccionamiento y radioterapia estereotáxica fraccionada: Estado del arte y futuro
 Lugar : Buenos Aires, Argentina
 Período : 3–6.09.2012
 Apoyo : OIEA
- Paola Inés Mendoza Santayana (Hospital Nacional Cayetano Heredia)
Curso regional sobre hipofraccionamiento y radioterapia estereotáxica fraccionada: Estado del arte y futuro
 Lugar : Buenos Aires, Argentina
 Período : 3–6.09.2012
 Apoyo : OIEA
- Bernardo Vizcarra Ladrón de Guevara (Radiooncología SAC)
Curso regional sobre hipofraccionamiento y radioterapia estereotáxica fraccionada: Estado del arte y futuro
 Lugar : Buenos Aires, Argentina
 Período : 3–6.09.2012
 Apoyo : OIEA
- Paola Carolina Guerrero (EsSalud - Hospital Nivel IV Víctor Lazarte Echeagaray de Trujillo)
Curso regional sobre hipofraccionamiento y radioterapia estereotáxica fraccionada: Estado del arte y futuro
 Lugar : Buenos Aires, Argentina
 Período : 3–6.09.2012
 Apoyo : OIEA
- Gerardo Lázaro Moreyra (IPEN)
Curso regional de capacitación sobre el sistema RAIS 3.2 Web
 Lugar : Santiago de Chile, Chile
 Período : 3–7.09.2012
 Apoyo : OIEA
- Elder Celedonio Ortega (IPEN)
Reunión regional sobre protección radiológica en pediatría y embarazo
 Lugar : Recife, Brasil
 Período : 10–12.09.2012
 Apoyo : OIEA
- Leoncio Alberto Montano (IPEN)
Sesión de la 56ª Conferencia General del OIEA (Accidente Radiológico Chilca)
 Lugar : Viena, Austria
- Período : 18–21.09.2012
 Apoyo : OIEA
- Yuri Ravello Ratzenberg (IPEN)
Reunión sobre aspectos de seguridad relacionados con políticas y estrategias nacionales para la gestión de desechos radiactivos en América Latina
 Lugar : San José, Costa Rica
 Período : 24–28.09.2012
 Apoyo : OIEA
- Carlos Ampuero Flores (IPEN)
Reunión sobre aspectos de seguridad relacionados con políticas y estrategias nacionales para la gestión de desechos radiactivos en América Latina
 Lugar : San José, Costa Rica
 Período : 24–28.09.2012
 Apoyo : OIEA
- Rubén Rojas Molina (IPEN)
Reunión regional sobre gestión de la financiación de centrales nucleares
 Lugar : Santiago de Chile, Chile
 Período : 24–28.09.2012
 Apoyo : OIEA
- Julio Villanueva Rivera (IPEN)
Taller sobre el fortalecimiento de las capacidades regionales para responder a las emergencias radiológicas y nucleares
 Lugar : Río de Janeiro, Brasil
 Período : 24–28.09.2012
 Apoyo : OIEA
- Rosina Gordillo Vivanco (Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas - INEN)
Curso regional sobre protección radiológica y optimización en radiología digital con especial hincapié en la mamografía
 Lugar : Ciudad de Guatemala, Guatemala
 Período : 26–28.09.2012
 Apoyo : OIEA
- Isna Larico Papamallco (Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas - INEN)
Curso regional sobre protección radiológica y optimización en radiología digital con especial hincapié en la mamografía
 Lugar : Ciudad de Guatemala, Guatemala
 Período : 26–28.09.2012
 Apoyo : OIEA
- Yuri Ravello Ratzenberg (IPEN)
2. Reunión de consultores sobre el programa de licenciamiento e inspección para ciclotrones
 Lugar : Santiago de Chile, Chile
 Período : 1–5.10.2012
 Apoyo : OIEA
- Sheila Vilchez Santillán (Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas - INEN)
Curso regional de capacitación en ganglio centinela y cirugía radioguiada
 Lugar : Santiago de Chile, Chile
 Período : 1–5.10.2012
 Apoyo : OIEA
- Edgard Alva Baltazar (Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima - SEDAPAL)

7. Curso hispanoamericano de hidrología subterránea

Lugar : Montevideo, República Oriental del Uruguay
 Período : 1.10–8.11.2012
 Apoyo : OIEA

Rosanna Morales Guzmán-Barrón (IPEN)

Reunión para finalizar el prototipo del manual de gestión de calidad para los centros de medicina nuclear en América Latina

Lugar : Mendoza, Argentina
 Período : 8–12.10.2012
 Apoyo : OIEA

Renán Ramírez Quijada (IPEN)

1º Reunión de consultores sobre cultura de seguridad en prácticas reguladoras que usan fuentes radiactivas

Lugar : La Habana, Cuba
 Período : 8–12.10.2012
 Apoyo : OIEA

Alberto Montano Chuqui (IPEN)

1º Reunión del grupo de trabajo 2 del Proyecto RLA/0/046

Lugar : Viena, Austria
 Período : 15–19.10.2012
 Apoyo : OIEA

Carlos Sebastián Calvo (IPEN)

1º Reunión técnica sobre métodos radiométricos para medición y modelaje de sistemas multifases para procesos industriales

Lugar : Viena, Austria
 Período : 15–19.10.2012
 Apoyo : OIEA

Orlando Lucas Aguirre (Servicio Nacional de Sanidad Agraria - SENASA)

Reunión regional para laboratorios de referencia RLA/5/059

Lugar : Montevideo, República Oriental del Uruguay
 Período : 22–26.10.2012
 Apoyo : OIEA

Danfer Huapaya García (EsSalud - Red Asistencial Almenara)

Curso regional de capacitación sobre el estado actual de la terapia con radionúclidos en patología tiroidea: Hechos y controversias

Lugar : Managua, República de Nicaragua
 Período : 22–26.10.2012
 Apoyo : OIEA

Herbert Cárdenas del Carpio (Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas - INEN)

Curso regional de capacitación sobre las garantías de la calidad clínica en radioterapia

Lugar : San José, Costa Rica
 Período : 29.10–2.11.2012
 Apoyo : OIEA

Paola Guerrero León (Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas - INEN)

Curso regional de capacitación sobre las garantías de la calidad clínica en radioterapia

Lugar : San José, Costa Rica
 Período : 29.10–2.11.2012

Apoyo : OIEA

Ausberto Chunga Chunga (EsSalud - Hospital Nacional Edgardo Rebagliati Martins)

Curso regional de capacitación para la inspección de establecimiento del banco de tejidos y centros de obtención e implantes

Lugar : Buenos Aires, Argentina
 Período : 29.10–1.11.2012
 Apoyo : OIEA

Marco Munive Sánchez (IPEN)

Reunión del grupo sobre tecnología de la información del foro iberoamericano de organismos reguladores radiológicos y nucleares

Lugar : Viena, Austria
 Período : 29.10–2.11.2012
 Apoyo : OIEA

Fernando Hidalgo Palomino (IPEN)

Reunión del grupo sobre tecnología de la información del foro iberoamericano de organismos reguladores radiológicos y nucleares

Lugar : Viena, Austria
 Período : 29.10–2.11.2012
 Apoyo : OIEA

José Osoreo Rebaza (IPEN)

Reunión final del Proyecto RLA/5/054

Lugar : Sao Paulo, Brasil
 Período : 5–9.11.2012
 Apoyo : OIEA

Tony Benavente Alvarado (IPEN)

Reunión del comité técnico del programa extra-presupuestal del foro iberoamericano de organismos reguladores radiológicos y nucleares

Lugar : Rio de Janeiro, Brasil
 Período : 5–9.11.2012
 Apoyo : OIEA

Susana González Villalobos (IPEN)

Reunión regional de coordinación del Proyecto RLA/9/066

Lugar : Asunción, Paraguay
 Período : 5–9.11.2012
 Apoyo : OIEA

Pedro Pacheco Peña (Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas - INEN)

Reunión regional para evaluar los resultados de la aplicación de matrices de riesgo en radioterapia. Presentación de software Sevrra

Lugar : Ciudad de México, México
 Período : 5–9.11.2012
 Apoyo : OIEA

Carlos Herrera Castillo (Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas - INEN)

Reunión regional para evaluar los resultados de la aplicación de matrices de riesgo en radioterapia. Presentación de software Sevrra

Lugar : Ciudad de México, México
 Período : 5–9.11.2012
 Apoyo : OIEA

Antonio Delgado Huaco ((EsSalud - Hospital Nacional Carlos Alberto Seguín Escobedo de Arequipa)

Curso regional de capacitación sobre el papel de la medicina nuclear en la enfermedad de chagas

Lugar : Bogotá, Colombia
 Período : 5-9.11.2012
 Apoyo : OIEA

Armando Hung Chaparro (Universidad Peruana Cayetano Heredia- UPCH)

Reunión regional para establecer un método analítico multiresiduos para la determinación de b-agonistas en tejido animal, mediante técnicas de HPLC/MSMS

Lugar : Montevideo, República Oriental del Uruguay
 Período : 12-16.11.2012
 Apoyo : OIEA

Deali Salazar Huamán (Servicio Nacional de Sanidad Agraria - SENASA)

Reunión regional para establecer un método analítico multiresiduos para la determinación de b-agonistas en tejido animal, mediante técnicas de HPLC/MSMS

Lugar: Montevideo, República Oriental del Uruguay
 Período : 12-16.11.2012
 Apoyo : OIEA

Jesús Miranda Alzamora (IPEN)

Taller internacional "Cómo mejorar la seguridad física del front-end del ciclo de vida de las fuentes radiactivas"

Lugar : San Carlos de Bariloche, Argentina
 Período : 12-16.11.2012
 Apoyo : OIEA

Luis Alberto Cavero (IPEN)

Taller internacional "Cómo mejorar la seguridad física del front-end del ciclo de vida de las fuentes radiactivas

San Carlos de Bariloche, Argentina
 Período : 12-16.11.2012
 Apoyo : OIEA

Julio Villanueva Rivera (IPEN)

Curso de capacitación regional de introducción a la investigación forense nuclear

Lugar : Santiago de Chile, Chile
 Período : 13-15.11.2012
 Apoyo : OIEA

Rubén Yáñez Castañeda (Policía Nacional del Perú – Dirección Contra el Terrorismo - DIRCOTE)

Curso de capacitación regional de introducción a la investigación forense nuclear

Lugar : Santiago de Chile, Chile
 Período : 13-15.11.2012
 Apoyo : OIEA

José Cuellar Bautista (Instituto Nacional de Innovación Agraria - INIA)

Capacitación sobre el uso de herramientas innovativas basadas en internet para la visualización de información geoespacial y diseminación y promoción de los trabajos de investigación llevados a cabo en el campo del monitoreo de la erosión y conservación de suelos

Lugar : Irapuato, Guanajuato México
 Período : 12-23.11.2012
 Apoyo : OIEA

Walter Cruz Choquehuanca (IPEN)

Curso regional de capacitación sobre medidas preventivas y protectoras contra sabotaje de materiales e instalaciones nucleares

Lugar : San Carlos de Bariloche, Argentina
 Período : 19-23.11.2012
 Apoyo : OIEA

Emma Castro Gamero (IPEN)

Reunión final del Proyecto RLA/6/062

Lugar : Ocoyoaca, México
 Período : 26-30.11.2012
 Apoyo : OIEA

Carlos Espinoza Alegría (IPEN)

Curso interregional de capacitación sobre centrales nucleares, contrataciones, pre construcción y gestión

Lugar : Beijing, China
 Período : 26-30.11.2012
 Apoyo : OIEA

Patricia Bedregal Salas (IPEN)

Reunión final del Proyecto RLA/2/014

Lugar : Buenos Aires, Argentina
 Período : 3-5.12.2012
 Apoyo : OIEA

Edwin Acevedo Toralva (EsSalud - Hospital Nacional Guillermo Almenara Irigoyen)

Curso regional de capacitación en modalidades híbridas SPECT/CT y PET/CT para tecnólogos

Lugar : Sao Paulo, Brasil
 Período : 10-14.12.2012
 Apoyo : OIEA

Liz Bravo Chuquillanque (Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas – INEN)

Curso regional de capacitación en modalidades híbridas SPECT/CT y PET/CT para tecnólogos

Lugar : Sao Paulo, Brasil
 Período : 10-14.12.2012
 Apoyo : OIEA

Santiago Regalado Campaña (IPEN)

2. Reunión de consultores sobre criterio de armonización de sistemas para emergencias del foro iberoamericano de reguladores radiológicos y nucleares

Lugar : Ciudad de México, México
 Período : 10-15.12.2012
 Apoyo : OIEA

Edgard Medina Flores (IPEN)

Reunión regional para la aplicación de nuevas metodologías que permitan identificar necesidades de educación y capacitación en material de protección radiológica

Lugar : Santa Cruz de la Sierra, Bolivia
 Período : 10-12.12.2012
 Apoyo : OIEA

Renán Ramírez Quijada (IPEN)

Revisión del informe del accidente de Chilca (Lima)

Lugar : Viena, Austria
 Período : 17-19.12.2012
 Apoyo : OIEA

H. Programa nacional de entrenamiento y cursos organizados por el IPEN-OIEA en Perú

Eduardo Montoya Rossi (IPEN)

III Reunión de coordinación del Contrato de Investigación RC 1115.3

Lugar : Lima, Perú
Período : 6-10.02.2012
Apoyo : OIEA-IPEN

Patricia Bedregal Salas (IPEN)

III Reunión de coordinación del Contrato de Investigación RC 1115.3

Lugar : Lima, Perú
Período : 6-10.02.2012
Apoyo : OIEA-IPEN

Pablo Mendoza Hidalgo (IPEN)

III Reunión de coordinación del Contrato de Investigación RC 1115.3

Lugar : Lima, Perú
Período : 6-10.02.2012
Apoyo : OIEA-IPEN

Mario Mendoza Barrientos

III Reunión de coordinación del Contrato de Investigación RC 1115.3

Lugar : Lima, Perú
Período : 6-10.02.2012
Apoyo : OIEA-IPEN

Yahya Roslan (Malasia)

III Reunión de coordinación del Contrato de Investigación RC 1115.3

Lugar : Lima, Perú
Período : 6-10.02.2012
Apoyo : OIEA-IPEN

Redy Annareddy (India)

III Reunión de coordinación del Contrato de Investigación RC 1115.3

Lugar : Lima, Perú
Período : 6-10.02.2012
Apoyo : OIEA-IPEN

Mitsuro Ebihara (Japón)

III Reunión de coordinación del Contrato de Investigación RC 1115.3

Lugar : Lima, Perú
Período : 6-10.02.2012
Apoyo : OIEA-IPEN

Peter Bode (Holanda)

III Reunión de coordinación del Contrato de Investigación RC 1115.3

Lugar : Lima, Perú
Período : 6-10.02.2012
Apoyo : OIEA-IPEN

Chanatip Tippayakul (Tailandia)

III Reunión de coordinación del Contrato de Investigación RC 1115.3

Lugar : Lima, Perú
Período : 6-10.02.2012
Apoyo : OIEA-IPEN

María Ángeles Meneses (Brasil)

III Reunión de coordinación del Contrato de Investigación RC 1115.3

Lugar : Lima, Perú
Período : 6-10.02.2012
Apoyo : OIEA-IPEN

Warren D. Reece (USA)

III Reunión de coordinación del Contrato de Investigación RC 1115.3

Lugar : Lima, Perú
Período : 6-10.02.2012
Apoyo : OIEA-IPEN

Csaba Ro Th (Rumania)

III Reunión de coordinación del Contrato de Investigación RC 1115.3

Lugar : Lima, Perú
Período : 6-10.02.2012
Apoyo : OIEA-IPEN

Ion Evangelo Stamatelatos (Grecia)

III Reunión de coordinación del Contrato de Investigación RC 1115.3

Lugar : Lima, Perú
Período : 6-10.02.2012
Apoyo : OIEA-IPEN

Vladimir Sinoviev (Rusia)

III Reunión de coordinación del Contrato de Investigación RC 1115.3

Lugar : Lima, Perú
Período : 6-10.02.2012
Apoyo : OIEA-IPEN

Daniela Giugu (Rumania)

III Reunión de coordinación del Contrato de Investigación RC 1115.3

Lugar : Lima, Perú
Período : 6-10.02.2012
Apoyo : OIEA-IPEN

Andrei Ziman (Representante OIEA)

III Reunión de coordinación del Contrato de Investigación RC 1115.3

Lugar : Lima, Perú
Período : 6-10.02.2012
Apoyo : OIEA-IPEN

Mohamed Soliman (Egipto)

Taller subregional hacia una adhesión universal de los instrumentos jurídicos internacionales sobre seguridad nuclear

Lugar : Lima, Perú
Período : 6-10.02.2012
Apoyo : OIEA-IPEN

Emilio Arévalo Peñaranda (Ecuador)

I Reunión de coordinación del Proyecto RLA/5/058

Lugar : Lima, Perú
Período : 27.02-2.03.2012
Apoyo : OIEA

Viviana Duque (Ecuador)

I Reunión de coordinación del Proyecto RLA/5/058

Lugar : Lima, Perú
Período : 27.02-2.03.2012
Apoyo : OIEA

Luis Sánchez Shimura (Servicio Nacional de Sanidad Agropecuaria e Inocuidad Alimentaria de Bolivia – SENASAG)

I Reunión de coordinación del Proyecto RLA/5/058

Lugar : Lima, Perú
Período : 27.02–2.03.2012
Apoyo : OIEA

Pedro Molina Salcedo (Servicio Nacional de Sanidad Agraria del Perú - SENASA)

I Reunión de coordinación del Proyecto RLA/5/058

Lugar : Lima, Perú
Período : 27.02–2.03.2012
Apoyo : OIEA

Roberto González Gómez (Servicio Nacional de Sanidad Agraria del Perú - SENASA)

I Reunión de coordinación del Proyecto RLA/5/058

Lugar : Lima, Perú
Período : 27.02–2.03.2012
Apoyo : OIEA

Erika Soto Cárdenas (Servicio Nacional de Sanidad Agraria del Perú - SENASA)

I Reunión de coordinación del Proyecto RLA/5/058

Lugar : Lima, Perú
Período : 27.02–2.03.2012
Apoyo : OIEA

Paola León Guerrero (Hospital Nacional Cayetano Heredia)

Curso regional de capacitación sobre manejo multidisciplinario del cáncer de mama basado en la evidencia

Lugar : Lima, Perú
Período : 12–14.07.2012
Apoyo : OIEA-IPEN

Walter Cruz Choquehuanca (IPEN).

Curso regional de capacitación sobre la cultura de la seguridad física nuclear

Lugar : Lima, Perú
Período : 29–31.10.2012
Apoyo : OIEA

Rigoberto Báez Sulca

Curso regional de capacitación sobre la cultura de la seguridad física nuclear

Lugar : Lima, Perú
Período : 29–31.10.2012
Apoyo : OIEA

Oscar Sulca Félix

Curso regional de capacitación sobre la cultura de la seguridad física nuclear

Lugar : Lima, Perú
Período : 29–31.10.2012
Apoyo : OIEA

Carmen Jallo Calderón

Curso regional de capacitación sobre la cultura de la seguridad física nuclear

Lugar : Lima, Perú
Período : 29–31.10.2012
Apoyo : OIEA

Johnny Vargas Rodríguez

Foro internacional Tecnología de irradiación para la agro exportación

Lugar : Lima, Perú
Período : 27–28.11.2012
Apoyo : OIEA-IPEN

Enoc Mamani

Foro internacional Tecnología de irradiación para la agro exportación

Lugar : Lima, Perú
Período : 27–28.11.2012
Apoyo : OIEA-IPEN

Mónica Vivanco

Foro internacional Tecnología de irradiación para la agro exportación

Lugar : Lima, Perú
Período : 27–28.11.2012
Apoyo : OIEA-IPEN

Jorge Condori Ccari

Foro internacional Tecnología de irradiación para la agro exportación

Lugar : Lima, Perú
Período : 27–28.11.2012
Apoyo : OIEA-IPEN

Carlos Sebastián Calvo

Foro internacional Tecnología de irradiación para la agro exportación

Lugar : Lima, Perú
Período : 27–28.11.2012
Apoyo : OIEA-IPEN

Gerardo Maghella Seminario

Foro internacional Tecnología de irradiación para la agro exportación

Lugar : Lima, Perú
Período : 27–28.11.2012
Apoyo : OIEA-IPEN

Carlos del Valle Odar

Foro internacional Tecnología de irradiación para la agro exportación

Lugar : Lima, Perú
Período : 27–28.11.2012
Apoyo : OIEA-IPEN

I. Estancias, pasantías y visitas científicas de investigadores

Johnny Vargas Rodríguez

Visita científica en el ININ

Lugar : Ciudad de México, México
Período : 23–27.04.2012
Apoyo : OIEA

Eduardo Medina Gironzini (IPEN)

Visita científica al Consejo de Seguridad Nuclear

Lugar : Madrid, España
Período : 21.05–1.06.2012
Apoyo : OIEA

Luz Gómez Pando (Universidad Nacional Agraria La Molina - UNALM - Programa de Cereales)

Visita científica a la Universidad Brigham Young

Lugar : Utah, USA
Período : 16.07–15.08.2012
Apoyo : OIEA

José Solís Veliz (IPEN)

Visita científica a la Universidad de Oulu

Lugar : Oulu, Finlandia

Período : 3–14.09.2012

Apoyo : Entidad cooperante

María Díaz Palacios

Visita Científica en el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN)

Lugar : Madrid, España

Período : 8–12.10.2012

Apoyo : OIEA

Patricia Bedregal Salas (IPEN)

Visita científica en grupo relacionada con la certificación de materiales de referencia como parte del Proyecto RLA/2/014

Lugar : Viena, Austria

Período : 29.10–2.11.2012

Apoyo : OIEA

Norma Nolazco Alvarado (Servicio Nacional de Sanidad Agraria - SENASA)

Visita científica dentro del Proyecto RLA/5/058

Lugar : Brasil

Período : 19–23.11.2012

Apoyo : OIEA

J. Estancias y pasantías a investigadores extranjeros en instituciones del país

Luis Romero Bolaño (Bolivia)

Enseñanza, capacitación y gestión de los conocimientos nucleares

Sede : IPEN

Período : 12–23.03.2012

Auspicio: OIEA

Nidia Arias Marchena (México)

Pasantía en el campo de la atención de pacientes en braquiterapia

Sede : Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas - INEN

Período : 1.05–31.07.2012

Auspicio: OIEA

Irma Dalila Flor de Romero (Paraguay)

Pasantía en medicina nuclear

Sede : Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas - INEN

Período : 2.07–2.08.2012

Auspicio: OIEA

Washington Pincay Musso (Ecuador)

Visita científica

Sede : (Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima - SEDAPAL)

Período : 21–24.10.2012

Auspicio: OIEA

K. Proyectos financiados por el Organismo Internacional de Energía Atómica a través del Acuerdo Regional para la Cooperación en América Latina (ARCAL)

K.1 Proyectos nacionales período 2012

PER/0/024 Desarrollo de recursos humanos y apoyo al desarrollo nuclear

Coordinadores: Edgard Medina, Alberto Montano (IPEN)

PER/2/016 Evaluación del potencial uranífero en ambientes magmáticos de la región oriental de los andes

Coordinador: Sr. Jacinto Valencia (IPEN)

PER/5/031 Mejoramiento y fortalecimiento de técnicas de irradiación industrial con énfasis en aplicaciones agroindustriales

Coordinadores: Johnny Vargas, Enoc Mamani

PER/7/004 Mejoramiento del conocimiento de la hidrología de los acuíferos costeros de los ríos Rimac y Chillón

Coordinadores: Ruben Rojas, Gerardo Maghella

K.2 Proyectos regionales

RLA/0/045 Fortalecimiento del Acuerdo Regional para el Apoyo del Programa ARCAL en América Latina y el Caribe (ARCAL CXXX)

Coordinador: Carlos Barreda (IPEN)

RLA/0/046 Fortalecimiento de la comunicación y asociaciones estratégicas en los países de ARCAL para potenciar el uso de las aplicaciones nucleares (ARCAL CXXXI)

Coordinadora: Gabi Alfaro (IPEN)

RLA/0/048/ Red para la Educación nuclear, formación, divulgación e intercambio de conocimientos

Coordinador: Antonio Prado (IPEN)

RLA/1/011 Apoyo a los sistemas y procesos automatizados en instalaciones nucleares (ARCAL CXXIII)

Coordinador: Bruno Mendoza (IPEN)

RLA/5/056 Mejora de los cultivos alimentarios en América Latina por mutación inducida (ARCAL CV)

Coordinadora: Luz Gómez Pando (Universidad Nacional Agraria de La Molina (UNALM))

RLA/5/058 Formación de capacidades para la supresión de la mosca de la fruta usando la estrategia de manejo de área amplia

Coordinador: Pedro Molina (Servicio Nacional de Sanidad Agraria – SENASA)

RLA/5/059 Fortalecimiento de las capacidades analíticas de los laboratorios oficiales para certificación de inocuidad de productos de origen agropecuario mediante la aplicación de técnicas analíticas convencionales y nucleares (ARCAL CXXII)

Coordinador: Sr. Orlando Lucas (Servicio Nacional de Sanidad Agraria – SENASA)

RLA/5/060 Armonización y validación de métodos analíticos para monitorear el riesgo de residuos químicos y contaminantes en alimentos para la salud humana (ARCAL CXXVIII)

Cordinador: Roxana Ventocilla Reaño (Servicio Nacional de Sanidad Agraria – SENASA)

RLA/5/063 Inducción de variabilidad mediante mutagenesis radioinducida en plantas nativas con potencial nutritivo y/o medicinal en regiones de origen y dispersión (ARCAL CXXVI)

Coordinador: Luz Gómez Pando (Universidad Nacional Agraria La Molina - UNALM)

RLA/9/068 Fortalecimiento de la estructura nacional y marco regulatorio para la protección del público, el medio ambiente para la gestión segura de los residuos radiactivos

Coordinador: Carlos Ampuero (IPEN)

RLA/9/069 Mejoramiento de la gestión de fuentes radiactivas selladas en desuso

Coordinador: Mario Mallaupoma (IPEN)

RLA/9/070 Fortalecimiento de la educación e infraestructura de capacitación y construcción de competencias en seguridad radiológica

Coordinador: Tony Benavente (IPEN)

RLA/9/072 Banco de datos de valores de radiactividad en alimentos típicos en América Latina (ARCAL CXXIX)

Coordinador: José Osoreo (IPEN)

RLA/9/074 Fortalecimiento y armonización de capacidades nacionales para respuesta a emergencias nucleares y radiológicas

Coordinador: Marco Munive (IPEN)

INT/9/175 Promoción de una segura y eficiente limpieza de instalaciones y sitios contaminados radiactivamente

Coordinador: Genaro Rodríguez (IPEN)

L. Misiones y expertos extranjeros en Perú

Nombre : Rodrigo Salinas Mariaca (Bolivia)
Fecha : 22–25.01.2012
Tema : **Asistencia a los trabajadores expuestos en accidente radiológico de Chilca**

Nombre : Marc Benderitter (Francia)
Fecha : 22–25.01.2012
Tema : **Asistencia a los trabajadores expuestos en accidente radiológico de Chilca**

Nombre : Thierry Derevel (Francia)
Fecha : 22–25.01.2012
Tema : **Asistencia a los trabajadores expuestos en accidente radiológico de Chilca**

Nombre : Olga Ipanova (Rusia)
Fecha : 25–27.01.2012
Tema : **Protocolo de Cooperación IPEN-ROSATOM**

Nombre : Alexander Prozorovsky (Rusia)
Fecha : 25–27.01.2012
Tema : **Protocolo de Cooperación IPEN-ROSATOM**

Nombre : Valeryn Tyazhkorob (Rusia)

Fecha : 25–27.01.2012
Tema : **Protocolo de Cooperación IPEN-ROSATOM**

Nombre : Andrei Zeman (OIEA)
Fecha : 6–10.02.2012
Tema : **Reunión de coordinación sobre análisis por activación neutrónica**

Nombre : Peter Bode (Holanda)
Fecha : 6–10.02.2012
Tema : **Reunión de coordinación sobre análisis por activación neutrónica**

Nombre : Mariano Grasselli (Argentina)
Fecha : 20–24.02.2012
Tema : **Participación en el Congreso SPECTRA 2012**

Nombre : Carl Blackburn (Experto OIEA)
Fecha : 3–10.03.2012
Tema : **Evaluación de proyecto sobre uso de irradiación industrial para fines de agroexportación**

Nombre : Erika Watson (USA)
Fecha : 27–29.03.2012
Tema : **Curso de capacitación para inspectores de seguridad física**

Nombre : Lindquist Levingston (USA)
Fecha : 27–29.03.2012
Tema : **Curso de capacitación para inspectores de seguridad física**

Fecha : 27–29.03.2012
Nombre : Dan Miller (USA)
Tema : **Curso de capacitación para inspectores de seguridad física**

Nombre : Jill Conrad (USA)
Fecha : 27–29.03.2012
Tema : **Curso de capacitación para inspectores de seguridad física**

Nombre : Hari Tulsidas (India)
Fecha : 14–18.05.2012
Tema : **Evaluación del proyecto sobre potencial uranífero**

Nombre : Paulina Silvia Schuller (Chile)
Fecha : 21–25.05.2012
Tema : **Evaluación actividades del Proyecto Degradación de Suelos**

Nombre : Michael Strosinski (USA)
Fecha : 25–28.06.2012
Tema : **Cooperación en seguridad física mediante ejercicio de campo**

Nombre : Matt Thompson (USA)
Fecha : 25–28.06.2012
Tema : **Cooperación en seguridad física mediante ejercicio de campo**

Nombre : Michael Scott Demyan (Alemania)
Fecha : 13–24.08.2012
Tema : **Capacitación en espectroscopía**

Nombre : Michael Strosinski (USA)
Fecha : 21–22.08.2012

| | | | |
|--------|--|--------|---|
| Tema | : Capacitación sobre seguridad física | Tema | : Actividades del programa para la disminución de la amenaza radiológica |
| Nombre | : Matt Thompson (USA) | Nombre | : Alan Scott (USA) |
| Fecha | : 21-22.08.2012 | Fecha | : 27-30.11.2012 |
| Tema | : Capacitación sobre seguridad física | Tema | : Foro internacional sobre tecnología de irradiación para la agroexportación |
| Fecha | : 21-22.08.2012 | Nombre | : Arved Green (USA) |
| Nombre | : Stoven Hill (USA) | Fecha | : 27-30.11.2012 |
| Tema | : Capacitación sobre seguridad física | Tema | : Foro internacional sobre tecnología de irradiación para la agroexportación |
| Nombre | : Eduardo Villarino (Argentina) | | |
| Fecha | : 20-31.08.2012 | | |
| Tema | : Capacitación personal técnico del reactor RP-10 | | |
| Nombre | : Claudio Mazufri (Argentina) | | |
| Fecha | : 3-14.09.2012 | | |
| Tema | : Capacitación personal técnico del reactor RP-10 | | |
| Nombre | : Alejandra Castillo (Chile) | | |
| Fecha | : 3-14.09.2012 | | |
| Tema | : Trabajo de campo para medir degradación de suelos en los andes del Perú | | |
| Nombre | : Juan Carlos Miguel (Chile) | | |
| Fecha | : 3-5.10.2012 | | |
| Tema | : Biomonitoreo de contaminantes en el mar | | |
| Nombre | : Manuel Francisco Rodríguez (España) | | |
| Fecha | : 8-26.10.2012 | | |
| Tema | : Docente cursos de física de radiodiagnóstico | | |
| Nombre | : Andras Vilmos Kovacs (Hungria) | | |
| Fecha | : 15-26.10.2012 | | |
| Tema | : Dosimetría y control de calidad en agroexportación | | |
| Nombre | : Ezequiel Manam (Venezuela) | | |
| Fecha | : 29-31.10.2012 | | |
| Tema | : Curso básico sobre cultura de la seguridad física nuclear | | |
| Nombre | : Irwin Miranda Ortiz (México) | | |
| Fecha | : 29-31.10.2012 | | |
| Tema | : Curso básico sobre cultura de la seguridad física nuclear | | |
| Nombre | : Pedro Díaz Guerra (Cuba) | | |
| Fecha | : 29-31.10.2012 | | |
| Tema | : Curso básico sobre cultura de la seguridad física nuclear | | |
| Nombre | : Raymond Greenberg (USA) | | |
| Fecha | : 8.11.2012 | | |
| Tema | : Actividades del programa para la disminución de la amenaza radiológica | | |
| Nombre | : Matthew Samples (USA) | | |
| Fecha | : 8.11.2012 | | |
| Tema | : Actividades del programa para la disminución de la amenaza radiológica | | |
| Nombre | : Matthew Klatt (USA) | | |
| Fecha | : 8.11.2012 | | |

Índice de Autores

A

| | |
|------------------|-------|
| Acevedo Moisés | 91 |
| Agapito Juan | 51,65 |
| Alvarado Arnaldo | 65 |
| Anaya Aurelio | 145 |
| Arbildo Aurelio | 83 |
| Arrieta Rolando | 125 |

B

| | |
|-------------------|--|
| Baltuano Óscar | 31,59,71,83 121,131,137, 155,165 |
| Bedregal Patricia | 13,31,41,71 |
| Benavente Tony | 117 |
| Benites María | 17 |

C

| | |
|-----------------------------|-------|
| Caballero José | 17 |
| Cahuana Víctor | 23 |
| Cano Roque | 107 |
| Capristano Silvia | 51 |
| Castro Emma | 37,99 |
| Celedonio Elder | 117 |
| Chandrasekharan Mohanalatha | 49 |
| Churasacari Tania | 31 |
| Condori Jorge | 151 |
| Coria Lucy | 31,59 |

G

| | |
|-----------------|-----------|
| Gago Javier | 71,91,155 |
| Galicia María | 23 |
| García Pilar | 51 |
| Gómez Mónica | 23 |
| González Susana | 141 |
| Guerra Alcides | 31 |
| Guio Heinner | 51 |
| Guzmán Aldo | 17 |
| Guzmán Rivalino | 111 |

H

| | |
|----------------|--------------------------|
| Hammond Rowena | 107 |
| Hernández Yuri | 59,71,131 137,155,165 |
| Hurtado Jazmín | 41 |

J

| | |
|----------------|-----|
| Jara Raúl | 171 |
| Juno Américo | 59 |
| Justo Santiago | 31 |

K

| | |
|-------------|----|
| Koga Ysabel | 65 |
|-------------|----|

L

| | |
|---------------------|--------------|
| La Rosa Toro Adolfo | 59 |
| León Kety | 91 |
| López Alcides | 23,91,99,111 |
| López Edith | 117 |
| Luyo Clemente | 23 |
| Luyo Gustavo | 107 |

M

| | |
|------------------|-----------------------------------|
| Maghella Gerardo | 151 |
| Maguiña José | 31,151 |
| Mamani Enoc | 31,151 |
| Martínez Vanessa | 23 |
| Mendoza Pablo | 13,41,71,155 |
| Montes Angel | 51 |
| Montoya Eduardo | 13,31,59,71 83,137,155, 165 |
| Montoya Modesto | 3,31 |
| Morales José | 59 |
| Morales Rosanna | 107 |
| Mori Silvia | 107 |

N

| | |
|------------|----|
| Naupa Alex | 23 |
|------------|----|

O

| | |
|---------------|-------------------|
| Olivera Paula | 99 |
| Osores José | 77,131,145 171 |

P

| | |
|---------------------|-----|
| Pérez Clara | 107 |
| Pineda Roberto | 49 |
| Porturas Katherine | 65 |
| Pumahuacre Wilfredo | 121 |

Q

Quilla Rufino 51

R

Ramos Bertha 17,99
Ramos Víctor 91
Robles Anita 17
Rodríguez Jorge 65
Rojas Enrique 117,121
Rojas Rubén 31
Ruíz Ricardo 131

S

Sacari Elisban 111
Santiago Julio 59
Solís José 23,91
Suravajhala Prashanth 49

T

Tamayo Rocío 111
Tinoco Robert 65

U

Ubillús Marco 13,41

V

Vargas Johnny 37,99,161
Vásquez Silvia 49
Vela Mariano 125
Vivanco Mónica 37,99

Z

Zapata Luis 141