

ISSN 1684-1662



Informe Científico Tecnológico 2004

Instituto Peruano de Energía Nuclear

CIENCIA DE LOS MATERIALES

INGENIERÍA NUCLEAR

**APLICACIONES EN LA INDUSTRIA Y MEDIO
AMBIENTE**

APLICACIONES EN MEDICINA Y BIOLOGÍA

**SEGURIDAD NUCLEAR Y PROTECCIÓN
RADIOLÓGICA**

ASPECTOS DE GESTIÓN



**INFORME CIENTIFICO TECNOLÓGICO
2004**

INSTITUTO PERUANO DE ENERGIA NUCLEAR – IPEN

Presidente: Dr. Modesto Montoya Zavaleta

Director Ejecutivo: Dr. Aurelio Arbildo López

Comité Editor: Antonio Prado Cuba
Anita Robles Ñique
José Solís Veliz
Juan Rodríguez R.

Diseño de Carátula: Carlos Linares Álvarez

Domicilio Legal: Av. Canadá 1470 – San Borja
Lima 41
Perú
Telefax: 488-5233
URL: <http://www.ipen.gob.pe>
E-mail: postmaster@ipen.gob.pe

ISSN 1684-1662

Hecho el depósito legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° : 2005-6402

© IPEN, 2005

Se permite la reproducción parcial y referencial, con la obligación de citar la fuente “**Informe Científico – Tecnológico 2004 del IPEN**”.

El IPEN no necesariamente está de acuerdo con el contenido, métodos y resultados expuestos por los autores de los artículos, excepto la sección Presentación considerada como versión oficial.

Impreso en Lima - Perú

Agosto 2005

CONTENIDO

	Página
PRESENTACIÓN	V
INDICE DE TRABAJOS	VII
I. CIENCIA DE LOS MATERIALES	1
II. INGENIERIA NUCLEAR	45
III. APLICACIONES EN LA INDUSTRIA Y MEDIO AMBIENTE	97
IV. APLICACIONES EN MEDICINA Y BIOLOGÍA	143
V. SEGURIDAD NUCLEAR Y PROTECCIÓN RADIOLÓGICA	179
VI. ASPECTOS DE GESTION	191
ANEXOS	219
ÍNDICE DE AUTORES	255

PRESENTACIÓN

El Informe Científico Tecnológico (ICT) 2004 del Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN) continúa la secuencia iniciada con el ICT 1998-2001, el que puso a disposición pública lo que hasta entonces estaba diseminado en informes internos, publicaciones locales, algunas publicaciones internacionales y un buen número de temas en apuntes, notas y registros neuronales de sus autores. Convencidos que el conocimiento que no se divulga es oportunidad de desarrollo que se pierde, hemos seguido con los números correspondientes al 2002 y el 2003, respectivamente. Con el ICT 2004 queremos asegurar la continuidad y la frecuencia del Informe Científico Tecnológico.

Los trabajos presentados en este número están clasificados en Ciencia de los Materiales, Ingeniería Nuclear, Aplicaciones en la Industria y Medio Ambiente, Aplicaciones en Medicina y Biología, Seguridad Nuclear, Protección Radiológica y Aspectos de Gestión.

Cabe mencionar que, de acuerdo a su Plan Estratégico, uno de los temas al que el IPEN está ampliando su campo de acción es el de nuevos materiales. Se está generando estructuras porosas con procedimientos físico-químicos, como óxidos de tungsteno, titanio y zinc, para aplicaciones en sensores químicos y en fotocatalisis. Asimismo, el IPEN ha desarrollado técnicas instrumentales que permiten un control optimizado del proceso de fabricación de los materiales.

En estos años nos hemos orientado a mantener disponible al 100% los reactores (RP-0 y RP-10) y operarlos de manera segura. En los 17 años que tiene operando el RP-10 no ha habido incidentes que hayan provocado alguna situación de accidente. Se ha trabajado en temas de corrosión y el montaje de un sistema de detección de fisuras en los elementos combustibles y se ha puesto especial dedicación en optimizar la irradiación para la producción de radioisótopos, mediante la caracterización del campo neutrónico en las posiciones de irradiación, trayendo como consecuencia el ahorro de combustible nuclear. Asimismo, se ha incorporado nuevas técnicas experimentales de medición de la distribución de neutrones mediante detectores de estado sólido y de determinación de la reactividad por ruido neutrónico.

Los servicios de aplicaciones han permitido mejorar la competitividad de la industria minera, pesquera y petroquímica. El uso de técnicas de trazadores permitió ayudar a resolver problemas de hidrodinámica de aguas subterráneas para conocer el origen de las mismas, así como de filtraciones de relaves mineros. En el caso del sector pesquero se ha evaluado el comportamiento de aguas residuales que permite adoptar medidas para mitigar el impacto ambiental. También se ha evaluado generadores de vapor. Las técnicas de irradiación aplicadas al espárrago mejorarán las posibilidades de hacer frente al Tratado de Libre Comercio, en lo que respecta a la exportación de ese producto. Los servicios de seguridad radiológica han permitido conocer los niveles de radiactividad natural y artificial en productos lácteos de consumo humano, habiéndose observado que el potasio 40 es el radionucleido natural predominante. Las dosis recibidas por la correspondiente ingestión estuvieron muy por debajo de los límites indicados en la normativa nacional. También se ha logrado disminuir los niveles de dosis colectiva a través de los servicios de control de calidad de equipos de rayos X, utilizado en el radiodiagnóstico.

En aplicaciones médicas, el IPEN continúa desarrollando una línea de investigación en la preparación, control de calidad y validación de radiofármacos basados en anticuerpos monoclonales. Se ha desarrollado un kit biofilizado del anti receptor 3 del factor de crecimiento epidérmico marcado con tecnecio 99m, con gran especificidad para identificar receptores en tumores de origen epitelial.

Se ha realizado estudios gammagráficos utilizando galio 67 en el seguimiento de pacientes afectados con linfoma y producido fuentes radiactivas selladas en miniatura marcadas con yodo 125, las cuales se pueden usar en braquiterapia para tratamiento de cáncer de próstata.

En biología, se ha realizado importantes avances en la utilización de marcadores moleculares para el análisis de la biodiversidad genética del algodón peruano, así como también en la caracterización molecular de microorganismos biooxidantes en procesos de recuperación de minerales y en drenajes de minas, aspectos de gran interés para el manejo eficiente de estos factores del desarrollo nacional. Asimismo, se ha estudiado la respuesta inmune en alpacas contra la *Fasciola hepatica*, con el objetivo de establecer un sistema para identificar genes asociados a la resistencia a infecciones.

El IPEN ha seguido la regulación y fiscalización del uso seguro de la energía nuclear y de las radiaciones ionizantes, las inspecciones, el registro nacional de usuarios de radiación y las autorizaciones, cuyo crecimiento respecto al año 2003 es de 11,25 y 61 %, respectivamente. La regulación y el control tienen por finalidad mejorar la calidad de vida de los peruanos y cuidar el medio ambiente a través de la normativa y de las acciones preventivas de fiscalización. Además, esta misión de control le ha sido asignada al IPEN mediante tres dispositivos legales: D.L. 21875 de 1977, Ley 27757 de 2002 y Ley 28028 de 2003.

En el año 2004 se ha incrementado la rigurosidad del control con la aplicación de las nuevas leyes y de sus reglamentos, incluyendo un régimen de sanciones para los infractores. Las sanciones se están aplicando una vez comprobada la comisión de infracción, las mismas que resultan como consecuencia, entre otras, de las observaciones no resueltas de las inspecciones que se realizan en todo el país.

La evolución de los temas tratados en las sucesivas ediciones del ICT muestra que el IPEN está intensificando sus actividades directamente relacionadas con la divulgación de la ciencia y la tecnología, la formación, la capacitación de profesionales científicos y tecnológicos, los servicios tecnológicos, la competitividad nacional y, en general, con el mejoramiento de la calidad de vida de los peruanos. Ello se debe a que los científicos e ingenieros del IPEN identifican problemas nacionales prioritarios y aplican los conocimientos científicos y tecnológicos más avanzados para darles solución de manera eficiente.

Lima, junio del 2005

MODESTO MONTOYA ZAVALETA
Presidente
Instituto Peruano de Energía Nuclear

INDICE DE TRABAJOS

	Página
I. CIENCIA DE LOS MATERIALES	1
1 Highly porous tungsten-oxide-based films obtained by spray-gel for gas sensing applications <i>José Solís; Juan Rodríguez; Walter Estrada</i>	3
2 SEM-EDS to probing morphological and physiological changes produced by a porphyrin photosensitizer in <i>psammobatis extenta</i> electrocytes <i>María Prado; Julio Santiago</i>	6
3 The influence of the ethanol/water molar ratio in the precursor solution on morphology and photocatalytic activity of pyrolytic ZnO films <i>María Quintana; Juan Rodríguez; José Solís; Walter Estrada</i>	12
4 Photocatalytic degradation of phenol using TiO ₂ nanocrystals supported on activated carbon <i>Edward Carpio; Patricia Zúñiga; Silvia Ponce; José Solís; Juan Rodríguez; Walter Estrada</i>	19
5 Simulación Monte Carlo de la correlación local y formación de clusters en las aleaciones binarias modelo de tipo <i>fcc</i> <i>Justo Rojas; Erich Manrique; Irina Frants</i>	26
6 Distribuciones atómicas en las aleaciones modelo Cu-Al: Simulación Monte Carlo <i>Justo Rojas; Erich Manrique</i>	33
7 Diseño y construcción de un sistema para la supervisión in-situ del crecimiento de una película delgada de ZnO fabricada por rociado pirolítico <i>Germán Comina; Juan Rodríguez; José Solís; Walter Estrada</i>	37
II. INGENIERIA NUCLEAR	45
8 Primera fase de la evaluación de cupones de corrosión en los cementerios de elementos combustibles (fisurados, fallados y tanque principal) en el reactor RP-10 del Centro Nuclear RACSO <i>Iván Babiche; Constantino León; Ángel Revilla</i>	47
9 Optimización del flujo de neutrones en las facilidades de irradiación del Reactor Nuclear RP-10 <i>Mariano Vela; Rolando Arrieta; Alberto Salazar; Agustín Urcia; Dionisio Canaza; José Félix; Emilio Veramendi; Edgar Ovalle; Roberto Giol; Luis Zapata; Fernando Ramos; Juvenal Tordocillo</i>	55
10 Distribución de flujos de neutrones térmicos, epitérmicos y rápidos en la columna térmica del reactor RP-10 <i>Claudia Aparicio; Javier Gómez; Héctor Miranda, Gerardo Lázaro</i>	57

11	Espectrometría de neutrones por tiempo de vuelo en el conducto de irradiación 4 del reactor RP-10 para su adecuación a una facilidad de difracción de neutrones <i>Oscar Baltuano; Marco Munive</i>	60
12	Diseño del difractómetro de neutrones “Amauta” <i>Yuri Ravello</i>	63
13	Diseño y construcción de un sistema mecánico de movimiento para el blindaje del detector de un difractómetro de neutrones <i>Javier Gago; Milder García; Yuri Ravello</i>	65
14	Análisis de transmisión de neutrones en zafiro como parte del diseño del colimador del difractómetro Amauta <i>Marco Munive; Oscar Baltuano</i>	71
15	Evaluación de la incertidumbre en el valor de la reactividad del núcleo 25 del reactor RP-10 mediante el modelo cinético puntual y espacial <i>Magaly Zapata; Agustín Zúñiga; Rubén Bruna</i>	74
16	Medición de flujo y dosis de neutrones en la cavidad Interna de la columna térmica para el núcleo 24 del reactor RP-10 <i>Javier Gómez; Gerardo Lázaro</i>	78
17	Moderación de neutrones térmicos con polietileno y parafina <i>Claudia Aparicio; Héctor Miranda; Javier Gómez, Gerardo Lázaro</i>	81
18	Optimización del mantenimiento del sistema de corte del reactor RP-10 <i>Álvaro Aguirre; Gerardo Lázaro</i>	84
19	Validación del programa FERCIN para la calibración de las barras de control del reactor RP-10 <i>José Castro; Magaly Zapata; Rubén Bruna</i>	87
20	Cálculo de celda del elemento combustible normal <i>Alberto Gallardo; José Castro; Carla Notari</i>	93
III. APLICACIONES EN LA INDUSTRIA Y MEDIO AMBIENTE		97
21	Estudio de filtraciones de relaves mineros aplicando técnicas de trazadores en minas del Departamento de Cajamarca <i>Jacinto Valencia; Gerardo Maghella; Enoc Mamani; Jorge Condori</i>	99
22	Estudio de dinámica de aguas subterráneas en pozo utilizando radiotrazadores <i>Rubén Rojas; Gerardo Maghella; José Maguiña; Jorge Condori</i>	102
23	Evaluación de filtraciones de depósito de relaves en una mina ubicada en el Sur del Perú <i>Rubén Rojas; Regulo Visurraga; José Maguiña; Jorge Condori</i>	106
24	Determinación de la dispersión de las aguas residuales vertidas al mar a través de un emisario submarino de 1500 metros en el Puerto de Chicama <i>Carlos Sebastián; Gerardo Maghella; Enoc Mamani; José Maguiña; Jorge Condori</i>	109

25	Hidrodinámica de aguas subterráneas en medios fisurados <i>Jacinto Valencia</i>	113
26	Hidrodinámica de filtraciones en minas ubicadas en el SE del Perú <i>Jacinto Valencia; Rubén Rojas; Enoc Mamani</i>	115
27	Evaluación de un generador de vapor de la industria petroquímica utilizando radiotrazadores <i>Carlos Sebastián; Gerardo Maghella; Enoc Mamani; José Maguiña; Jorge Condori</i>	119
28	Aplicaciones de la radiación gamma en frutas y hortalizas. Perspectivas agroindustriales para el espárrago peruano <i>Johnny Vargas; Mónica Vivanco; Marisela Maldonado; Marco Linares; Paula Huamanlazo; Flor de Maria Quispe</i>	123
29	Evaluación de páprika en polvo irradiado <i>Mónica Vivanco; Johnny Vargas; Marco Linares; Paula Huamanlazo</i>	129
30	Solar photocatalytic degradation of phenol using pyrolytic TiO ₂ films deposited inside a tubing <i>Juan Rodríguez; José Díaz; Silvia Ponce; José Solís; Walter Estrada</i>	132
31	Uso del análisis multivariado de datos y espectrometría de absorción Uv-visible para la determinación simultánea de la concentración de Co, Cu y Ni en una solución <i>Germán Comina; José Solís; Walter Estrada</i>	138
IV. APLICACIONES EN MEDICINA Y BIOLOGIA		143
32	Utilidad de la gammagrafía con Ga 67 en el seguimiento de pacientes con linfoma: Reporte preliminar <i>Patricia Saavedra; Roque Cano; Rossana Morales; Rolando Sánchez; Luis Muñoz; Henry Gómez; Carlos Carracedo; Luis León; Carlos Vallejos; Luis Casanova; Jorge Guerrero; Félix Cisneros</i>	145
33	Desarrollo de un kit liofilizado de Anti-egf/r3 para ser marcado con Tc 99m obtenido por extracción para uso potencial en inmunogammagrafía. Reporte preliminar <i>Guilmer Agurto; Ingrid Petzoldt; Anita Robles; Bertha Ramos; Julia Ramirez; Mario Morote</i>	149
34	Producción de fuentes radiactivas selladas en miniatura de I-125 mediante el método de adsorción físico-química sobre alambres de plata recubiertas con paladio para el uso en braquiterapia <i>Maria Benites; Jesús Miranda; Rosario Cóndor; Ramos Martínez; Luis Caveró; Andres Corahua; Manuel Castro; Conrado Seminario</i>	151
35	Substanciación de la dosis de radioesterilización para aloinjertos de Hueso: Reporte preliminar <i>Enma Castro; Kety León</i>	155
36	Validación de la dosis de esterilización de gasa parafinada <i>Enma Castro; Kety León</i>	159

37	Análisis de la biodiversidad genética del algodón peruano usando marcadores moleculares: Avances en el 2004 <i>José Olórtegui; Marco Espinoza; José Espinoza; Ysabel Montoya</i>	163
38	Avances en la caracterización molecular de los microorganismos biooxidantes en tanques industriales de biooxidación de arsenopirita para la recuperación de oro y en drenajes ácidos de minas: Reporte preliminar <i>Milagros Quintana; Martha Ly; José Bauer; Marco Espinoza; Ysabel Montoya; José Espinoza</i>	166
39	Immune response in alpacas against Fasciola hepatica cysteine proteinases Fas1 and Fas2 <i>Olga Timoteo; José Espinoza</i>	172
V. SEGURIDAD NUCLEAR Y PROTECCIÓN RADIOLOGICA		179
40	Control de calidad de equipos de rayos-x utilizados en el diagnóstico médico durante el año 2004 <i>Tony Benavente; Luis Defilippi</i>	181
41	Inspección de equipos de rayos-X en la ciudad de Arequipa <i>Yuri Ravello</i>	183
42	Estudio dosimétrico del equipo de irradiación tipo I de Co 60 modelo gammacell 220 Excel SN44R <i>Marco Linares; Paula Huamanlazo; Johnny Vargas; Mónica Vivanco</i>	184
43	Radiactividad natural y artificial en productos lácteos de consumo humano (1971-2003) <i>José Osoreo; Susana Gonzáles; Jorge Martínez; Raúl Jara</i>	187
VI. ASPECTOS DE GESTION		191
44	Premisas presupuestales para el estudio económico de la Ley Marco de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica <i>Mauro Zevallos; Miriam Alarcón; Luis Espinoza; Graciela Alvaro; Carlos Gayoso; Víctor Elguera; Mully Nájera</i>	193
45	Fundamento teórico del planeamiento eléctrico “Wien Automatic System Planning (WASP)” <i>Juan Avila</i>	203
46	Exploraciones de uranio en el Perú <i>Jacinto Valencia</i>	213
47	Training on radiological protection in Peru <i>Eduardo Medina</i>	215
48	Second professional specialization on radiological protection in Peru <i>Eduardo Medina</i>	217

I. Ciencia de los Materiales

Highly porous Tungsten-oxide-based films obtained by spray-gel for gas sensing applications

José Solís^(1,2) jsolis@ipen.gob.pe; Juan Rodríguez^(1,2) jrodriguez@ipen.gob.pe;
Walter Estrada^(1,2) westrada@ipen.gob.pe

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

(2) Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de Ciencias Av. Tupac Amaru 210, Lima 25, Perú

Abstract

Highly porous mixed WO_3 - SnO_2 films have been prepared from an aqueous solution of $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ and polytungsten gel with a molar ratio of Sn/W from 0 to 1. These solutions were sprayed on to alumina substrates at 220 °C. The obtained films were annealing at 600 °C in air for 3 h. The annealed films were composed of a mixture of WO_3 and SnO_2 phases. The gas sensitivity to butanol and ethanol vapors is enhanced when the Sn/W molar ratio increases in the film by up to 0.1, with further increments to this proportion the sensitivity decreases.

1. Introduction

Mixed oxides have been investigated intensively to improve or modify their gas sensing properties [1]. It has been found that most metal oxide mixtures exhibit increased surface activity. It is well-known that the conductance of simple metal oxides such as SnO_2 and WO_3 changes when the composition of the surrounding atmosphere is altered [2]. It has been concluded that the nature of the surface sites and the electron donor/acceptor properties of the gas, the adsorption, the surface reactions, and the desorption of gases are key features for the performance of semiconductor gas sensors [2]. Surface properties are expected to be influenced by grain boundaries between the grains of different chemical compositions. These phenomena will contribute to the gas-sensing properties. Mixed oxides that form distinct chemical compounds as in the systems Zn-Sn-O [3], Cd-In-O [4], and Sn-W-O [5,6] have been used successfully in gas detection.

The sol-gel technique is well suited for making mixed oxides [7]. The spray-gel technique that combines the spray pyrolysis and the sol-gel techniques has produced very porous films [8,9]. This technique is suitable for producing semiconductor metal oxides for gas-sensing applications; due to the fact that it yields a large interface between a solid and a gaseous medium.

In this work, we report the characterization and gas sensing properties of highly porous mixed WO_3 - SnO_2 films obtained by spray-gel technique. The incorporation of the SnO_2 phase into WO_3 improved the gas response

to ethanol and butanol with respect to pure WO_3 .

2. Experimental

The spray-gel technique was used to obtain mixed tungsten oxide and tin oxide films on alumina substrates. The process basically consists of producing an aerosol from a gel, which is sprayed on a hot substrate where the film is going to grow [8]. A sol was prepared via acidification of 0.1 M sodium tungstate aqueous solution (pH ~ 7.8) through a proton exchange resin. Different quantities of an aqueous solution of $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ were added to the polytungsten sol to obtain a solution with a molar ratio of Sn/W from 0 to 1 (pH ~ 1.1). These solutions were sprayed on to alumina substrates at 220 °C for 45 min giving a film with a thickness of ~ 1 μm .

For gas sensing studies the films were deposited onto alumina substrates using preprinted gold electrodes, 0.3 mm apart, and a Pt-heating resistor on the reverse side. Rectangular (3 x 2.5 mm^2) mixed WO_3 - SnO_2 films were formed so they bridged the gold electrodes. Before the gas sensing studies the films were annealed in air at 600 °C for 3 h, because it is well-known that the sensing effect is optimized at temperatures between 200 and 400 °C.

3. Results

3.1 Structural properties. The crystal structures of mixed WO_3 - SnO_2 films obtained were characterized by x-ray diffraction (XRD). XRD was performed using

a Phillips X Pert diffractometer operating with $\text{CuK}\alpha$ radiation. Figure 1 shows the X-ray diffractograms for films made from different solutions with Sn/W molar ratio from 0 to 1, post-annealed at 600 °C. Peaks belonging to WO_3 as well as SnO_2 phases are indicated in the figure, the asterisks in the figure represent the peaks due to the substrate (Al_2O_3). The incorporation of Sn into the WO_3 shows a systematic change in the peaks. The peaks corresponding to SnO_2 phase are broad indicating that their with grain size is in the nanometric range.

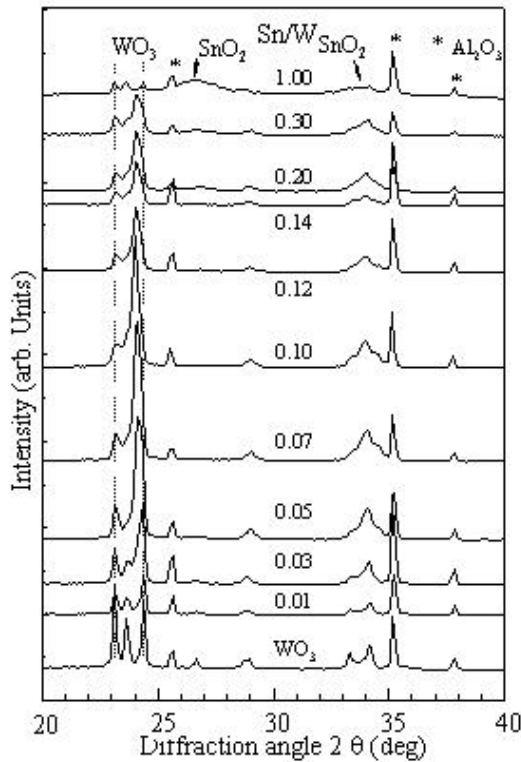


Figure 1. X-ray diffraction patterns for films made from a solution with a different molar ratio of Sn/W after annealing at 600 °C. Asterisks denote diffraction peaks from the substrate. The broken lines indicate the stronger positions of the WO_3 .

The microstructure of the films was analyzed by a scanning electron microscope (SEM), a Hitachi S500 instrument. From micrographs (Fig. 2) one can follow the porosity variation of the mixed WO_3 - SnO_2 films as a function of the molar ratio. The films obtained from solutions of Sn/W with a molar ratio of less than 0.10 are highly porous, whereas the films made from a molar ratio of Sn/W higher than 0.10 are compact. The porous structure of the films is related to the WO_3 [8] and the small particles appearing with the incorporation of Sn in the film could be related to SnO_2 .

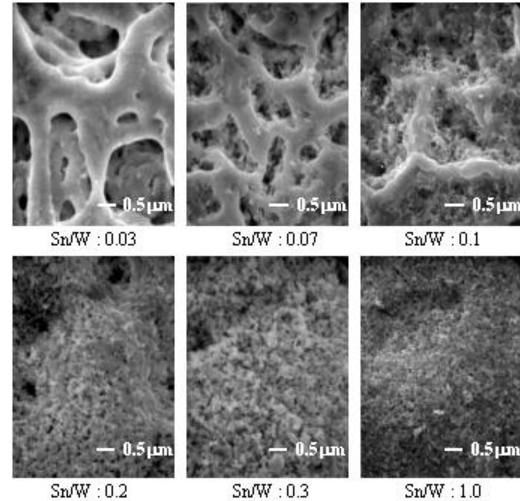


Figure 2. SEM micrographs for mixed WO_3 - SnO_2 films after annealing at 600 °C obtained from solutions with the shown molar ratio of Sn/W.

3.2 Gas sensing properties.

Pt-wire contacts were attached with a low-temperature gold paste to the two gold electrodes on the alumina substrate for electrical conductance measurements. The samples to be tested were placed in a stainless steel chamber (4.4 L) and exposed to different butanol and ethanol vapor concentrations. The films were connected in series with both a known resistor and a 5V source. The conductance of the films was obtained by measuring the voltage drops across the resistor. Gas-sensing properties of the films were studied at 400 °C, using a computer-controlled measuring system. The gas sensitivity is defined here, as the conductance ratio $G_{\text{gas}}/G_{\text{air}}$, where G_{gas} denotes the conductance after 1 min in the test gas and G_{air} is the conductance in air.

Figure 3 shows the results of a detailed study on the gas sensitivity of mixed WO_3 - SnO_2 films obtained from different solutions with a molar ratio of Sn/W from 0 to 1 after annealing at 600 °C in 5 ppm of ethanol and butanol. The gas sensitivity of the mixed WO_3 - SnO_2 to butanol and ethanol vapors is higher than that of pure WO_3 . It was found that the optimal molar ratio of Sn/W for the solutions used to prepare the films was 0.1 with high gas sensitivity to butanol and ethanol, respectively. Similar results were reported with 10 wt.% of SnO_2 or ZrO in Fe_2O_3 [10]. The high sensitivity of these sensors was explained on the basis of SnO_2 or ZrO inducing the acid-based properties of the sensing materials so that the sensitivity to detection of ethanol vapor in air was increased [11]. The mechanism of the ethanol sensing is well described by

Hellegouar'h et al. [12], and is in agreement with our results.

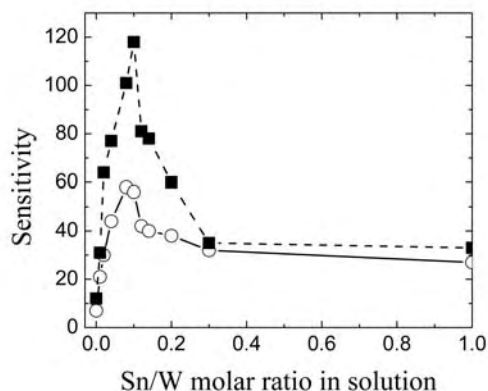


Figure 3. Sensitivity vs molar ratio Sn/W from the solution used to obtain mixed WO_3 - SnO_2 films after annealing at 600 °C, and being exposed to 5 ppm of ethanol (O) and butanol (■) in air. The operating temperature is 400 °C.

4. Discussion and conclusions

The annealed films obtained from a solution with a molar ratio of Sn/W lower than 0.01 were mainly monoclinic WO_3 , whereas those obtained from solutions with higher Sn/W molar ratios were composed of a mixture of SnO_2 and WO_3 phases, the relative intensity of the WO_3 peaks at 2θ in the 22 – 25° range change, it could be that the Sn produces a distortion of the WO_3 unit cell. The film obtained from a solution with a molar ratio of Sn/W of 1.0 has a mixture of nanocrystalline SnO_2 and WO_3 . The films obtained from solutions of Sn/W with a molar ratio of up to 1.0 keep some porosity, but an agglomerate of grains is formed when films are deposited from solutions with a higher Sn/W molar ratio than 0.07.

Gas sensitivity to butanol and ethanol vapors is enhanced when both WO_3 and SnO_2 phases are present in the films. It was found that the optimal Sn/W molar ratios for spraying solutions were 0.10 to get high gas sensitivity to butanol and ethanol, respectively. Therefore, the presence of small amounts (less than 0.10).

Acknowledgements

This work has been financially supported by the International Program for Physical Science of Uppsala University (IPPS), the Instituto de Investigación de Universidad Nacional de Ingeniería, and CONCYTEC (Peruvian Research Council).

References

1. K. Zakrzewska, *Thin Solid Films* 391 (2001) 229.
2. M.J. Madou, S.R. Morrison, *Chemical Sensing with Solid State Devices*, (Academic Press, San Diego, 1989).
3. Y.-S. Shen, T.-S. Zhang, *Sens. Actuators B* 12 (1993) 5.
4. Z. Szklarski, K. Zakrzewska, M. Rekas, *Thin Solid Films* 174 (1989) 269.
5. J.L. Solis, V. Lantto, *Sens. Actuators B* 48 (1998) 322.
6. J.L. Solis et al., *Sens. Actuators B* 68 (2000) 286.
7. M. Macek, B. Orel, T. Meden, *J. Sol-Gel Sci. Technol.* 8 (1997) 771.
8. M.A. Damian, Y. Rodriguez, J.L. Solis, and W. Estrada, *Thin Solid Films* 444 (2003) 104.
9. A. Medina, J.L. Solis, J. Rodríguez, and W. Estrada, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* 80 (2003) 473.
10. C.V. Gopal Reddy, W. Cao, O.K. Tan, and W. Zhu, *Sens. Actuators B* 81 (2002) 170.
11. T. Jinkawa, G. Sakai, J. Tamaki, N. Miura, N. Yamazoe, *J. Mol. Catal. A: Chem.* 155 (2000) 193.
12. F. Hellegouar'h, F. Arefi-Khonsari, R. Planade, and J. Amouroux, *Sens. Actuators B* 73 (2001) 27.

SEM-EDS to probing morphological and physiological changes produced by a porphyrin photosensitizer in *Psammobatis extenta* electrocytes

María Prado⁽¹⁾ inprado@criba.edu.ar; Julio Santiago⁽²⁾ jsantiago@ipen.gob.pe

(1) Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina

(2) Instituto Peruano de Energía Nuclear, Av. Canadá 1470, Lima 1, Perú

Resumen

The morphological and physiological changes produced by the intracellular localization of an alkyl long-chain tetraphenylporphyrin photosensitizer in *Psammobatis extenta* electrocytes were studied by means of SEM – EDS technique. The photosensitizer localizes in the electromotor nerves and the nuclear chromatin of electrocytes. Both structures exhibited intense fluorescence, whereas, the mitochondria were only slightly fluorescent. Immediately after the penetration of the photosensitizer, the electrocytes swell and the convex faces lose all their invaginations. This effect is due to the flux of chloride and sodium ions into the electrocytes, in accord to the electron-probe X-ray microanalysis.

1. Introduction

Photosensitizers have a wide spectrum of applications ranging from material sciences to medicinal and biological sciences. They are used in photocatalysis to improve the efficiency of semiconductors. For example, ruthenium bipyridyl complexes or phthalocyanine derivatives are used to improve the TiO₂ absorption range of solar energy.¹ In medicine, the main application of photosensitizers is in the photodynamic therapy of cancer (PDT) as well as several non-malignant conditions such as age related macular degeneration.² PDT take advantage in the high affinity of some photosensitizers (mainly porphyrin and phthalocyanine derivatives) to cancer cells and the easy way they absorb visible light to generate singlet molecular oxygen.³ This specie is highly reactive and modify chemically important biomolecules, including lipids, proteins, and nucleic acids. Therefore, these biomolecules cannot accomplish their function and, consequently, the cells die.^{4,5} In biology, photosensitizers are used to inactivate bacteria and protozoa.^{6,7} A practical application of this knowledge may be water disinfection for human consume or the inhibition of biofilm formation.

To understand cell death in PDT or inactivation of bacteria is important to know in which part of the cell is attached the photosensitizer. In general, lipophilic photosensitizers accumulate in the membrane of a cell and its organelles.⁸ On the other hand, hydrophilic, as well as aggregated states of photosensitizers, are localized mainly in lysosomes and endosomes.⁹ Another important fact is to observe the morphological changes induced by the photosensitizers in cells by the chemical modifications of biomolecules.

Scanning electron microscopy (SEM) coupled with Energy Dispersive X-ray Analyzer (EDS) system was used to study the morphology (shape and size) and elemental composition of material surfaces. The use of these techniques in areas different than material sciences is increased in the last decade. The application of this technique in biology include the monitoring of calcification of human vascular cells,¹⁰ and the *in vivo* tissue response of implants.¹¹ In the latter case, EDS technique demonstrated the formation of a phosphorous-rich zone in the interface between bone and the implants.¹¹ EDS technique was also used to measure the elemental concentration of monovalent cations (Na⁺, Cl⁻, and K⁺) during the degradation phase of apoptosis of U937 human monoblastoid cell line.¹²

In this work we use SEM-EDS technique to obtain additional information related to the morphological changes observed after the intracellular localization of the 5,10,15,20-tetrakis(4-*n*-dodecylphenyl)-porphyrin

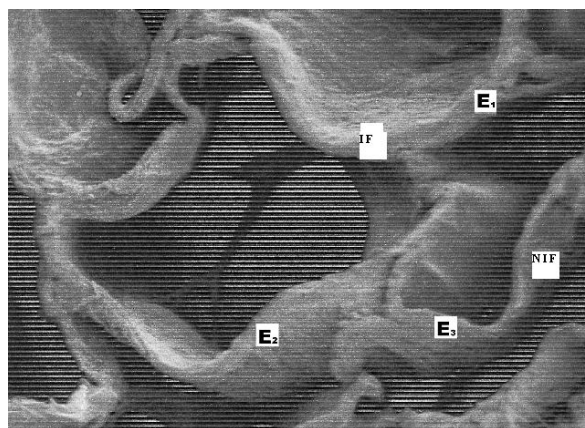


Fig.1. Scanning electron micrograph showing three electrocytes (x100).

(C₁₂TPPH₂) in *Psammobatis extenta* electrocytes. This specie belongs to the Rajidae, one of the three groups of weak electric fish. The other ones are the Gymnotiformes and the Mormyriiforms. The electric organs of *Psammobatis extenta* are constituted by macroscopic cells called electrocytes. Electrocytes are found in an alveolar arrangement on the antero-posterior axis.^{13,14} The few organelles presented in electrocytes can be observed easily with optical microscope. The electrocytes are highly polarized and multinuclear cells. *P. extenta* electrocytes are semicircular in shape (Fig. 1) and have their concave face receiving innervation (IF) from electromotor neurons of the spinal cord. The other face, which is convex, is non-innervated (NIF) and shows a system of caveolae.^{15,16} The nuclei are localized at the posterior region of the cytoplasm. The shape of the Rajidae electrocytes varies from cup-shaped, modified cup-shaped cells (or semicircular) to disc-shaped. The electrocyte structure reflected the phylogeny of skates. Thus the most primitive is the cup-shaped and the most derived is the disc-shaped.¹⁷ The study of the *Psammobatis extenta* electrocytes is interesting because they are modified cup-shaped cells¹⁵ with myoproteins and then primitives.¹⁸

2. Experimental Method

Materials and chemicals

Adult *Psammobatis extenta* fish were from the Estuary of Bahía Blanca, Buenos Aires Province, and from San Antonio Oeste, Rio Negro Province, Argentine. Immediately after dissection, the electric tissue was frozen at -80°C until use.

All chemical reagents were used as purchased. Solvents were purified following the standard methods.

Photosensitizer

C₁₂TPPH₂, a TPP derivative, was prepared in two steps (Scheme 1), following the literature procedures.^{19,20} Briefly this involved the following:

Synthesis of *n*-Dodecylbenzaldehyde: *n*-dodecylbenzene and freshly distilled TiCl₄ were mixed in CH₂Cl₂. The mixture was cooled and 1,1-dichlorodimethyleter was added drop by drop, keeping the temperature below 10°C. After 45 minutes at room temperature, the mixture was extracted with CH₂Cl₂ and the organic phase dried with anhydrous Na₂SO₄. *n*-dodecylbenzaldehyde was purified as an yellowish viscous oil after column chromatography (Silicagel, CHCl₃/hexane 1:1). Yield 60%.

Synthesis of C₁₂TPPH₂: *n*-dodecylbenzaldehyde was mixed with pyrrole in propionic acid and heated at 170°C for 30 minutes. After cooling to room temperature, the solid was filtered and redissolved with CHCl₃, then a solution of DDQ/benzene was added and heated for 30 minutes at 70°C. The C₁₂TPPH₂ was purified by column chromatography (Al₂O₃, activity I, CH₂Cl₂) followed by recrystallization in CHCl₃/acetone. Yield 15%.

The purity was controlled by ¹H-NMR and elemental analysis. λ_{max} (CHCl₃) = 418 nm.

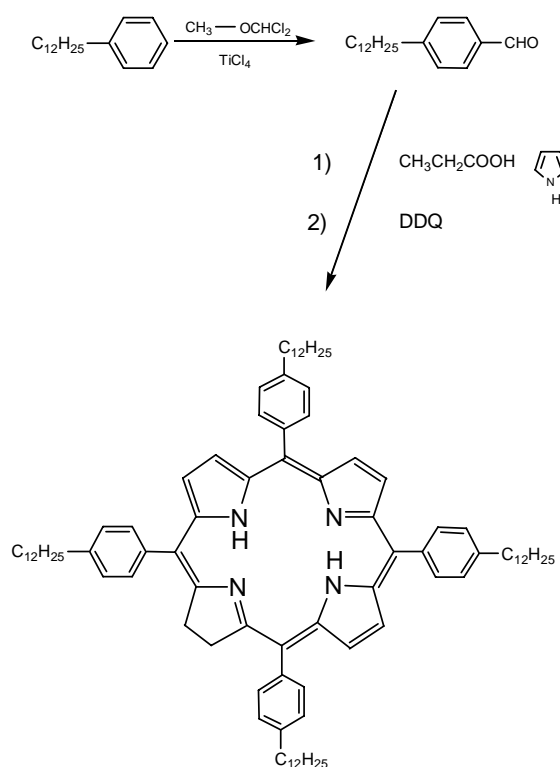
Epifluorescence microscopy

Cryostat sections of Rajidae electric organ, about 10 μm, were treated in three different systems:

System A: Sections were incubated for 3 minutes with 1,2 x 10⁻⁴ M solution of C₁₂TPPH₂ in chloroform and were fixed for 5 min at 4°C in a mixture of 3.7% formaldehyde and 0.5% glutaraldehyde in 0.05 M phosphate buffer, pH 7.4.

System B: Sections were treated for 1 minute with C₁₂TPPH₂ diluted in CHCl₃, 1 μg/10 μL, and then in 90 μL of a mixture of 70% ethanol and 3mM imidazole buffer, pH 7,2, yielding a final concentration of 1,2 x 10⁻⁴ M. Then fixed as described for system A.

System C: Sections were treated as in system B but xylene was used instead of chloroform and the TPP derivative concentration was 5 times higher.



Scheme 1 Synthetic route to obtain C₁₂TPPH₂.

After fixation, sections were washed in PBS or imidazole buffer for 5 min., mounted with Citifluor and observed with an epifluorescence Nikon Optiphot microscope equipped with filter G and 580W supplementary filter. Photomicrographs were taken using a Nikon camera and ILFORD HP 35 400 ASA film. As negative control the sections were treated as described above but with omission of the TPP derivative.

SEM-EDS experiments

For control experiments electric segments were incubated for 1 h. with glutaraldehyde 1.5 % in 0.05 M phosphate buffer pH 7.4. Then sections were washed 3x with the same buffer for 10 min. Samples were dehydrated successively with EtOH 50, 75, 90 y 100%. After solvent evaporation samples were coated with carbon in a sputter coater model 3 (Pelco, Ted Pella Inc.).¹⁸

For SEM-EDS analysis electric organ segments of 1x2 mm were treated with the TPP derivative in similar conditions described for fluorescence microscopy. After evaporation of solvents, samples were metalized with gold (200Å) in a sputter coater model 3 (Pelco, Ted Pella Inc.) and oriented for observation by a JEOL 35 Scanning Electron Microscope equipped with EDAX Si(Li) energy dispersive X-ray detector. Also it was used a Philips PSEM 500 Scanning Electron Microscope equipped with EDAX. In this case samples were coated with carbon. Microanalysis was carried out at the non-innervated face of the electrocytes, because it shows invaginations and the photosensitizer is concentrated on this kind of tissue.

All the EDS spectra showed in this paper are Relative Intensity (arbitrary units) vs Energy (keV).

3. Results

Epifluorescence microscopy

In contrast with the negative control the intracellular localization of the photosensitizer were observed easily by fluorescence microscopy and phase contrast microscopy. The fluorescence micrograph (Fig. 2) shows part of two electrocytes treated with system A. It can be observed strong fluorescence in nuclei but very slight in mitochondria. Additionally the photosensitizer shows affinity for the terminal nerves, the synaptic region. The same was observed with the phase-contrast micrograph of sections treated with systems B and C.²¹

SEM-EDS experiments

SEM-EDS experiment was performed on the tissue sections without any treatment with solvents or photosensitizer (Fig. 3). This micrograph of non-innervated face shows a

system of caveolae. The relative semi-quantitative weight % (K_{α}) for oxygen was 70%. Cu^{2+} and Zn^{2+} are present in low concentration.

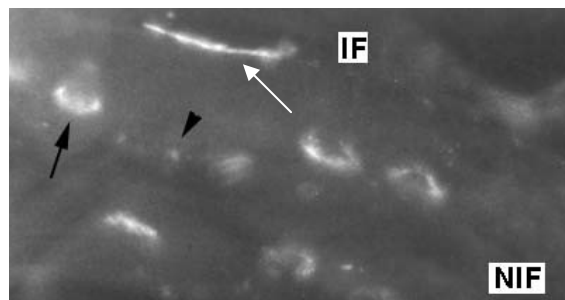


Fig. 2. Localization of $\text{C}_{12}\text{TPPH}_2$ in the nuclei (black arrow), terminal nerves (white arrow) and in mitochondria (arrow head) of an electrocyte (x600).

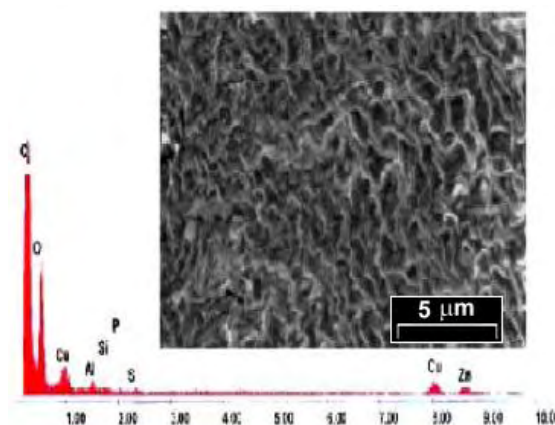


Fig. 3. EDS spectrum and scanning electron micrograph (x2000) of non-innervated face of an electrocyte before any treatment.

After treatment of the electrocyte, from Bahía Blanca, with $\text{C}_{12}\text{TPPH}_2$ in chloroform, system A, (fig. 4), the relative semi-quantitative weight % (K_{α}) for oxygen, sodium and chloride ions were: 39, 17 and 15, respectively. Compared to negative controls, the peak for Na^+ is 5-fold larger and for oxygen the variation is not significant. Also, the peaks of Ca^{2+} and K^+ are presents but are very small. Immediately after the penetration of the TPP derivative ($1,2 \times 10^{-7}$ M in chloroform) in the electrocytes, they start to swell and the convex face loses all their invaginations (Fig. 4b).

Electrocytes, from San Antonio, treated with systems B and C show similar behavior than in CHCl_3 . In both cases the EDS spectra show a new peak corresponding to chloride anion (Fig. 5). The semi-quantitative weight % (K_{α}) for this element was 47% (system B) and 33% (system C), in spite of the higher concentration of $\text{C}_{12}\text{TPPH}_2$ in system C (5-fold higher). Other elements were also detected: Si (19%) and K^+ (28%) in system B; while slightly different ratios were observed in

system C, Si (32%) and K⁺ (25%). Na⁺ were observed in very low concentration, 6 % and 10 % respectively.

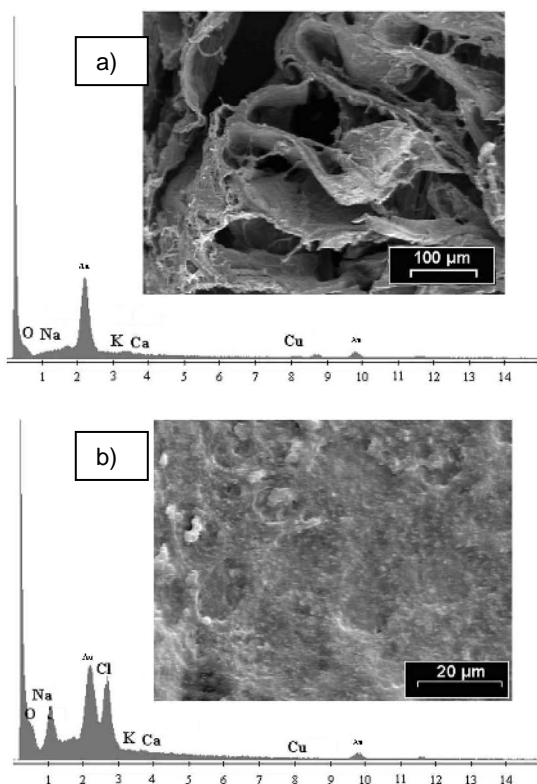


Fig. 4. EDS spectra and scanning electron micrographs of non-innervated face of an electrocyte after treatment with a) CHCl_3 , and b) $\text{C}_{12}\text{TPPH}_2$ in CHCl_3 .

4. Discussion

Photosensitizer

The synthesis of the $\text{C}_{12}\text{TPPH}_2$ was performed following the literature methods with slight changes. We avoid the use of benzene (because of its toxicity) when it was possible. The low overall yield is normal for this kind of porphyrins. This compound was already studied in regard to its thermal properties. It was found to exhibit two discotic lamellar phases. The phases change and the transition temperatures are: C - 31°C - D_L - 52°C - D_L' - 155°C - Isotropic.²⁰ However, their lyotropic liquid crystal properties are not yet studied.

This TPP derivative is very soluble in apolar solvents like CHCl_3 . To use polar solvent we have to include imidazol buffer in the system to avoid precipitation.

Epifluorescence microscopy

The intracellular localization was monitoring easily by the observation of the red fluorescence exhibited by the $\text{C}_{12}\text{TPPH}_2$. The organic compound distributes uniformly over

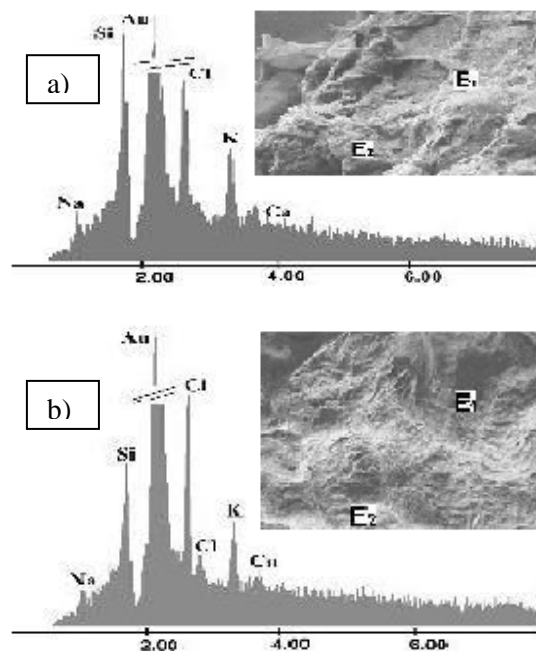


Fig. 5 EDS spectra and scanning electron micrographs (x80) of the electric organ segments treated with the TPP derivative in a) chloroform-EtOH-imidazole buffer, and b) xylene-EtOH-imidazol buffer.

the terminal nerves around the electrocytes, and specially in nuclei. The affinity of this lipophilic photosensitizer for the nerves is explained because this tissue is rich in fatty acids. Surprisingly, this compound does not exhibit affinity for the entire membrane cell. The nuclei show an intense red fluorescence and the shape of this fluorescence were similar to the semicircular distribution of the chromatin of these cells (Fig. 2), suggesting that the TPP derivative interacts with DNA. In contrast, the mitochondria show slight fluorescence. This localization is unusual for a photosensitizer of similar polarity. For example, a lipophilic phthalocyanine localizes on the lysosomes.

In the conditions of our experiments, the chloroform does not seem to provoke visible damage to membrane cells. Fig. 2 shows that membrane cells keep their integrity.

The intracellular localization is not solvent-dependent. The same distribution was observed with system C but the resolution of the fluorescence micrographs are better in chloroform than in xylene-EtOH-imidazol buffer system. This may be due to a better solubility of the $\text{C}_{12}\text{TPPH}_2$ in CHCl_3 .²¹

SEM - EDS

Initially EDS measurements were performed on sections coated with carbon in order to check there are no metal peaks in the region where gold peak appears. Energy dispersive spectrum shows a high peak for oxygen in the original cell without any treatment (Fig. 3). This may be related to generation of

oxygen and oxidative stress in the electrocyte. Zn^{++} and Cu^{++} cations are also present in the electrocytes, these cations have antioxidant effect and are probably including with the superoxide dismutase enzyme.²² This oxygen peak was not observed anymore in the EDS analysis of sections treated with solvents (systems A-C) alone or with the TPP derivative (Fig. 4, 5). It is surprising that there is no peaks for common cations as Na^+ , K^+ and Ca^{2+} in *Psammobatis extenta* electrocytes.

There are several reports on chloroform cytotoxicity. For example, cytolethality on rat hepatocyte was induced after 3 h incubation in chloroform.²³ However the effect of chloroform alone seems to be not very important in the conditions of our experiments, 5 minutes incubation. The morphology of electrocytes is similar before and after treatment with chloroform (Fig. 1 and 4a). However their EDS spectra are different. The EDS spectrum of Fig. 4a compared to Fig. 3 indicates that the semi-quantitative weight (%) for oxygen decreases to the half after treatment with chloroform but new small peaks of Na^+ , K^+ and Ca^{2+} could be observed. The signal of Al, Si and P observed in normal electrocytes are not observed after the treatment with chloroform. Maybe they are covered by other signals. Completely different effect can be observed after the electrocytes incubation in a TPP derivative in chloroform solution. The penetration of the photosensitizer in electrocytes provokes a dramatic increasing of Na^+ concentration and the appearance of a new big peak corresponding to Cl^- anion. As a consequence of this influx of ions the electrocytes swelling (Fig. 4b). The reason of the ions flux inside the cell may be due to the morphological modification of cell membrane. Also conformational changes of the proteins involved in ionic channels are possible due to the presence of the photosensitizer in the terminal nerves. Because its lipophilic character, the TPP derivative have affinity of the lipophilic region of cell membranes and may interact with the proteins of ionic channels activating them.

EDS data give a good evidence for the cationic channel activation as a consequence of the porphyrin derivative fixation in cell. Cl^- influx is also observed after electrocytes treatment with TPP derivative in systems B and C as solvent (Fig. 5a and 5b). But instead of Na^+ , K^+ influx is observed when $CHCl_3$ -EtOH-imidazol buffer and xylene-EtOH-imidazole buffer used as solvent (Fig. 5a y 5b), indicating that solvents play a crucial rol in ion flux. An explanation could be that the TPP derivative are fixed in the cell membrane in different concentration and interacts with some part of the lipophilic region of some ions channel, depending its concentration, and changing its behaviour. Also we can consider that even in the experimental conditons small amount of singlet oxygen could be generated and

modify the membrane properties allowing the influx of chloride anion.²⁴ The possible changes in membrane include current, potential, ionic gradients, action potential duration and amplitude, after depolarization, spontaneous activity and loss of excitability.^{25,26} It should be pointed out that chloride channel activation is not usual for weakly electric fish like *Psammobatis extenta*. However, the presence of a voltage-gated chloride channel was demonstrated in the non-innervated plasma membrane of *Torpedo* electrocyte, a strongly electric fish.²⁷ It should be noted that K^+ and Cl^- concentrations play an important role in apoptosis mechanism. Targeting of K^+ channels was proposed as a potential therapeutic tool in modulating apoptosis to maintain the balance between cell proliferation and cell death that is essential to the normal development and function of an organism.²⁸

Another interesting fact is the increasing of the silicon peak. The semi-quantitative weight (%) for this element increase from 13 % in electrocytes without any treatment to 19 % (system B) and 32 % (system C). The latter is a normal amount considering that system C was 5x more concentrating than B.

5. Conclusions

These results constitute a suggestive evidence for chloride channel activation as a consequence of the penetration of $C_{12}TPPH_2$ in electrocytes. The massive intracellular accumulation of Cl^- and specially the influx of Na^+ lead to cell swelling, and the subsequently necrotic response of cells. The activation of chloride channel by this TPP derivative may constitute an alternative in the treatment of the cystic fibrosis, which is related to a dysfunction of the chloride ion transport.

In contrast, the increase of Ca^{2+} concentration in electrocytes suggests a participation of an apoptotic mechanism. Moreover, the interaction of $C_{12}TPPH_2$ with DNA, and even the low amount of mitochondrial-bound porphyrin, may contribute to cell death by apoptotic mechanism after excitation with light.

SEM-EDS is a powerfull technique to obtain information that allow to explain the morphological and physiological changes and elemental composition variations after the treatment of cells with photosensitizers during the photodynamic therapy of cancer.

References

- 1 A. Nogueira, A. Formiga, H. Winnischofer, M. Nakamura, F. Engelmann, K. Araki and H. Toma, *Photochem. Photobiol. Sci.* **3** (2004) 56.

- 2 H. van den Bergh, *Semin. Ophthalmol.* **16** (2001) 181.
- 3 M. Fournier, C.Pépin, D. Houde, R. Ouellet and J. van Lier, *Photochem. Photobiol. Sci.* **3** (2004) 120.
- 4 M. Davies, *Photochem. Photobiol. Sci.*, **3** (2004) 17.
- 5 N. L. Oleinick, R. L. Morris and I. Belichenko, *Photochem. Photobiol. Sci.* **1** (2002) 1.
- 6 E. Reddi, M. Ceccon, G. Valduga, G. Jori, J. Bommer, F. Elisei, L. Latterini and U. Mazzucato, *Photochem. Photobiol.* **75** (2002) 462.
- 7 Z. Malik, T. Babushkin, S. Sher, J. Hanania, H. Ladan, Y. Nitzan and S. Salzberg, *Int. J. Biochem.* **25** (1993) 1399.
- 8 A. Graham, G. Li, Y. Chen, J. Morgan, A. Oseroff, T. Dougherty and R. Pandey, *Photochem. Photobiol.* **77** (2003) 561.
- 9 K. Berg and J. Moan, *Photochem. Photobiol.* **65** (1997) 403.
- 10 D. Proudfoot, J. Skepper, C. Shanahan and P. Weissberg, *Arterioscler. Thromb. Vasc. Biol.* **18** (1998) 379.
- 11 H. Liao, H. Mutvei, M. Sjostrom, L. Hammarstrom and J. Li, *Biomat.* **21** (2000) 457.
- 12 S. Zabiti, F. Arrebola, F. Cañizares, M. Cubero, E. Fernandez-Segura, P. Crespo and A. Campos, *Int. J. Dev. Biol.*, **45(S1)** (2001) S163.
- 13 M. Bennett, *Encyclopedia of Neuroscience*, G. Adelman, Birkhauser (Ed.), 1987, **1**, 365.
- 14 G. Fox, M. Kriebel and G. Pappas, *Anat. Embryol.*, **181** (1990) 305.
- 15 M. Prado Figueroa, M. Vidal and A. Barrantes, *Biocell*, **19** (1995) 113.
- 16 M. Prado Figueroa, F. Barrera and G. Schmidt, *Archivos de la Memoria de la ciudad de bahía Blanca*, EdiUNS, **3** (2003) 121.
- 17 J. C. Ewart, *Phil. Trans. Roy. Soc. London* **183B** (1892) 378.
- 18 A. Vidal, M. Prado Figueroa, M.E. Eberwein, E. Kreda and F.J. Barrantes, *Comp. Biochem. Physiol.* **116A** (1997), 113-118.
- 19 Y. Shimizu, M. Miya, A. Nagata, K. Ohta, A. Matsumura, I. Yamamoto and S. Kusabayashi, *Chem. Lett.* 1991, 25.
- 20 Y. Shimizu, M. Miya, A. Nagata, K. Ohta, I. Yamamoto and S. Kusabayashi, *Liq. Cryst.* **14** (1993) 795.
- 21 M. Prado Figueroa, J. Santiago, *Photochem. Photobiol. Sci.*, **3** (2004) 33.
- 22 M. Prado Figueroa, IX Congreso Ibero-Americano de Biología Celular, Campinas, Brasil, 2004.
- 23 P. Ammann, C. Laethem, G. Kedderis, *Toxicol. Appl. Pharmacol.*, **149** (1998) 217.
- 24 Joseph I. Kourie, *Am. J. Physiol. Cell Physiol.*, **275** (1998) C1.
- 25 Elliott, S. J., and W. P. Schilling, *Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol.* **163** (1992) H96.
- 26 R. Jabr, W. Cole, *Circulation Research.* **76** (1995) 812.
- 27 M. White and C. Miller, *J. Gen. Physiol.*, **78** (1981) 1.
- 28 Remillard and J. Yuan, *Am. J. Physiol. Lung Cell Mol. Physiol.*, **286** (2004) L49.

The influence of the ethanol/water molar ratio in the precursor solution on morphology and photocatalytic activity of pyrolytic ZnO films

María Quintana⁽¹⁾; Juan Rodríguez^(2,1) jrodriguez@ipen.gob.pe; José Solís^(2,1) jsolis@ipen.gob.pe;
Walter Estrada^(2,1) westrada@ipen.gob.pe

(1) *Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ciencias, Av. Tupac Amaru 210, Lima 25, Perú*

(2) *Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN), Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú*

Abstract

Zinc oxide films were fabricated by a home made spray pyrolysis system equipped with an optical set-up ensuring the in-situ control of the film growth. 0.1 M of zinc acetate diluted in a mixture of ethanol and water was used as the precursor solution. The ethanol/water molar ratio, Γ , in the precursor solution was varied from 0 to 0.92. The deposition temperature and the pH of the precursor solution were kept at 350 °C and 4.5, respectively. X-ray diffraction patterns revealed that films were zincite-like with a grain size depending of the ethanol/water molar ratio in the precursor solution. The interference pattern obtained during film deposition was used to monitor the film roughness; it was found that this is related with those results of surfaces and optical analysis obtained by scanning electron microscopy (SEM) and spectrophotometric measurements, respectively. The morphology of the ZnO films obtained from Γ equal to either 0 or 0.92 are dense with agglomerates uniformly distributed, whereas the films obtained from Γ equal to 0.03 or 0.06 are very rough with irregular agglomerates. The films obtained from Γ equal to 0.12, 0.18 and 0.31 are rough. Photo-electrocatalytic results indicated that there is a correlation of the partial molar volume of ethanol respect to water in the spraying solution with the photocatalytic efficiency of the ZnO films. We found that the maximum photodegradation of methyl orange in the solution occurs using ZnO films obtained with Γ equal to 0.12.

1. Introduction

Rough thin films are of much interest for applications in photo-electrocatalysis, gas sensors, solar photoelectrochemical cells, etc., due to the large interface between the solid and the fluid surrounded it. Photocatalytic degradation of organic compounds has been proposed as viable alternative for the decontamination of either waste water or drinking water for human use (1). Titanium oxide is by far the most studied material for those applications (2). However, zinc oxide can be used as well for this purpose (3). Thin film morphology depends on the deposition technique and different techniques have been reported for preparing ZnO films: sol-gel (4), reactive evaporation (5), sputtering (6), chemical bath (7), spray pyrolysis (8-11), etc. Among these techniques, spray pyrolysis is one of the most simple and inexpensive technique, and the film morphology can be easily monitored controlling the precursor and deposition conditions. Transparent ZnO-based films have been obtained by pyrolytic decomposition of zinc acetate diluted in ethanol (12), in de-ionized water (13, 14) or a

mixture (3:1 vol.) of ethanol and de-ionized water (15). Recently, we have reported the influence in the film roughness of the pH in the precursor solution (zinc acetate diluted in water), and the degradation of methyl orange has been more efficient with rough films (13). In this work we report the influence in the ZnO film morphology of zinc acetate dilution at different mixtures of water and ethanol. The film growth was monitored by in situ laser reflectometry, and the photo-electrocatalytic degradation of methyl orange in aqueous solution using ZnO thin films was studied. The efficiency of methyl orange degradation is shown to be related to the roughness of the film.

2. Materials and Methods

2.1 Film preparation and in-situ film growth monitoring. Zinc oxide films were deposited using a home made spray pyrolysis system described elsewhere (14). A medical nebulizer was used as the atomizer. The process starts from the aerosol of the precursor solution produced in the nebulizer, which is sprayed onto a hot substrate where the film is going to grow. A 0.1 M starting

solution of extra pure hydrated zinc acetate (Riedel-de-Häen, Seelze, Germany) in a mixture of deionized water and ethanol was used in all experiments. Some drops of acetic acid (Mallinckrodt Laboratory Chemicals, Phillipsburg, USA) were added to obtain a total dissociation of the zinc acetate. Different amounts of ethanol (Merck, Darmstadt, Germany) were in the starting solution, so that the molar ethanol/water ratio, Γ , in the zinc acetate solution was varied from 0 to 0.92. Acetic acid drops were added in order to adjust the pH of the solution at 4.5. Compressed air was used as a gas carrier with a flux and air pressure kept at 15 l/min and 1.7×10^5 Pa, respectively. The solutions were sprayed onto the substrate at 350 °C. A laser reflectometry system for in-situ monitoring the film growth during deposition was set up. This is described elsewhere (unpublished work).

ZnO films were deposited onto 2-mm-thick Libbey Owens Ford glass substrates precoated with a layer of transparent and conducting $\text{SnO}_2:\text{F}$ having a resistance/square of 8 Ω . In order to have films with the same thickness, the spraying was stopped when the in situ laser reflectance signal as a function of deposition time showed three interference peaks (≈ 650 nm thick). Film thickness measured by a Tencor alpha step profilometer, gave an average value of 600 ± 40 nm. The in situ laser reflectance patterns for ZnO films prepared from different molar ethanol/water ratio in the precursor solution are shown in Fig. 1. In all films, oscillations and progressive attenuation of the reflectivity were observed as the film grows. The maxima and minima in the reflectivity define an envelope within the reflectivity oscillates, which is associated to the film roughness. The degree of roughness in the film is related how fast the amplitude of the envelope decrease; for an ideal specular film the amplitude of the envelope does not decrease. We observed that the films become roughest at $\Gamma \approx 0.06$; the film roughness for those prepared at Γ lower or higher than 0.06 decrease progressively. The films recover their optical specularity, characterized by a well defined interference fringes, when are prepared at either $\Gamma = 0$ or $\Gamma = 0.92$.

2.2 Optical and structure characterization. Spectral specular transmittance (T_s) and reflectance (R_s), and spectral diffuse transmittance (T_d) and reflectance (R_d) for

ZnO films were recorded in the $300 < \lambda < 2500$ nm wavelength range using a Perkin Elmer lambda 9 double beam spectrophotometer equipped with an integrating sphere. The crystal structures of the obtained films were characterized by X-ray diffraction (XRD) using a Phillips X Pert diffractometer operating with CuK_α radiation. Surface morphologies were studied with a scanning electron microscopy (SEM) using a Philips 300 instrument operated at 20 kV.

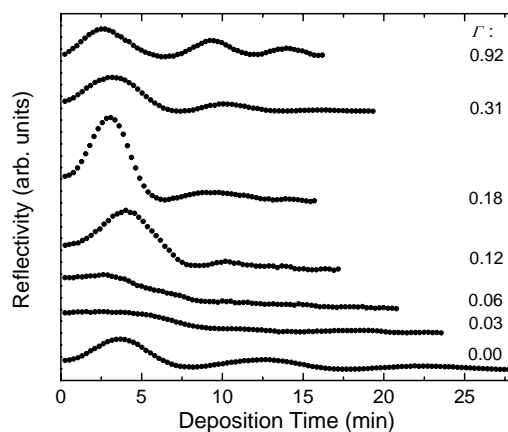


Figure 1. In-situ normal reflectance of a 632.8 nm laser as a function of time for pyrolytic ZnO films obtained using a precursor solution with the shown ethanol/water molar ratio, Γ .

2.3 Photo-electrocatalytic degradation of methyl orange. The photo-electrocatalytic degradation of a methyl orange (Merck, Darmstadt, Germany) water solution using the as-deposited ZnO films was studied using a photoreactor described elsewhere (16). It consists of a Teflon cylindrical container where a sample with ZnO film facing to the interior was mounted in the open end that can be irradiated by ultraviolet (UV) light and filled with 35×10^{-5} M of methyl orange aqueous solution. Two parallel quartz windows are aligned perpendicularly to the cylinder axis in order to allow spectrophotometric transmittance measurements of the solution. A three-electrode arrangement was used in the experiments. It includes a Pt foil as counter electrode, ZnO coating as the working electrode and an Ag/AgCl electrode as the reference electrode. UV irradiation was accomplished with a Phillips Hg 250 W lamp mounted 15 cm in front of the sample. In order to avoid thermal effects, a water filter was used between the lamp and the photoreactor. The intensity of the UV-A spectrum (310 to 400 nm) - measured with an UDT 300 radiometer - was 3 mW. The

photoreactor was positioned in the sample compartment of the RS 325 Optometrics spectrophotometer and a mechanical chopper system was used to avoid the UV irradiation during spectrophotometer recordings. A Wenking POS 73 potentiostat interfaced to a computer was used for electrochemical measurements. An applied bias potential of 0.7 V to the working electrode was used to avoid electron-hole recombination in the irradiated samples; this effect may otherwise be significant, mainly due to traps and surface states. In order to diminish the influence of free oxygen, a well-known electron scavenger of nitrogen bubbles was used continuously into the sample compartment so that the solution was kept uniformly mixed.

3. Results

3.1 Optical characterization. Figure 2 shows the spectral specular transmittance (T_s) for ZnO films deposited onto glass with the shown Γ values of the precursor solution. A noticeable change in the specular transmittance is observed in the films if Γ varies. It is observed that the overall spectral specular transmittance decreases when Γ decreases from 0.92 to 0.06, and increases for Γ values lower than 0.06. The films obtained with Γ equal either to 0.92 or 0.00 are transparent films. The ZnO films obtained at Γ equal to 0.03, 0.06 and 0.12 did not show any interference pattern. In those films the rough surface scatters the light and destroys the interference effects, also they have a milky appearance, and are highly diffusive films.

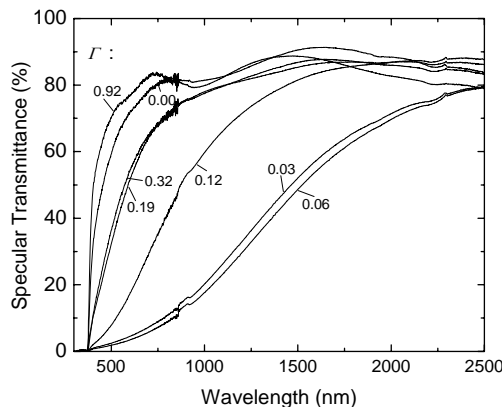


Figure 2. Spectral measured specular transmittance for pyrolytic ZnO films deposited onto glass at 350 °C using a precursor solution with the shown ethanol/water molar ratio, Γ .

T_s , T_d , R_s and R_d measured at 550 nm as a function of Γ in the precursor solution is shown in Fig. 3. From this graph is clearly observed that the T_s and R_s follow the same behavior. Minimum values are obtained at $\Gamma = 0.06$; whereas the T_d and R_d follows a reverse trend, i.e. T_d and R_d reach a maximum at $\Gamma = 0.06$. The T_d and R_d are related with the roughness of the film.

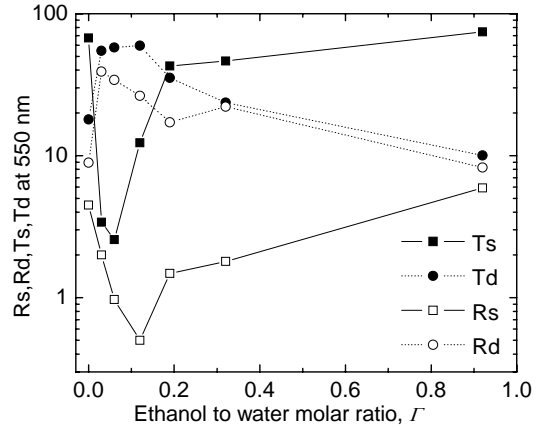


Figure 3. Specular transmittance T_s , diffuse transmittance T_d , specular near normal reflectance R_s and diffuse near normal reflectance R_d measured at 550 nm for pyrolytic zinc oxide films as a function of the ethanol/water molar ratio, Γ , in the precursor solution.

3.2 Structure characterization. Figure 4 displays XRD data for zinc oxide films deposited at six different Γ 's in the precursor solution on to glass substrates. It is evident that the films regardless of Γ consist of a zincite like structure, diffraction peaks at (100), (002), (101), (102) and (110) directions are observed. The mean grain size D was estimated from Scherrer's formula, i.e.,

$$D = \frac{0.9\lambda_x}{\beta \cos\theta}, \quad (1)$$

where $\lambda_x = 1.54 \text{ \AA}$ is the X-ray wavelength of the $\text{CuK}\alpha$ radiation, 2θ is the diffraction angle, and β is the full width at half maximum of diffraction peak. Applying Scherrer's formula to (100), (002) and (101) peaks for ZnO films, the grain size was found that depends on the Γ value used in the precursor solution (see Fig. 5). Regardless the peaks used to derive the grain size of the ZnO films, it has a minimum around 33 nm at $\Gamma = 0.12$.

Figure 6 displays the morphology of zinc oxide films obtained at different Γ values in the precursor solution, onto a transparent- SnO_2 : F-precoated glass substrate. The

morphology of the ZnO films obtained with Γ equal to 0 and 0.92 are dense with agglomerates uniformly distributed, whereas the films obtained with Γ equal to 0.03 and 0.06 are very rough with irregular agglomerates. ZnO films obtained with Γ equal to 0.12, 0.18 and 0.32 are less dense than the films obtained with Γ equal to 0 and 0.92. This is in agreement with the results obtained by optical characterization.

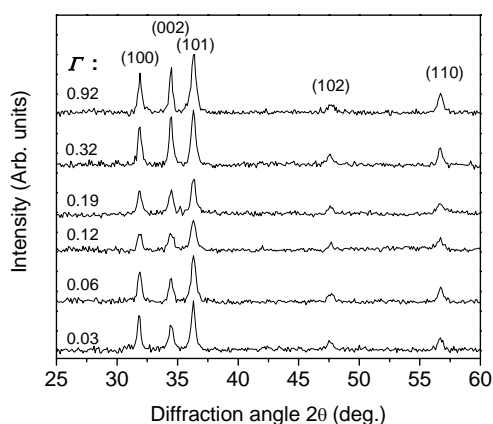


Figure 4. X ray diffractograms for pyrolytic zinc oxide films obtained using a precursor solution with the shown ethanol/water molar ratio, Γ .

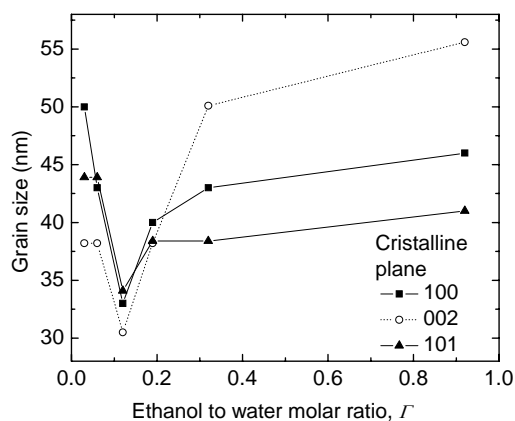


Figure 5. Grain size of pyrolytic ZnO films as a function of the ethanol/water molar ratio, Γ , in the precursor solution.

3.3 Photo-electrocatalytic degradation of methyl orange. Films prepared at lower partial molar volume of ethanol respect to water in the spraying solution ($\Gamma=0.06$ and $\Gamma=0.03$) shown to be mechanically instable in water, so photo-electrocatalytic degradation studies for those films were not performed. Fig. 7 shows measured data on photocurrent for ZnO films obtained with Γ equal to 0.12, 0.32 and 0.92 in the precursor solution as a function of irradiation time. The breaks in the photocurrent were caused by the chopper,

which cut off the UV irradiation in order to allow optical probing of the cell contents. It can be seen that photocurrent is higher for ZnO films obtained with $\Gamma = 0.12$ in the precursor solution as a function of irradiation than for the other films.

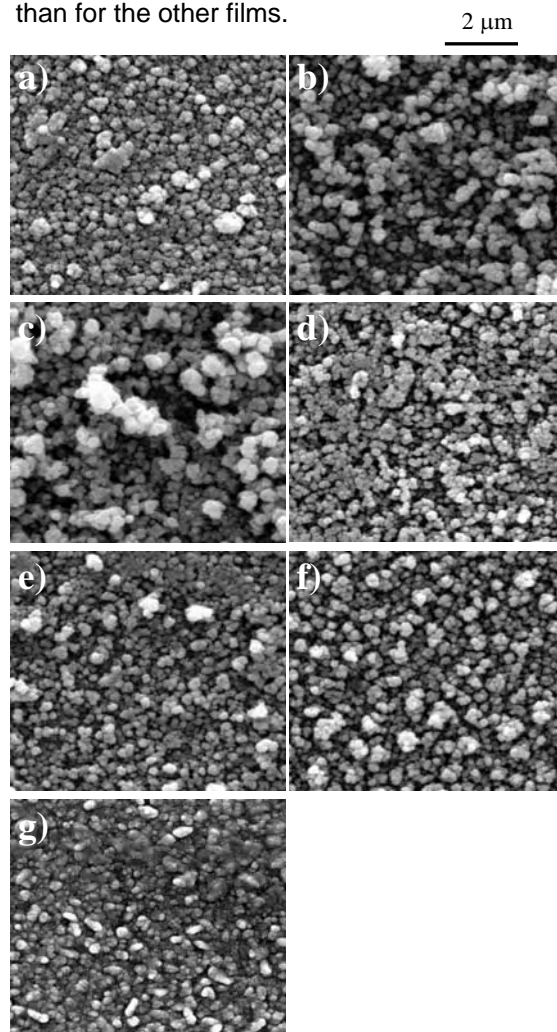


Figure 6. SEM micrographs of pyrolytic ZnO films prepared with (a) 0, (b) 0.03, (c) 0.06, (d) 0.12, (e) 0.18, (f) 0.32, and (g) 0.92 ethanol/water molar ratio, Γ , in the precursor solution.

Fig. 8 displays the typical absorbance spectra of the methyl orange solution taken after intervals of 30 - 35 min of photo-electrocatalysis with ZnO films obtained with Γ equal to 0.12, 0.32 and 0.92 in the precursor solution under the UV irradiation. A typical optical absorption peak of methyl orange (17) can be identified at 460 nm. The absorption band of the methyl orange solution drops monotonically after photo-electrocatalysis with ZnO films obtained with $\Gamma = 0.12$ (Fig. 8a) as a function of the irradiation time, however for ZnO films obtained with Γ equal to 0.32 (Fig. 8b) and 0.92 (Fig. 8c) these absorption bands

present slight variation, i.e. less photocatalytic degradation of the methyl orange.

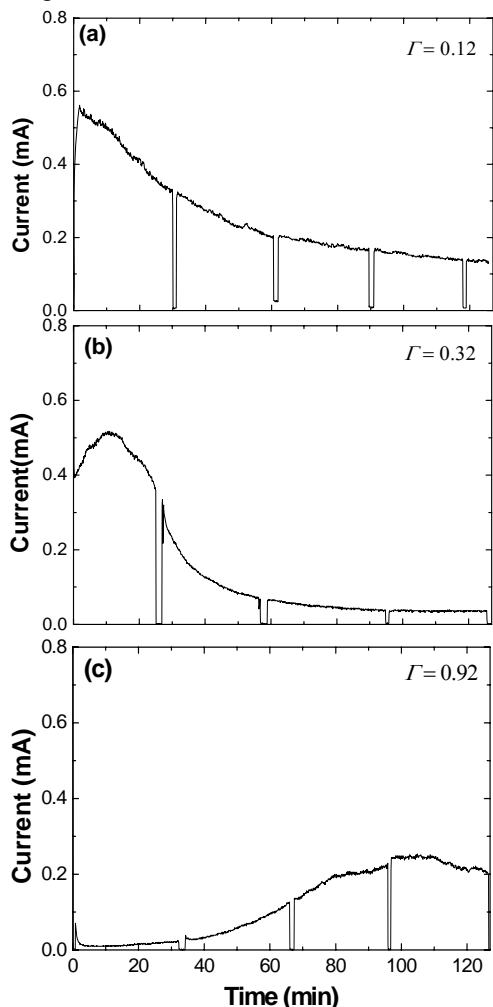


Figure 7. Photocurrent as a function of time for UV irradiated pyrolytic ZnO films prepared with (a) 0.12, (b) 0.32, and (c) 0.92 ethanol/water molar ratio, Γ , in the precursor solution in a 35×10^{-5} M of methyl orange water solution.

Figure 9 shows the relative concentration of the methyl orange as a function of the irradiation time using ZnO films obtained with Γ equal to 0.12, 0.32 and 0.92 in the precursor solution. It is shown that the best photodegradation of methyl orange in the solution occurs using ZnO films obtained with Γ equal to 0.12.

From those results there is clear evidence that ZnO induces photo-electrocatalysis degradation of methyl orange, and the degradation rate is related to the film morphology.

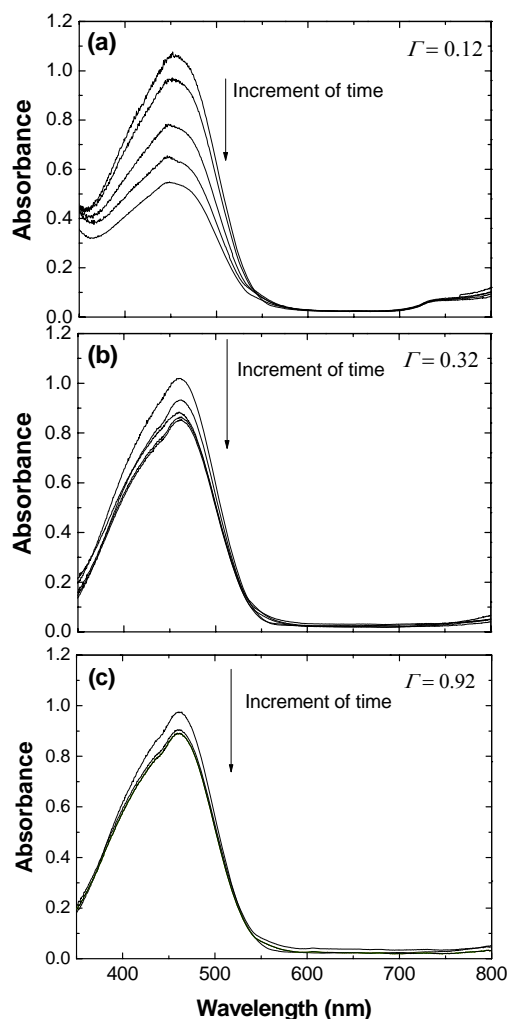


Figure 8. Spectral absorbance measured after 25 min intervals of UV irradiation for 35×10^{-5} M of methyl orange and pyrolytic ZnO films prepared with (a) 0.12, (b) 0.32, and (c) 0.92 ethanol/water molar ratio, Γ , in the precursor solution.

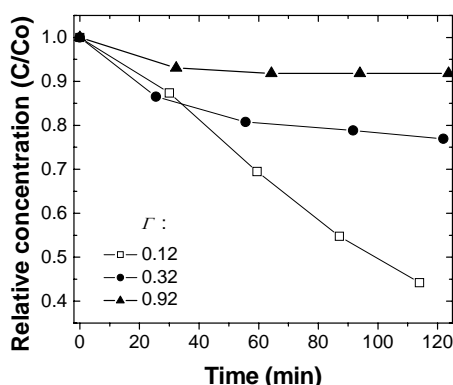


Figure 9. Methyl orange relative concentration as a function of the UV irradiation time for pyrolytic ZnO films prepared with (a) 0.12, (b) 0.32, and (c) 0.92 ethanol/water molar ratio, Γ , in the precursor solution. The initial methyl orange concentration was 35×10^{-5} M.

4. Discussion

In-situ measurements of ZnO films growth based on the interference pattern obtained during film deposition were used to monitor the film roughness; it was found that this is related with those results of surfaces and optical analysis obtained by SEM and spectrophotometric measurements, respectively. Those results indicated that there is a correlation between the ethanol/water molar ratio in the spraying solution and the morphology of the obtained ZnO films. The X-ray diffraction patterns revealed that the grain size of the obtained ZnO films is correlated with the ethanol/water molar ratio in the precursor solution. Since we have kept constant the deposition temperature, pH, and concentration of the precursor solution the physical properties of the films are related only to the ethanol/water molar ratio in the spraying solution.

In general, the partial molar volume of a substance A in a mixture is the change in volume on the addition of 1 mol A to a large excess of the mixture (18). The partial molar volumes of the components of a binary mixture of A and B vary with composition because the environment of each type of molecule changes as the composition changes from pure A to pure B. Particularly, the partial molar volume of ethanol in binary mixture of ethanol and water across the full composition has a minimum at ethanol/water molar ratio, Γ , equal to around 0.07. Our results conciliated with the fact that the film roughness and the grain size has a minimum at ethanol/water molar ratio, Γ , equal to 0.06 and 0.12, respectively. The partial molar volumes of ethanol near the minimum are related to higher molecular hydrogen-bridge bounds, which will contribute to enhance the surface tension values of the precursor solution and produce small drops. This can be explained considering that when a molecule of ethanol is added to a huge volume of water, the ethanol molecule is completely surrounded by water molecules and due to their strong hydrogen-bridge bound it is compressed (18). Additional ethanol molecules develops a new hydrogen-bridge bounds between them, which are added to the ones from the water, decreasing even more the partial molar volume of ethanol. However, if the amount of ethanol molecules increases, the hydrogen bridge bounds between the water molecules will decrease and disappear, increasing progressively the partial molar volume of ethanol and the H₂O molecules will be

surrounded just by ethanol molecules. The hydrogen bridge linkages are responsible for the surface tension values in the solution, and solution with higher surface tension produces larger drops, i.e.: ethanol (surface tension of 24.05 erg/cm²) will form smaller drops than water (surface tension of 72.77 erg/cm²). Then, a larger amount of sprayed small drops of solution arriving onto the hot substrate will pyrolytically react and spread out onto a larger area than the ones produced from a precursor solution with low surface tension. For Γ lower than 0.06, the partial molar volume of ethanol increases and produces larger drops. These could explain the morphology and grain size of the films.

Films prepared at lower partial molar volume of ethanol respect to water in the spraying solution ($\Gamma=0.06$ and $\Gamma=0.03$) shown to be mechanically instable in water due that these films are very rough. Films deposited with $\Gamma\sim 0.06$ in the precursor solution have shown to be the roughest, but the films have a mechanically instability in water. A film obtained with $\Gamma=0.12$ is still quite rough but mechanically stable in water. In the dark the films prepared with Γ equal to 0.12, 0.32 and 0.92 have good chemical stability, however under illumination the roughest films ($\Gamma=0.12$) decrease its efficiency, this could be due to photocorrosion of the electrode, these fact is also observe to the other films. It has been shown that the ZnO film obtained with $\Gamma=0.12$ has a noticeable good photoactivity, and after 2 h of UV irradiation the methyl orange degraded to half of the initial concentration. The films obtained with Γ larger than 0.12 or equal to 0.0 are less rough and have small photoactivity. It can be seen that photocurrent (Fig. 7) is higher for rougher film ($\Gamma=0.12$) than for the specular ones, but decreasing in time probably due to i) the diffusion limited rate of dye from the bulk to the interface, ii) photocorrosion of the electrode, or iii) surface poisoning by irreversible adsorption of by products. However, the photocurrent for ZnO film made with $\Gamma=0.92$ increase with the time, this could be due the photocorrosion of the electrode increments the superficial area. Photo-electrocatalytic results indicated that there is a correlation of the partial molar volume of ethanol respect to water in the spraying solution with the photocatalytic efficiency of the ZnO films.

5. Conclusions

Different morphologies of zinc oxide films were obtained when zinc acetate were diluted in different ethanol to water molar ratio, L , of the precursor solution. We found that the maximum photodegradation of methyl orange in the solution occurs using ZnO films obtained with L equal to 0.12.

Acknowledgments

This work was partially supported by SOLWATER project ICA4-CT-2002-10001, ASO Project AE 141/2001 and the International Science Programme of the Uppsala University. Dr. A. Gorenstein is thanked for spectrophotometric measurements at UNICAMP and Dr. J. Santiago for fruitful discussions.

References

1. Ollis, D. and H. Al-Elkabi, (1993) *Photocatalytic Purification and Treatment of Water and Air*, Elsevier, Amsterdam, Holland.
2. Fujishima, A., K. Hasimoto and T. Watanabe, (1999) *TiO₂ photocatalysis, fundamentals and applications*, BKC, Tokyo, Japan.
3. Domenech, X. and J. Peral, (1999) Kinetics of the photocatalytic oxidation of N(III) and S(IV) on different semiconductor oxides, *Chemosphere* **38**, 1265-1271.
4. Pal, B. and M. Sharon, (2002) Enhanced photocatalytic activity of highly porous ZnO thin films prepared by sol-gel process, *Mater. Chem. Phys.* **76**, 82-87.
5. Jin, M. and L. Shu-Ying, (1994) Preparation of ZnO films by reactive evaporation, *Thin Solid Films* **237**, 16-18.
6. Krzesinsky, A., (1986) A study of the effect of technological parameters of r.f. sputtering on the size of grains and the texture of thin ZnO films, *Thin Solid Films* **138**, 111-120.
7. Ristov, M., Gj. Sinadinovski, I. Grozdanov and M. Mitreski, (1987) Chemical deposition of ZnO films, *Thin Solid Films* **149**, 65-71.
8. Tomar, M. S. and F. J. Garcia, (1982) A ZnO/p-CuInSe₂ thin film solar cell prepared entirely by spray pyrolysis, *Thin Solid Films* **90**, 419-423.
9. Cossement, D. and J. -M. Streydio, (1985) Fabrication of ZnO polycrystalline layers by chemical spray, *J. Cryst. Growth* **72**, 57-60.
10. Fahrenbruch, A. L. and R. H. Bube, (1986) Properties of ZnO films deposited onto InP by spray pyrolysis, *Thin Solid Films* **136**, 1-10.
11. Major, S., A. Banerjee and K. L. Chopra, (1985) Optical and electronic properties of zinc oxide films prepared by spray pyrolysis, *Thin Solid Films* **125**, 179-185.
12. Miki-Yoshida, M., V. Collings-Martinez, P. Amézaga-Madrid and A. Aguilar-Elguézabal, (2002) Thin films of photocatalytic TiO₂ and ZnO deposited inside a tubing by spray pyrolysis, *Thin Solid Films* **419**, 60-64.
13. Miki-Yoshida, M., F. Paraguay-Delgado, W. Estrada-Lopez and E. Andrade, (1999) Structure and morphology of high quality indium-doped ZnO films obtained by spray pyrolysis, *Thin Solid Films* **376**, 99-109.
14. Quintana, M., E. Ricra, J. Rodríguez and W. Estrada, (2002) Spray pyrolysis deposited zinc oxide films for photo-electrocatalytic degradation of methyl orange: influence of the Ph, *Catal. Today* **76**, 141-148.
15. Paraguay D., F., W. Estrada L. D.R. Acosta N., E. Andrade and M. Miki-Yoshida, (2000) Growth, structure and optical characterization of high quality ZnO thin films obtained by spray pyrolysis, *Thin Solid Films* **350**, 192-202.
16. Rodríguez, J., M. Gómez, S.-E. Lindquist and C.G. Granqvist, (2000) Photo-electrocatalytic degradation of 4-chlorophenol over sputter deposited Ti oxide films, *Thin Solid Films* **360**, 250-255.
17. Mills, A. and G. Williams, (1987) Methyl orange as a probe of the semiconductor-electrolyte interfaces in CdS suspensions, *J. Chem. Soc., Faraday Trans. 1*: **83**, 2647-2661.
18. Atkins, P.W., (1994) *Physical Chemistry*, Oxford University Press, Oxford, UK.

Photocatalytic degradation of phenol using TiO₂ nanocrystals supported on activated carbon

Edward Carpio⁽¹⁾; Patricia Zúñiga⁽¹⁾; Silvia Ponce⁽¹⁾; José Solís^(2,1) jsolis@ipen.gob.pe;
Juan Rodríguez^(2,1) jrodriguez@ipen.gob.pe; Walter Estrada^(2,1) westrada@ipen.gob.pe

(1) *Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de Ciencias, , Av. Tupac Amaru 210, Lima 25, Perú*

(2) *Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN), Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú*

Abstract

It has been deposited titanium oxide on activated carbon (AC) in two forms as powder and as a pellet. This oxide was obtained using sol-gel process based on titanium isopropoxide and isopropyl alcohol. Nanocrystalline TiO₂ anatase phase on activated carbon was obtained using an adequate thermal treatment of 325 °C by 5 h considering the thermal instability of the AC. The resulting material was characterized by spectroscopic X-ray fluorescence, scanning electron microscopy with energy dispersive X-ray microanalyses (EDX), and Brunauer–Emmett–Teller (BET) surface area measurements. Activity measurements performed under UV lamp and solar irradiations have shown good results for the photo degradation of phenol in aqueous solution. For solar applications, a polyethylene terephthalate bottle containing the photocatalysts was filled up with the contaminated water and placed for a few hours under the solar radiation of a couple of sunny days. The results indicate that 20 ppm of phenol can be removed by using this method.

1. Introduction

Photocatalytic degradation of organic compounds has been proposed as a viable alternative for the decontamination of either waste water or drinking water for human use [1-4]. Indiscriminate use of agrochemicals, inadequate industrial waste disposal and even the worldwide employed method of potabilization by using chlorine are the main causes for the pollution of water sources.

UV-irradiated titanium dioxide in intimate contact with an aqueous solution of the pollutant develops a redox environment capable of oxidizing them into nontoxic substances. Photocatalytic activity of TiO₂ strongly depends on its microstructural and physical properties. A way to increase TiO₂ photocatalytic activity is the preparation of a nanostructural TiO₂ to get a high surface area that is directly related with catalytic activity. However, small TiO₂ powder photocatalysts have to be removed from the degraded solution by centrifugation and filtration. The design of titanium oxide photocatalyst anchored or embedded onto support materials with large surface areas which could condense diluted polluted substances would be of great significance, not only to avoid the filtration of small photocatalyst particles, but also to obtain higher efficiency. Many alternatives have been proposed in the last few years, which

have tried a variety of supporting materials and coating methods in different arrangements for degradation of several organic compounds [5]. One possible way was the use of materials such as silica, alumina, zeolites or clays [6], but no improvement of photoefficiency was observed. Activated carbon (AC) is another type of coadsorbent that has been used in photodegradation of organic pollutants in aqueous phase [7-10] and according to our knowledge, using AC support has been reported up to now the more promising results, which is attributed to the synergistic effect between the AC and the TiO₂. In this paper, it was done a study of the photocatalytic effect of the activated carbon impregnated with TiO₂. Titanium oxide was synthesized by sol-gel method from titanium isopropoxide to get anatase phase. Catalyst was tested in the photocatalytic degradation of aqueous phenol solutions with either UV lamp or solar radiation.

2. Experimental

TiO₂/AC samples were prepared from alkoxide precursor in the following way: 5 g of activated carbon powder (Darco ® G-60, 100 mesh, Aldrich) was homogenized and settled in 30 mL titanium isopropoxide (97%, Aldrich) solution at 30% in isopropyl alcohol (99.5%, Riedel deHäen) during 12 h. After

that time, it was observed a polymerized gel, which was dried at 96°C for 5 h. This process was repeated 4 times trying to get more impregnation of TiO₂ on activated carbon. After the impregnation process has finished, the material is calcined under static air at 300, 325 and 350 °C for 5 h. The same process was used to support TiO₂ (anatase) on activated carbon pellets (~5 mm o.d. and ~10 mm long). Elementary analysis was done using X-ray Fluorescence spectroscopy. A Cd-109 source was used to activate the Ag K_α radiation of 22.101 KeV utilized to impinge to the sample, from which the energy of the x-ray emitted is detected by a Si-Li detector. X-ray diffraction (XRD) patterns were obtained using a Philips X-Pert diffractometer with a Ni filter and a Cu K_α radiation source. Scanning electron microscopic analysis were performed with a Phillips XL30 TMP SEM microscope containing an EDAX DX4i probe for the energy dispersive X-ray microanalyses (EDX). Brunauer–Emmett–Teller (BET) surface area measurements were carried out by N₂ adsorption at 77 K in a manual volumetric adsorption/desorption equipment.

An aqueous solution of phenol was used as a model contaminant for study the photocatalytic performance of the prepared materials. For the catalytic study it was prepared two reaction systems (Fig. 1). The photoreactor system shown in Fig. 1a was used for in door experiments using a high pressure 300 W Osram Ultra-Vitalux lamp. An air flow was supply to increased oxidative photo degradation. The UV-A radiation of the lamp (310 - 400 nm of wavelength) was measured with an UDT radiometer 628UVA. 0.1 g of TiO₂/AC powder in 200 mL of 40 ppm phenol aqueous solution was placed in 500 mL photoreactor and irradiated with 37.5 W/m² of UV-A range light for 1h. The irradiation started after one hour of adsorption in the dark. 5 mL samples were collected each 10 min and filtered before analysis. The phenol concentration was measured with the photocolourimetric method of 4-amino-antipirine [11] analyzed with a 21 D Spectronic spectrophotometer. For outdoor experiments closed plastic polyethylene terephthalate (PET) bottles were placed horizontally and exposed to sun in a clear day (Fig. 1b). No stirring or aeration was implemented. The solar global radiation was measured with a home-made radiometer calibrated with a Haenni Solar 130 radiometer and the UV-A component with an UDT radiometer 628UVA. To perform out door experiments, 200 mL of 20 ppm of

phenolic water was used. Contaminated water samples were placed in 500 mL plastic PET bottles with 0.1 g of TiO₂/AC powder or 1.01 g of TiO₂/AC pellets under the sun irradiation in a clear day for 1 and 4 h. 5 mL sample each 20 min and 1 h were collected during 1, and 4 h of irradiation time, respectively.

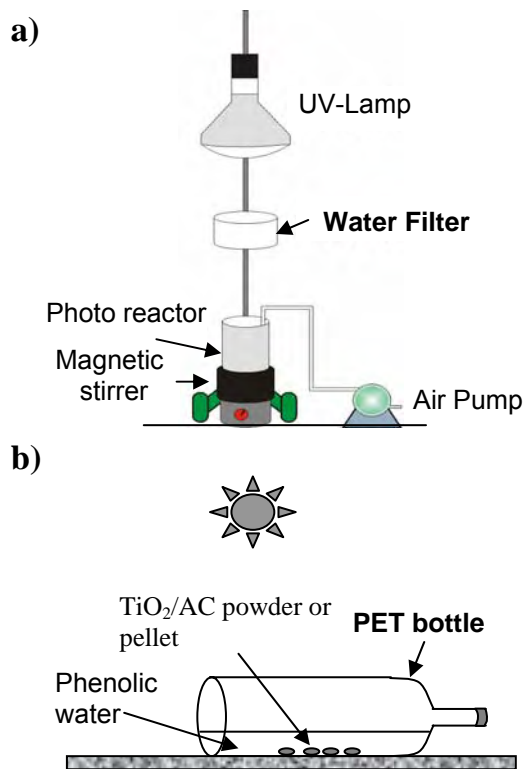


Figure 1. (a) Photocatalytic reactor system for degradation with UV lamp and (b) the out door experimental set up under solar irradiation.

3. Results and discussion

3.1 Synthesis and characterization
Qualitative analysis by X-ray fluorescence of Fig. 2 showed that impurities like iron, strontium and zirconium were presented in samples. It is observed that when it is used the AC powder as substrate the ratio of the intensity peaks of Ti respect to the other elements is higher (Fig. 2a) than when AC pellets are using as substrate (Fig. 2b). It reveals that Ti is in larger amounts in the powdered activated carbon than in the pellet. However it should be notice that powder from the pellets was used for this analysis. Impurities are in very low quantities so they are not significant for the composition of materials.

In Fig. 3 the diffraction patterns for powder samples of TiO₂/AC prepared as explained

above is presented. It shows an evolution of anatase phase with increasing the calcination temperature performed during 5 h. It can be seen that for 300°C there is a small anatase peak, which increase in intensity at 325°C and 350°C. An increase in temperature produces thermal destruction of the AC pellet. In that sense and considering the thermal instability of the AC the selected treatment for powder samples was 325°C for 5 hours. The main grain size D , for the obtained TiO_2 was ~ 12 nm estimated from XRD data by applying the Scherrer's formula [12], i.e:

$$D = \frac{K\lambda_x}{\beta \cos \theta} \quad (1)$$

Where K is a dimension less constant equal to 0.9, λ_x is the X-ray wavelength, and β is the full width at the half maximum of the diffraction peak. Similar results are expected in the pellet samples.

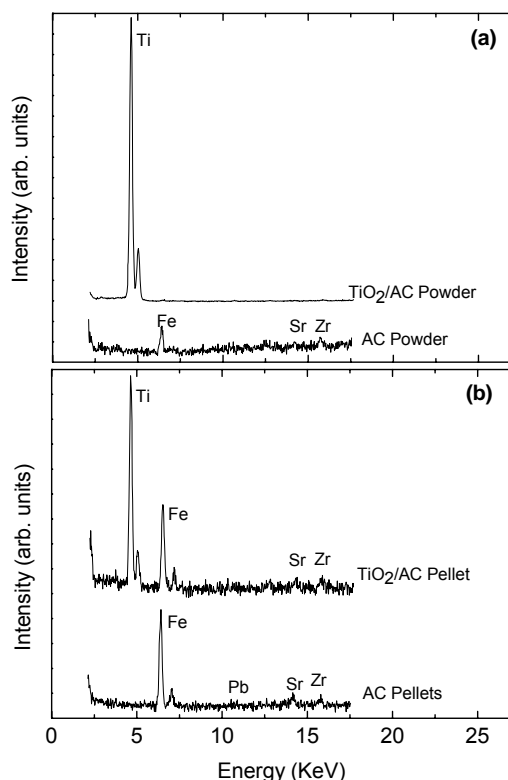


Figure 2. Elemental analysis by X-ray fluorescence spectroscopy: (a) activated carbon and TiO_2/AC powders, and (b) activated carbon and TiO_2/AC pellet powders.

Specific surface areas $S_{\text{B.E.T}}$, were calculated for TiO_2/AC samples calcined at 325°C for 5 hours. Differences between TiO_2/AC pellet and TiO_2/AC powder carbon are shown in Table 1. As expected, the AC pellets present less superficial area than AC powder samples. However, for the case of the

TiO_2/AC samples, the TiO_2/AC powder samples present less area than the unsupported AC powder, but the TiO_2/AC pellets samples, presents slightly a larger surface than unsupported AC pellet. This could indicate that TiO_2 has dispersed in higher grade on the AC powder than on the AC pellet sample. This fact is clearly observed under SEM analysis.

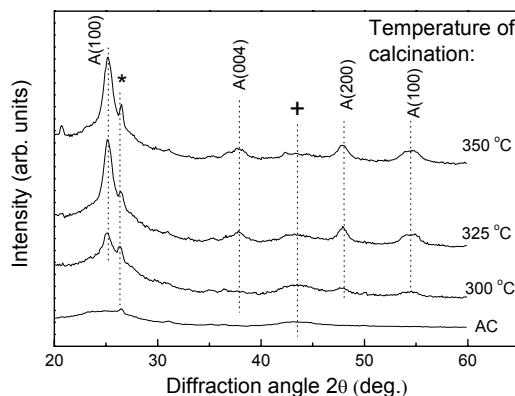


Figure 3. Diffraction patterns of TiO_2/AC powder after different thermal treatment. Diffraction peaks from quartz (*) and graphite (+) are also indicated.

Table 1. Specific surface area of samples obtained by B.E.T method.

	S_{BET} AC Powder (m^2/g)	S_{BET} AC pellet (m^2/g)
AC	1007 ± 15	688 ± 44
TiO_2/AC	704 ± 10	780 ± 54

Figure 4 presents in part (a) only the AC powder and in part (b) the TiO_2/AC powder. It is observed clearly from Fig. 4 the agglomerates of TiO_2 placed on top of the AC powder. The pellet sample of TiO_2/AC was also analyzed by SEM. Figure 5 shows a cross sectional picture of a typical TiO_2/AC pellet, in which there are a enormous density of porous and cavities, explaining then the large surface area obtained by BET (Table 1). EDX analysis performed on the pellet in three different regions: I, II, and III (Fig. 5) are presented in Fig. 6 and in Table 2. It is observed that the larger amount of Ti and O is placed on the lateral places, but when the EDX probe is going deep into the pellet, the percentage of Ti and O decrease remarkably, for example in the case of Ti ~ 76 wt% at the wall (region I), fall to ~ 7 wt% in the region II, and only 2 wt % near the center (region III), but for powder samples Ti quantities was more than 50 wt%. The catalyst is not uniformly distributed on the AC pellet substrate; this fact can be seen in the SEM micrograph (Fig. 7). In Fig. 7a is presented a

SEM picture of the lateral wall of the TiO₂/AC pellet and in Fig. 7b is shown the transversal one.

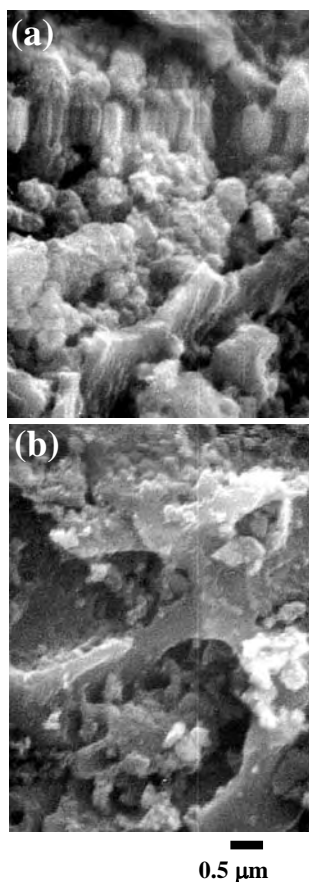


Figure 4. SEM micrographs of (a) AC and (b) TiO₂/AC powders.

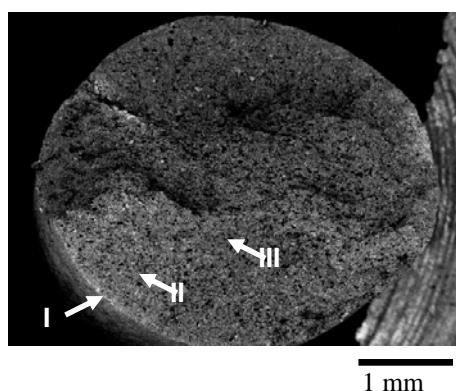


Figure 5. Cross sectional SEM of a TiO₂/AC pellet in which three different regions are pointed out.

3.2 Photocatalytic degradation of phenol

3.2.1 Experiments performed under UV-irradiation. Experiments were performed in the reactor explained above and presented in Fig 1a. Fig. 8 has shown the relative concentration of phenol, C/Co, for different times during the UV-irradiation. The initial phenol concentration, Co, was 40 ppm. It can

be observed that for the adsorption of phenol in the dark on TiO₂/AC powder has reached a constant value C/Co of 0.7 after 1 h, however if it is used only the AC powder, the adsorption increase and it is observed that after 10 min of adsorption, a minimum in the concentration is reached. This fact is in agreement with the surface area obtained by S_{B.E.T.}, which is higher for the AC powder than for the TiO₂/AC powder. However, when UV-A light illuminates the reactor, a photocatalytic degradation of phenol is observed. Illumination starts after 60 min of adsorption in the dark, during which it reach a constant value. After the sample is placed under UV-A illumination, then consistently is observed a decrement of the relative concentration of phenol.

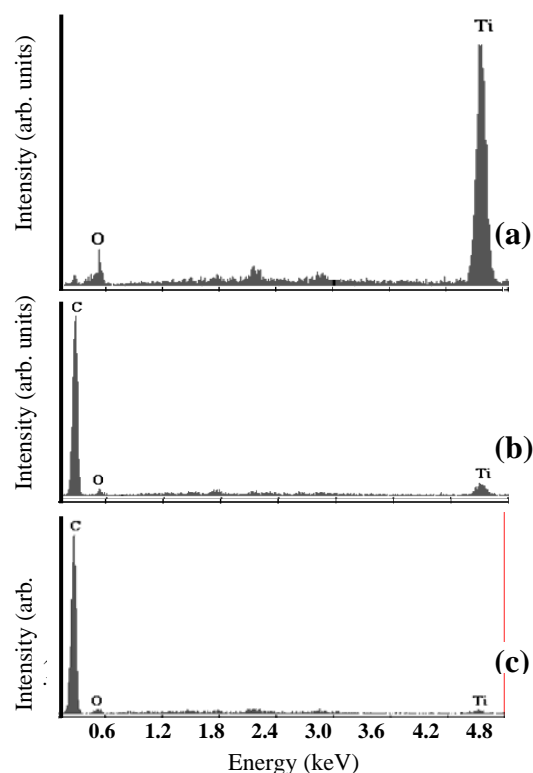


Figure 6. EDX diagrams of a TiO₂/AC pellet obtained in the three different regions pointed out in Fig 5: (a) region I, (b) region II, and (c) region III.

Table 2. EDX elemental composition of a TiO₂/AC pellet in three different regions indicated in Fig. 5.

Region	C Wt%	O Wt%	Ti Wt%
I	-	23.71	76.29
II	86.26	6.90	6.84
III	92.57	5.42	2.02

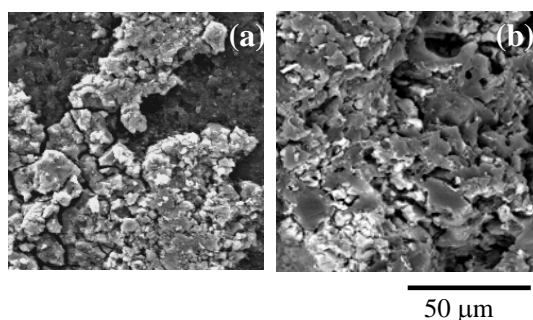


Figure 7. Cross sectional SEM of a TiO_2/AC pellet: (a) lateral view (probe was placed on to region I, Fig. 5), (b) cross sectional view (probe was placed on region II, Fig. 5).

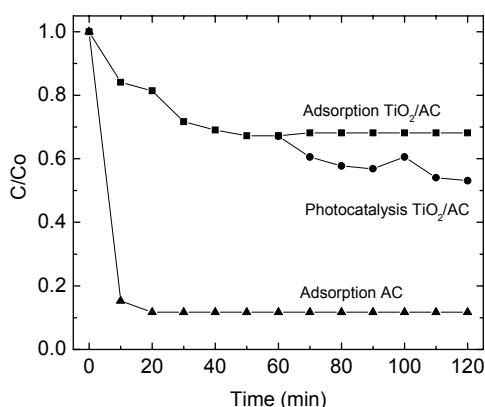


Figure 8. Relative concentration of phenol (C/C_0) vs. time obtained in a typical photocatalytic experiment performed with TiO_2/AC powder (●), and the adsorption in the dark of AC (▲) and TiO_2/AC (■) powders.

3.2.2 Experiments performed under solar irradiation. Figure 9, 10 and 11 shows typical experiments of photocatalytic degradation of phenol under solar radiation of TiO_2/AC samples. It was performed in the PET bottles explained in the experimental section for TiO_2/AC powder (Fig. 9) and with TiO_2/AC pellets (Figs. 10 and 11). The global solar radiation and its UV-A component are shown in part (a) of each figure, and the relative concentration of phenol during its photocatalytic degradation under solar radiation is presented in part (b) of each of these figures. In Fig. 9 it can be observed that with 200 mL of 20 ppm phenol solution, the TiO_2/AC powder in the dark adsorbs rapidly the phenol. In this case adsorption seems to continue up to 80 min in which evidence of photocatalytic degradation is observed. It is also observed that there is no evidence of phenol photolysis under solar irradiation. In Fig. 10 is presented solar photocatalytic experiments using 200 mL of 20 ppm phenolic solution with TiO_2/AC

pellets. It is observed that in the dark there is adsorption of phenol, in this case the adsorption (Table 3 and Fig 10) is not as fast as it was for the case of TiO_2/AC powder (Fig. 8). The adsorption of phenol on AC pellet is slightly higher than that on TiO_2/AC pellet. This fact seems to indicate that the variation of the surface area in the AC pellet present a nil change in comparison with the TiO_2/AC pellet, in accordance with the $S_{B.E.T.}$ measurements.

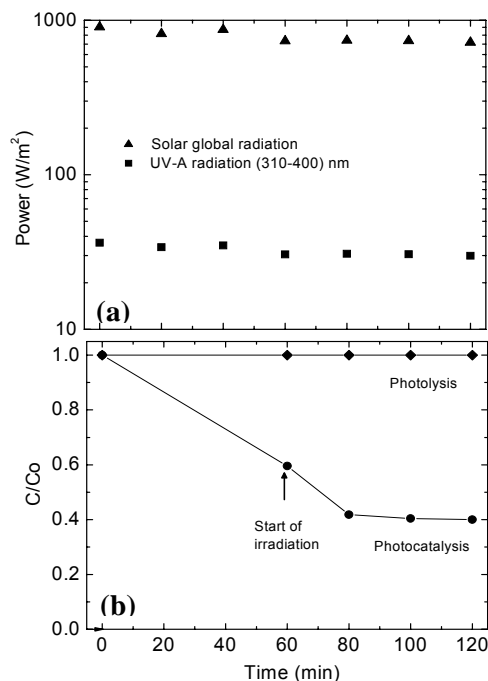


Figure 9. (a) The solar radiation power in the global range and UV-A component and (b) the relative concentration of phenol (C/C_0) vs. time in a typical solar photocatalytic experiment performed with TiO_2/AC powder placed in PET bottles filled up with phenolic water.

In Fig. 10 is also observed that after four hours of radiation, there is no evidence of photolytic degradation of phenol, a small decrement of the concentration due to adsorption phenomena is observed, but in this case is much slower than for TiO_2/AC powder samples. By photocatalysis, around 50% of the phenol was degraded. Experiments performed in two consecutive days (Fig. 11) shown that a complete degradation can be obtained in a continuous irradiation during different days. It is also observed that in between the irradiation times, the adsorption of phenol continue but in an low quantity as can be seen in Fig. 11. It is also notice that comparable degradation were obtained for experiments repeated under the same condition with the same photocatalyst and no evidence of

photocatalyst drain or inactivation was observed. It necessary to point out that AC powder can perturbs the transmission of light to the surface of titania, however, this inhibition is largely compensates by a strong beneficial effect in phenol adsorption followed by a transfer of phenol to TiO₂ [7]. The driving force for this transfer is probably the difference in phenol concentration between AC and TiO₂ that causes surface diffusion of phenol to titania.

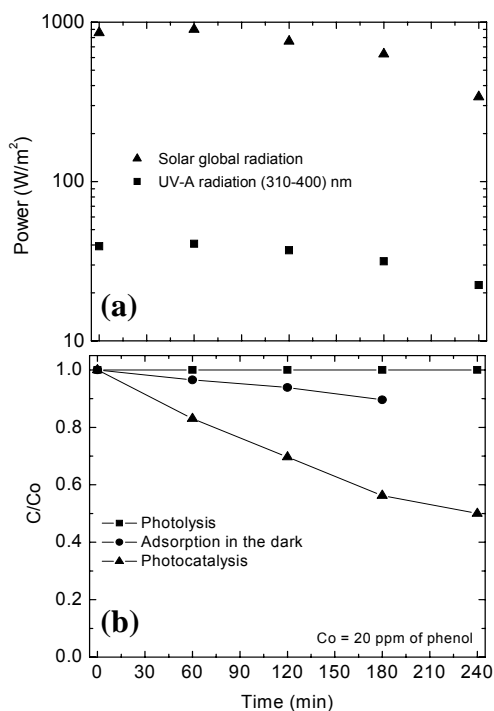


Figure 10. (a) The solar radiation power in the global range and UV-A component and (b) the relative concentration of phenol (C/C_0) vs, time in a typical solar photocatalytic experiment performed with TiO₂/AC pellets placed in PET bottles filled up with phenolic water.

Table 3. Relative concentration of phenol, C/C_0 , at different times due to adsorption in the dark of 1.0 g AC pellet and 1.0 g TiO₂/AC pellet. Initial concentration of phenol, C_0 , was 20 ppm.

Time (min)	0	60	120	180
AC (C/C_0)	1	0.95	0.91	0.86
TiO ₂ /AC (C/C_0)	1	0.97	0.94	0.90

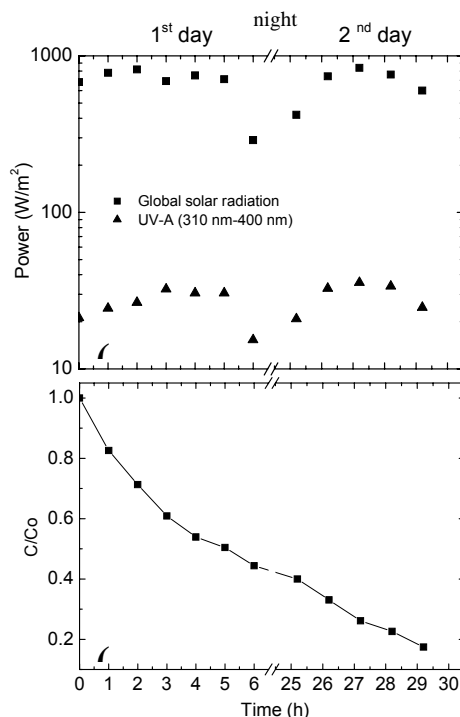


Figure 11. (a) The solar radiation power in the global range and UV-A component and (b) the relative concentration of phenol (C/C_0) vs, time during two consecutive days in a typical solar photocatalytic experiment performed with TiO₂/AC pellets placed in PET bottles filled up with phenolic water.

4. Conclusions

Photocatalytic materials based on TiO₂/AC have been fabricated. Both, the TiO₂/AC pellet and TiO₂/AC powder present good photocatalytic performance. From the practical point of view, the solar irradiation of TiO₂/AC pellets placed inside a PET bottle (a common waste) containing contaminated water is in our opinion an alternative viable for its application. Even in places in which not many sunny hours per day are available, because the treatment is additive in irradiation time without be much influenced due to its permanence in the dark, during which a small adsorption of the contaminant is observed. Such a system would be particularly important for the detoxification and decontamination of polluted water in rural areas of developing countries.

Acknowledgements

This work was partially funding by the SOLWATER project ICA4-CT-2002-10001, the OEA, ASO Project AE 141/2001 and the International Science Programme of the Uppsala University. The authors are grateful to P. Olivera, and J. Aguilar for XRF and

SEM measurements. M. Hermoza is also acknowledged for fruitful discussions in S_{B.E.T.} characterization.

References

1. D. Ollis, H. Al-Elkabi, Photocatalytic Purification and Treatment of Water and Air, Elsevier, Amsterdam, 1993.
2. N. Serpone, E. Pellizzetti, Photocatalysis: Fundamentals and Applications, Wiley, New York, 1989.
3. D. Ollis, E. Pellizzetti, N. Serpone, Environ. Sci. Technol. 25 (1991) 1523.
4. K.J. Green, R.J. Rudham, J. Chem. Soc. Faraday Trans. 89 (1993) 186.
5. R.L. Pozzo, M.A. Baltanás, A.E. Cassano, Catal. Today 39 (1997) 219.
6. J.F. Tanguay, S.L. Suib, R.W. Coughlin, J. Catal. 117 (1989) 335.
7. J. Matos, J. Laine and J. M. Herrmann, J. Catal. 200 (2001) 10
8. G. Colón, M.C. Hidalgo, M. Macías, J.A. Navío, J.M. Doña, Appl. Catal. B: Environ. 43 (2003) 163.
9. J. Araña, J.M. Doña-Rodríguez, E. Tello Rendón, C. Carriga i Cabo, O. Gonzales-Diaz, J.A. Herrera-Melian, J. Perez-Peña, G. Colon, J.A. Navío, Appl. Catal. B: Environ. 44 (2003) 153.
10. J. Araña, J.M. Doña-Rodríguez, E. Tello Rendón, C. Carriga i Cabo, O. Gonzales-Diaz, J.A. Herrera-Melian, J. Perez-Peña, G. Colon, J.A. Navío, Appl. Catal. B: Environ. 44 (2003) 161.
11. E. A. Clesceri and A. Greenberg, Standard Methods for examination of Water and Wastewater, APHA, AWWA and WEF. 19th Edition, Washington, DC, 1995.
12. B.D. Cullity, Elements of x-ray diffraction, Addison-Wesley, Reading, MA, 1959.

Simulación Monte Carlo de la correlación local y formación de clusters en las aleaciones binarias modelo de tipo fcc*

Justo Rojas^(1,2) irojas@ipen.gob.pe; Erich Manrique⁽²⁾ evmc@yahoo.com;
Irina Frants⁽³⁾ ilfrants@yahoo.es

(1) IPEN, Dirección de Promoción y Desarrollo Tecnológico, Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

(2) Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ciencias Físicas,
Av. Venezuela s/n Lima 14, Perú

(3) Instituto Pedagógico Superior Jesús el Maestro, Av. El Bosque N° 570, Lima 36, Perú

Resumen

Mediante la simulación con el método Monte Carlo se realizó una descripción atomística de la estructura en las aleaciones binarias $A - B$ modelo de tipo fcc que presentan a bajas temperaturas tendencias de ordenación. Usamos el modelo ABV de la aleación donde se asume la aproximación de interacción par a primeros vecinos con energía de ordenación constante. La dinámica fue introducida por medio de una vacancia que intercambia de lugar con los átomos vecinos más próximos. La simulación fue realizada en una red fcc con 256, 2048, 16384 y 62500 sitios, aplicando condiciones de frontera periódicas para evitar efectos de borde. Se determinó las probabilidades de formación de diferentes clusters atómicos $A_{13-m}B_m$ ($m = 0, 1, 2, \dots, 13$) que constan de 13 átomos como función de la concentración de los componentes y de la temperatura, así como los primeros parámetros de corto alcance de Warren-Cowley. Se encontró que en algunas regiones de temperatura y concentración se observa polimorfismo composicional y térmico de los clusters.

1. Introducción

Para entender y modificar las propiedades físicas de una aleación es necesario conocer las posibles fases termodinámicamente estables y los mecanismos de transición entre las mismas [1,2]. Las aleaciones binarias tales como Cu - Au, donde los átomos tienden a ordenarse debajo de cierta temperatura T_c , continúan siendo de interés en la comunidad científica debido a sus importantes propiedades y porque sirven para la validación de diferentes modelos atómicos en la física estadística [3]. En una aleación binaria un arreglo particular de los átomos de diferentes tipos representa una configuración que puede exhibir diferentes grados de orden de corto o largo alcance. La correlación local se manifiesta tanto en sistemas con tendencia a ordenación como en sistemas donde ocurre la descomposición espínodal que conduce a la segregación de fases. El problema de identificar las configuraciones atómicas en las soluciones sólidas con orden local es muy difícil usando cálculos desde primeros principios. Por esta

razón es de gran interés el desarrollo de diferentes modelos y reglas que permitan a partir de información inicial mínima determinar la estructura y propiedades de aleaciones de cualquier composición. Entre estos modelos cabe resaltar el modelo de las cuasipartículas [4], método de variación de clusters [5], método de variación de probabilidades [6]. Dentro de este contexto el estudio de la estructura y propiedades de las aleaciones mediante la simulación con el método Monte Carlo (MC) es sumamente útil y fructífera [7-12]. Los estudios mediante simulación MC de procesos de ordenación y difusión, tales como crecimiento de dominios [8], se basan usualmente en modelos de tipo Ising. Aplicada a las aleaciones metálicas el mecanismo estándar de intercambio de spin para simular la dinámica (dinámica de Kawasaki de intercambio de pares de átomos), es irrealista. Actualmente es conocido que el mecanismo principal de la difusión en aleaciones es por el movimiento de vacancias [9]. Flinn y McManus [13] implementaron el mecanismo de vacancias

* Publicado en: Internet Electrón. J. Nanocs. Moletron, 2, N2, 2004, p.291

en una primera simulación MC de una aleación binaria de tipo *bcc*. Posteriormente Beeler y Delaney [14] estudiaron las características del movimiento de las vacancias en las aleaciones; demostraron que para una concentración baja de vacancias, el camino de las vacancias durante el proceso de ordenamiento se concentra en las regiones ordenadas a diferencia de lo que ocurre en las regiones completamente desordenadas. Yaldram y Binder [15] estudiaron mediante la simulación MC las primeras etapas de la separación de fases (descomposición espinodal) en aleaciones modelo 2D introduciendo pequeña cantidad de vacancias móviles.

Clapp [6] determinó las configuraciones atómicas más probables en algunas aleaciones del sistema Cu – Ni mediante la minimización de una funcional utilizando valores experimentales de los parámetros de corto alcance (PCA). Desafortunadamente los datos experimentales de los PCA son todavía escasos para muchas aleaciones, correspondientes a diferentes condiciones de temperatura y presión.

El objetivo del presente trabajo es estudiar mediante la simulación computacional MC, en base al modelo ABV, el comportamiento de los PCA y las probabilidades de formación (PF) de diferentes tipos de clusters en un amplio intervalo de concentraciones y temperatura. Los resultados obtenidos intentamos aplicar para la interpretación en el marco del modelo de cuasipartículas el comportamiento peculiar de las propiedades de las soluciones sólidas observadas experimentalmente [19, 21-22].

2. El modelo y la metodología de simulación

2.1 El Modelo ABV

Consideramos una aleación binaria como un conjunto de N_A átomos de tipo A y N_B átomos de tipo B, ubicados en los nudos de una red cristalina con N sitios. La red contiene N_V sitios vacíos representando las vacancias en el sistema ($N = N_A + N_B + N_V$). Cada nudo de la red puede estar ocupado por un átomo de cualquier tipo (A o B) o estar vacío, es decir las concentraciones de los átomos y vacancias satisfacen a la condición: $c_A + c_B + c_V = 1$.

En el marco de la aproximación de interacción de pares a primeros vecinos, el Hamiltoniano del Modelo ABV [16,17] de la aleación binaria se expresa como :

$$H = \sum_{\langle i,j \rangle} [K s_i^2 s_j^2 + J s_i s_j + U(s_i^2 s_j + s_i s_j^2)] + H_0 \quad (1)$$

donde

$$K = \frac{1}{4}(u_{AA} + u_{BB} + 2u_{AB}) + u_{VV} - u_{AV} - u_{BV}$$

$$J = \frac{1}{4}(u_{AA} + u_{BB} - 2u_{AB}) \quad (2)$$

$$U = \frac{1}{4}(u_{AA} - u_{BB}) - \frac{1}{2}(u_{AV} - u_{BV})$$

donde u_{xy}^l son las energías de interacción efectiva entre los componentes x, y; la sumatoria se realiza por todos los vecinos mas próximos de cada sitio. Las vacancias son tratadas como un tercer tipo de átomo. La variable spin s_i toma los valores 1, -1, o 0 si el sitio i es ocupado por una especie del tipo A, B o V respectivamente. H_0 incluye los términos independientes de la configuración microscópica para una aleación dada. El termino U es el responsable del comportamiento de la vacancia. En particular, $U > 0$ significa mayor preferencia de intercambio de la vacancia con el átomo de tipo A. En el caso de $U = 0$, lo cual asumimos en el presente trabajo, la vacancia no tiene ninguna preferencia por un determinado tipo de átomo.

Como mostró Vives [17], en el caso cuando la concentración de las vacancias $c_V \ll 1$, el término K en la ecuación (1) es aproximadamente constante e independiente de la configuración, por tanto el único término relevante es el que contiene J :

$$H = J \sum_{\langle i,j \rangle} s_i s_j \quad (3)$$

que es un Hamiltoniano tipo modelo de Ising. En el presente trabajo utilizamos el modelo estándar ABV, Ec. (3) con una vacancia, para la determinación y descripción de las propiedades en equilibrio de las aleaciones binarias. El signo del parámetro de intercambio J esencialmente determina la tendencia a segregación ($J < 0$) u ordenación química ($J > 0$). En ciertas

regiones de concentraciones a temperaturas menores que cierto valor crítico T_c ocurre la transformación de fase. Con la finalidad de comprobar el algoritmo y los programas hemos utilizado el valor de $J = 0.03$ eV, con el cual se reproduce correctamente los diagramas de fase experimentales para la estructura ordenada $L1_2$ en el sistema Cu_3Au . Usando el método MC simulamos la colectividad canónica del sistema definido por la ecuación (3). Toda la dinámica del sistema se introduce mediante el movimiento de una sola vacancia que intercambia de posición con cualquiera de los átomos más próximos con igual probabilidad. Los saltos de la vacancia a segundos vecinos se incluye con la finalidad de evitar el entrapamiento del sistema en estados meta estables. De acuerdo al algoritmo estándar de Metrópolis[18], la probabilidad de intercambio de la vacancia con un átomo vecino i escogido aleatoriamente está dada por :

$$P_i = \min \left\{ 1, \exp\left(\frac{-\Delta H}{kT}\right) \right\} \quad (4)$$

donde ΔH es la variación de la energía del sistema al realizar la vacancia un intercambio tentativo de lugar con un átomo vecino.

El espacio de simulación es un cubo que contiene $M = 4L^3$ nudos de una red *fcc* con L celdas por dimensión. En los nudos de esta red se ubican $N = M - 1$ átomos. Con la finalidad de minimizar los efectos de superficie se utilizan condiciones de frontera periódicas en las tres dimensiones. A fin de aclarar la posible dependencia de los efectos de correlación con el tamaño del sistema hemos trabajado con $M = 256, 2048, 16384$ y 62500 sitios. El equilibrio térmico se alcanza, dependiendo del tamaño del sistema, luego de $800 - 2000$ pasos de Monte Carlo (MCS). Los promedios de las magnitudes de interés (probabilidad de formación de clusters, parámetros de corto alcance, energía, etc) se calcularon utilizando $10000 - 20000$ MCS luego del alcanzar el equilibrio termodinámico.

2.2. Modelo de aleación en forma de cuasipartículas

De acuerdo al modelo de las cuasipartículas propuesto por Bogdanovich y Men [4], la aleación está constituida por un conjunto finito de diferentes cuasipartículas o

clusters atómicos $A_n B_m$. Los clusters de n átomos se diferencian por su composición y configuración, y como consecuencia por sus propiedades. En una aleación dada, cada tipo de cluster tiene cierta probabilidad de formación p_k , que depende de la temperatura y concentración de los componentes.

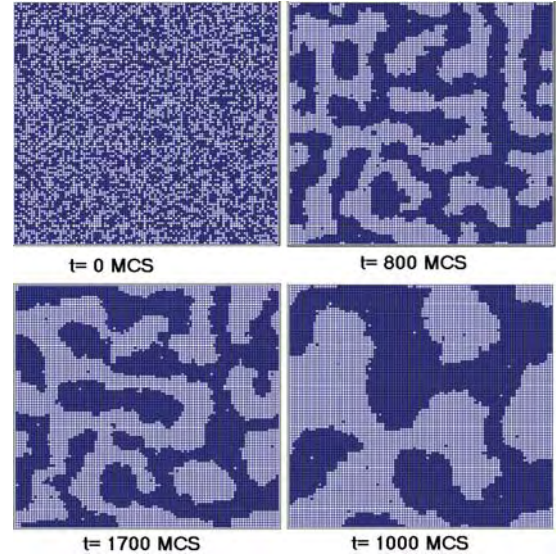


Figura 1. Evolución temporal del sistema bidimensional $A_{0.5}B_{0.5}$ con 10000 átomos desde una configuración inicial desordenada al estado de equilibrio a la temperatura de 380 K.

En el marco de este modelo, la propiedad $f(c)$ de la aleación se expresa como,

$$f(c) = \sum_k p_k(c, T) f_k \quad (5)$$

donde $p_k(c, T)$ es la probabilidad de formación del cluster de tipo k en la aleación de concentración c a temperatura T . Directamente de la simulación computacional se puede determinar numéricamente las PF de los clusters de cualquier tamaño, composición y configuración.

En una primera aproximación suponemos que en el modelo de aleación estudiado, el tamaño de los clusters está limitado solamente por las primeras esferas de coordinación, cuyo alcance se determina, fundamentalmente, por el valor del parámetro J . Por lo tanto en las aleaciones modelo de tipo *fcc* es posible la formación de 13, 19 diferentes tipos de clusters (C1, C2, ...) que se diferencian solo por sus composiciones, tales como: $C1 = A_{12}B_1$, $C2 = A_{11}B_{2,..}$

3. Resultados y discusión

3.1. Comportamiento del parámetro de orden local

Una etapa importante de la simulación involucra el proceso de equilibración del sistema a la temperatura requerida. En la Fig.1 se muestran 4 configuraciones representativas del sistema con $J < 0$, es decir con tendencia a segregación a temperaturas menores que la temperatura crítica T_c , correspondientes a diferentes etapas de la evolución temporal (pasos Monte Carlo) a partir de una configuración inicial desordenada.

A temperaturas $T > T_c$ el grado de orden químico de Largo Alcance desaparece, sin embargo, la correlación de corto alcance se mantiene hasta altas temperaturas [18]. Con el fin de cuantificar la correlación local, determinamos los PCA de Warren-Cowley [6], definidos como,

$$\alpha_i = 1 - \frac{n_i^{(A)}}{Nc_Ac_Bz_i} = 1 - \frac{p_i^{(BA)}}{c_A} \quad (6)$$

donde $n_i^{(A)}$ es el número de átomos de tipo A en la esfera i ; z_i es el número de coordinación de la esfera i ; $p_i^{(BA)}$ - la probabilidad de hallar un átomo de tipo A a una distancia \vec{r}_i del átomo B tomado como centro, promediado sobre todos los átomos B en la red.

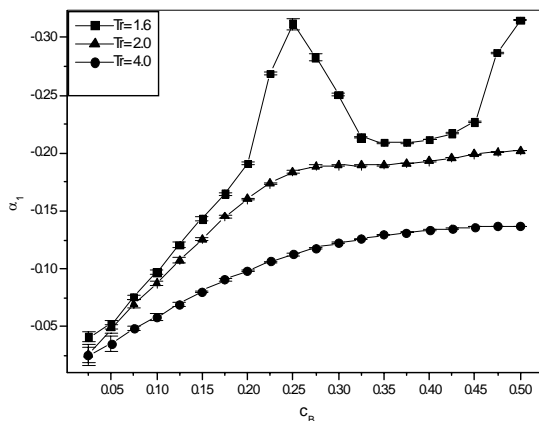


Figura 2. Variación del parámetro de corto alcance α_1 versus concentración. $J = 0.03$ eV, $M = 16384$, 20000 MCS.

La "medición" de los PCA, así como las PF de los clusters, se llevó a cabo partiendo de la configuración desordenada. Se ha notado

que una vez alcanzado el equilibrio térmico la vacancia recorre todo el espacio de simulación homogéneamente. Por lo tanto, en el intervalo de temperatura considerada no se observa el entrapamiento de la vacancia en regiones ordenadas como ocurre a bajas temperaturas y en sistemas con menor número de coordinación [11,17]. En la Fig.2 se presenta el comportamiento del parámetro α_1 como función de la concentración del componente B a diferentes temperaturas. El signo negativo de α_1 indica que los átomos tienen como primeros vecinos preferentemente átomos de otro género. El valor de α_1 en la aleación con $c_B = 0.25$ que se encuentra a $T = 600$ K, obtenido utilizando el valor de $J = 0.03$ eV, se encuentra en buena concordancia con el valor experimental disponible para el sistema Cu_3Au [20]. La dependencia de α_1 en función de la concentración a $T > 1.2T_c$ presenta un solo máximo bastante pronunciado en la región de $c_B = 0.5$. Sin embargo, como se aprecia en la Fig. 3, a temperaturas cercanas a T_c se observa una dependencia no monótona de α_1 con la concentración.

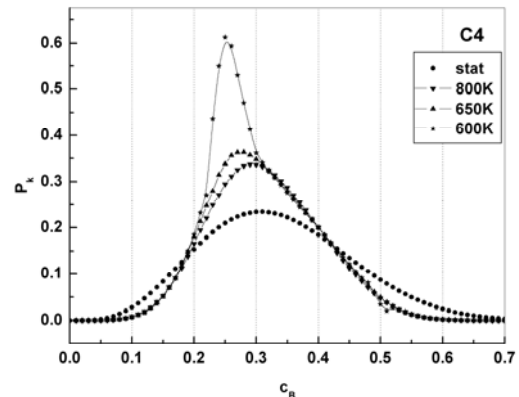


Figura 3. Probabilidad de formación del cluster C4 versus concentración a distintas temperaturas. $M = 2048$, 20000 MCS.

El análisis de los resultados de la dependencia de los PCA como función de la temperatura muestra, en primer lugar, que la disminución del valor de α_1 con el incremento de la temperatura no es lineal; en segundo lugar, en las aleaciones de composición a la estequiométrica y a temperaturas cercanas al punto de transición, α_1 presenta una variación

* Rango de temperaturas que abarcan el punto crítico.

brusca, mientras que para otras concentraciones la transición es menos pronunciada y nítida. Se puede apreciar que el comportamiento de la correlación local en diferentes aleaciones no tiene el mismo carácter.

3.2. Dependencia composicional de las probabilidades de formación de los clusters

Las probabilidades de formación P_k de los clusters C0, C1,...C13 fueron determinados en un amplio rango de concentraciones y a diferentes temperaturas. Para una aleación dada $A_{1-c}B_c$ que se encuentra a cierta temperatura, la distribución de las PF P_k es tal que uno de los tipos de cluster siempre prevalece sobre el resto. A otra concentración cercana ocurre el intercambio de población con otro tipo de cluster. Además, a temperaturas mayores que la crítica T_c , la PF del cluster de cualquier tipo alcanza su valor máximo a una determinada concentración. La forma de $P_k(c, T = \text{const.})$ y su valor máximo para algunos clusters no varía, mientras que para otros clusters varía sustancialmente como se aprecia en la Fig. 3.

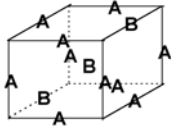
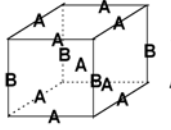
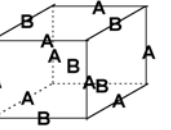
A altas temperaturas ($T > 2T_c$) la distribución de las PF de los clusters es semejante a la distribución estadística (binomial). La PF del cluster $A_{13-m}B_m$ que consta de 13 átomos, de los cuales m átomos de tipo B, en una aleación binaria $A_{1-c}B_c$, asumiendo la distribución atómica completamente desordenada o estadística, se calculó mediante la fórmula,

$$p_{nm}(c) = \frac{n!}{m!(n-m)!} (1-c)^{n-m} c^m \quad (7)$$

A temperaturas cercanas a T_c no solamente se modifica sustancialmente el perfil de la curva de la distribución si no que ocurre un desplazamiento del máximo en el eje de concentraciones (ver Fig. 3).

Los clusters C4, cuya configuración se muestra en la columna central de la Tabla 1, y la PF del cual alcanza su máximo valor en la aleación de concentración $c_B = 0.25$ a temperatura 600 K, representan la semilla de la superestructura $L1_2$ que se realiza a bajas temperaturas en la aleación A_3B .

Tabla 1. Representación de los 3 principales tipos de clusters que se forman en la aleación $A_{0.7}B_{0.3}$ a $T = 650$ K.

C3	C4	C5
		
20.9 %	34.8 %	23.8 %

En la tabla 1 se muestra esquemáticamente tres de las posibles configuraciones atómicas de los vecinos más próximos, correspondientes a tres tipos de clusters de mayor población en la aleación con $c_B = 0.30$ y sus respectivas PF. Otros tipos de clusters presentes en la misma aleación tienen las siguientes PF: C1 (2.9 %), C2 (10 %), C6 (6.6 %), C7 (0.7 %).

3.3. Variación de las PF de los clusters con la temperatura

Las PF de los clusters se determinaron en el rango de temperaturas desde debajo de T_c hasta valores significativamente mayores que el punto crítico. La temperatura se expresa en unidades reducidas, definida como $T_r = kT/J$, donde k es la constante de Boltzman y T la temperatura absoluta. El comportamiento de las PF como función de la temperatura en algunas aleaciones es peculiar.

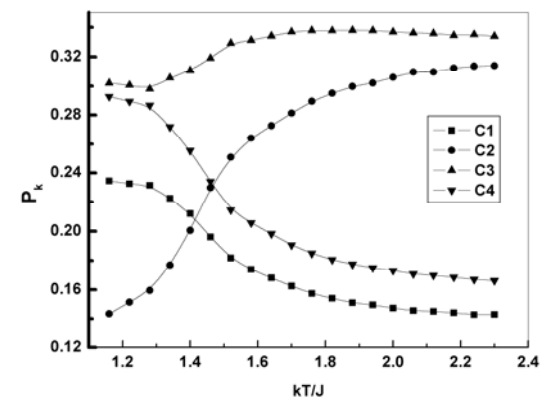


Figura 4. Variación con la temperatura de las PF de los clusters C1, C2, C3, y C4 en la aleación $A_{0.8}B_{0.2}$. $M = 16384$, 20000 MCS.

Comparando los valores de las PF de los clusters C1 – C4 en la aleación de concentración $c_B = 0.2$ a temperaturas 1.34 y 2.0 vemos, por ejemplo, que la PF del cluster C2 aumenta desde 17.7 % hasta

30.6 %, mientras que la PF del cluster C4 disminuye desde 27.1 % hasta 17.3 %. Para esta aleación el cluster C3 predomina en todo el intervalo de temperatura considerada, aumentando su población con velocidad más lenta que la del cluster C2. Un comportamiento similar se observa en la aleación $A_{0.25}B_{0.75}$, como se puede ver de la Fig. 5a, en donde presentamos los resultados de la variación de las PF de los 5 principales tipos de clusters capaces de formarse en dicha aleación.

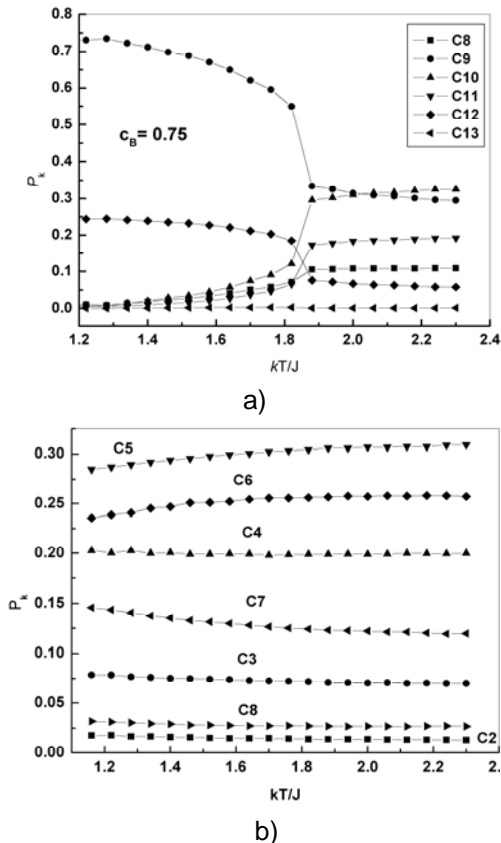


Figura 5. Variación con la temperatura de las PF de los clusters significativos en las aleaciones a) $A_{0.25}B_{0.75}$, y b) $A_{0.6}B_{0.4}$.

A temperaturas debajo de la crítica (en este caso $T_{rc} \approx 1.83$) prácticamente predominan los clusters C9 y C12. En las cercanías del punto de transición ocurre un intercambio de población entre los clusters C12 y C11; a $T_r > 2.08$ el cluster C10 se convierte en predominante. Un comportamiento completamente diferente de las PF de los clusters se manifiesta en otras aleaciones. En particular, como se observa de la Fig. 5b), en la aleación $A_{0.6}B_{0.4}$ las PF de los clusters significativos C3 – C8 son prácticamente constantes y no se observa ningún intercambio de población entre los distintos clusters. Cabe mencionar, que el

método usado en la simulación para determinar las PF de los clusters permite obtener información acerca de la transformación de fase (rango de temperatura de transición).

El conocimiento de las PF de diferentes tipos de clusters en una aleación de composición definida y a una temperatura dada puede ayudar a una mejor comprensión de las primeras etapas de las transiciones de fases, así como elegir los parámetros más óptimos del tratamiento térmico.

Los resultados obtenidos relacionados con el comportamiento de PCA y PF de diferentes clusters como función de la temperatura evidencian la existencia del polimorfismo térmico, es decir, a medida que varía la temperatura de la aleación el predominio de un determinado tipo de cluster es reemplazado por otro tipo de cluster. Análogamente, con la variación de la concentración de la aleación ocurre polimorfismo composicional. Este efecto del polimorfismo térmico y composicional de los clusters, conjuntamente con las propiedades intrínsecas de los clusters podría ser la causa de la dependencia peculiar de ciertas propiedades de las soluciones metálicas homogéneas con la temperatura y concentración [19,21,22].

Conociendo las propiedades concretas $f_k(n,m)$ de los diferentes clusters, calculadas, por ejemplo con Dinámica Molecular o a primeros principios, mediante la ecuación (5) se puede predecir la respectiva propiedad de la aleación. Este tipo de predicción será reportado en un trabajo futuro.

Las simulaciones realizadas indican también cierta tendencia a un pronunciamiento más notable de los efectos mencionados anteriormente con la disminución del tamaño del sistema. Para dilucidar mejor esta observación es necesario un estudio aparte.

4. Conclusiones

En este trabajo, usando un modelo simple ABV de la aleación binaria mediante la simulación computacional Monte Carlo se estudió el comportamiento de los parámetros de corto alcance y las probabilidades de formación de diferentes tipos de clusters tanto en función de la temperatura como de la concentración.

* Aparición de pequeños mínimos y máximos

El comportamiento peculiar de las propiedades de las soluciones sólidas en función de la concentración y temperatura [19,21,22] puede interpretarse como una consecuencia del polimorfismo composicional y térmico de la formación de diferentes clusters atómicos en las aleaciones. El conocimiento de las PF en una aleación concreta puede ser útil para comprender los mecanismos de las transiciones de fases, así como para los tecnólogos en tratamientos térmicos.

Bibliografía

1. J.W. Christian, *The theory of Transformations in Metals and Alloys*, Pergamon Press, Oxford, 1975.
2. R. White, T. Geballe. *Long Range Order In Solids*, Acad. Press, 1979.
3. J. Ziman. *Models of Disorder*. Cambridge University Press, London, 1979.
4. M. Bogdanovich, A. Men, *Zhurnal Fis. Jim.* **54**, N 11, 1980, p. 2973.
5. R. Kikuchi. *Phys. Rev.* **81**, N 6, 1951, p.988.
6. Ph. C. Clapp. *Phys. Rev. B*, **4**, N 2, 1971, p.255.
7. K. Binder . D. Heermann. *Monte Carlo Simulation in Statistical Physics_– An Introduction*, Springer Berlin, 1988.
8. A. Sadiq , K. Binder, *Phys. Rev. Letter*, **51**, 1983, p. 674.
9. R. Weinkamer, P. Fratzl, B. Sepiol G.Vogl, *Phys. Rev. B*, **58**, N 6, 1998, p. 3082.
10. Schmauder, P. Binkele. *Computational Materials Science*, **24**, N 1-2, 2002, p. 42.
11. A van de Walle, M. Asta, *Modelling Simul. Mater. Sci. Eng.* **10**, 2002, p.521.
12. Z. Lu, B. Klein, A. Zumger , *Modelling Simul. Mater. Sci. Eng.* **3**, 1995, p.753.
13. P. Flinn, G. McManus, *Phys. Rev.* **54**, 124, 1961.
14. J. Beeler, A. Sadiq, K. Binder, *Phys. Rev. Letter*, **51**, 1983, p.674.
15. K. Yaldram, K. Binder, *Acta metal. Mater.* , **39**, N4, 1991, p. 707.
16. K. Yaldram, K. Binder, *Int. J. Mod. Phys. C*, **4**, 1993, p. 701.
17. E. Vives, A. Planes, *International J.of Modern Phys.* **4**, N 3, 1992, p. 701.
18. N. Metrópolis, A. Rosenbluth, M. Rosenbluth, A. Teller, *J. Chem. Phys*, **34**, N 3, 1953, p. 1087.
19. J. Rojas. *Tesis de PhD, Universidad Estatal de Jarkov*, Ucrania, 1985.
20. V. Iveronova, A. A. Kaztnelson. *Ordenación Local en Soluciones Sólidas*, Nauka, Moscú, 1977.
21. I. Ivanov, A. Syrenko, B. Andronov, J. Rojas, *Ukrainsky Fizichesky Zhurnal.* **30**, N 9, 1985, p. 1353.
22. E. Kharkov, B. Licov, B. Fedorov, *Física de los Metales líquidos*, Visha Sckola, Kiev, 1979.

Distribuciones atómicas en las aleaciones modelo Cu-Al: simulación Monte Carlo

Justo Rojas^(1,2) jrojas@ipen.gob.pe; Erich Manrique⁽²⁾ evmc@yahoo.com

(1) Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN). Dirección General de Promoción y Desarrollo Tecnológico, Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

(2) Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Facultad de Ciencias Físicas, Av. Venezuela s/n, Lima 14, Perú

Resumen

En el presente trabajo se presentan los resultados de simulación con el método Monte Carlo acerca de las distribuciones atómicas en las soluciones sólidas del sistema Cu - Al. Se usa el modelo ABV de la aleación donde se asume la aproximación de interacción par a primeros vecinos con energía de ordenación constante. La dinámica fue introducida mediante el movimiento de una vacancia que intercambia de lugar con los átomos vecinos más próximos. La simulación fue realizada en una red *fcc* con 256, 2048 sitios, aplicando condiciones de frontera periódicas para evitar efectos de borde. Se determinó las probabilidades de formación de diferentes clusters atómicos $A_{13-m}B_m$ ($m = 0, 1, 2, \dots, 13$) que constan de 13 átomos como función de la temperatura, así como los primeros parámetros de corto alcance de Warren-Cowley. Se encontró que en la aleación Cu + 14at%Al se observa el polimorfismo térmico en la formación de los clusters de tipo C1 y C2, mientras que en la aleación Cu+12.5at.%Al no ocurre tal intercambio entre los clusters C1 y C2.

Palabras claves: Monte Carlo, Orden local, cluster, Algoritmo de Metrópolis

1. Introducción

La correlación local en la distribución atómica de los componentes en las soluciones sólidas macroscópicamente homogéneas influyen sustancialmente sobre las propiedades de las aleaciones [1 - 3]. El establecimiento de la estructura, y en consecuencia de la propiedad final de las soluciones sólidas depende en gran medida de la dinámica de la correlación local, que a su vez es sensitiva a la temperatura, concentración, interacción atómica entre los componentes [2, 4]. La caracterización experimental de las aleaciones con correlación local se realiza fundamentalmente mediante la difracción difusa de los rayos-x y neutrones [2, 5]. En tales experimentos las magnitudes estructurales como los parámetros de corto alcance es el resultado de promediación por regiones mucho mayores que la longitud de correlación, por lo que no caracterizan completamente la distribución atómica real. Por otra parte los métodos computacionales como Monte Carlo (MC) basados en modelos atomísticos permiten obtener información muy útil acerca de la estructura y propiedades de las aleaciones modelo [6 - 9].

Las aleaciones binarias del sistema Cu - Al son importantes debidas fundamentalmente por sus propiedades eléctricas y térmicas.

Aumentando a la matriz de cobre pequeñas cantidades de aluminio se logra, por ejemplo, mejorar las propiedades anticorrosivos del cobre en calidad de alambres conductores. Las aleaciones Cu - Al, en los cuales la concentración de Al es menor que 18 at.%, son soluciones sólidas donde se observa el ordenamiento químico local de los componentes [2,10]. La aleación Cu - 14 at.% Al presenta un comportamiento peculiar que consiste en la dependencia anómala de la resistividad eléctrica residual como función de la temperatura de recocido luego de la irradiación con electrones [11 - 12], la que en opinión de los autores se debe a la dinámica y particularidades de la ordenación local. El modelo de las cuasipartículas [13] es bastante promisorio para la descripción e interpretación de las propiedades de la aleación, el cual involucra el cálculo de las probabilidades de formación de los diferentes clusters.

El objetivo del presente trabajo consiste en identificar las distribuciones atómicas mas probables y cuantificar la correlación local en las aleaciones Cu $_{(1-x)}$ Al $_x$ ($x = 0.12 - 0.15$) como función de la temperatura. El estudio se realiza mediante la simulación con el método MC basado en el modelo ABV de la aleación.

2. Modelo y metodología

2.1 Modelo ABV

Representamos la aleación binaria como un conjunto de N_A átomos de tipo A y N_B átomos de tipo B ubicados en los nudos de una red cristalina con N sitios. La red contiene N_V sitios vacíos representando las vacancias en el sistema ($N = N_A + N_B + N_V$). Cada nudo de la red puede estar ocupado por un átomo de cualquier tipo (A o B) o estar vacío, es decir las concentraciones de los átomos y vacancias satisfacen a la condición: $c_A + c_B + c_V = 1$.

En el marco de la aproximación de interacción par a primeros vecinos, el Hamiltoniano del modelo ABV [14] de la aleación binaria se expresa como :

$$H = \sum_{\langle i,j \rangle} [K s_i^2 s_j^2 + J s_i s_j + U(s_i^2 s_j + s_i s_j^2)] + H_0 \quad (1)$$

donde

$$\begin{aligned} K &= \frac{1}{4}(u_{AA} + u_{BB} + 2u_{AB}) + u_{VV} - u_{AV} - u_{BV} \\ J &= \frac{1}{4}(u_{AA} + u_{BB} - 2u_{AB}) \\ U &= \frac{1}{4}(u_{AA} - u_{BB}) - \frac{1}{2}(u_{AV} - u_{BV}) \end{aligned} \quad (2)$$

s_i – toma los valores 1, -1 o 0 si el sitio i es ocupado por un átomo de tipo A, B o vacancia respectivamente.

Asumiendo $U = 0$, que significa la vacancia intercambia de posición con igual probabilidad con los átomos de cualquier tipo, como mostró Vives [15], si además se cumple la condición que $c_V \ll 1$, el término K en la ecuación (1) es aproximadamente constante e independiente de la configuración, por tanto el único término relevante es el que contiene J :

$$H = J \sum_{\langle i, j \rangle} s_i s_j \quad (3)$$

que es un Hamiltoniano tipo modelo de Ising.

En el presente trabajo hemos asumido el valor del parámetro de intercambio $J = 0.043$ eV, el cual reproduce correctamente el valor disponible de los parámetros de corto alcance $\alpha_1 = -0.14$ y $\alpha_2 = 0.12$ [2].

La dinámica del sistema se introduce mediante el movimiento de una sola vacancia que intercambia de posición con cualquiera de los átomos más próximos con igual probabilidad.

De acuerdo al algoritmo estándar de Metrópolis [16], la probabilidad de intercambio de la vacancia con un átomo vecino i , escogido aleatoriamente, está dada por :

$$P_i = \min \left\{ 1, \exp\left(\frac{-\Delta H}{kT}\right) \right\} \quad (4)$$

donde ΔH es la variación de la energía del sistema al realizar la vacancia un intercambio tentativo de lugar con un átomo vecino.

El espacio de simulación es un cubo que contiene $N = 4L^3$ nudos de una red fcc con L celdas por dimensión. En los nudos de esta red se ubican $M = N - 1$ átomos. Con la finalidad de minimizar los efectos de superficie se utilizan condiciones de frontera periódicas en las tres dimensiones. El equilibrio térmico se alcanza, dependiendo del tamaño del sistema, luego de 800 – 2000 pasos de Monte Carlo (MCS). Los promedios de las magnitudes de interés (probabilidad de formación de clusters, parámetros de corto alcance, energía, etc.) se calcularon utilizando 10000 – 20000 MCS luego del alcanzar el equilibrio termodinámico.

2.2 Modelo de aleación clusterizada

De acuerdo al modelo de las cuasipartículas propuesto por Bogdanovich y Men [13], la aleación está constituida por un conjunto finito de diferentes cuasi-partículas o clusters atómicos $A_n B_m$. Los clusters de n átomos se diferencian por su composición y configuración, y como consecuencia por sus propiedades. En una aleación dada, cada tipo de cluster tiene cierta probabilidad de formación p_k que depende de la temperatura y concentración de los componentes.

En el marco de este modelo, la propiedad $f(c, T)$ de la aleación se expresa como,

$$f(c, T) = \sum_k p_k(c, T) f_k \quad (5)$$

donde p_k y f_k son respectivamente la probabilidad de formación y propiedad del cluster de tipo k en la aleación.

Los posibles tipos de clusters capaces de formarse en el sistema Cu – Al, cuyos

tamaños están limitados por la primera esfera de coordinación y que se diferencian solo por composición representamos mediante : $C1 = A_{12}B_1$, $C2 = A_{11}B_{2,..}$

3. Resultados

Con el fin de cuantificar la correlación local, determinamos los PCA de Warren–Cowley [17], definidos como:

$$\alpha_i = 1 - \frac{n_i^{(A)}}{N c_A c_B z_i} = 1 - \frac{p_i^{(BA)}}{c_A}$$

donde $n_i^{(A)}$ es el número de átomos de tipo A en la esfera (i); z_i es el número de coordinación de la esfera i ; $p_i^{(BA)}$ - la probabilidad de hallar un átomo de tipo A a una distancia \vec{r}_i del átomo B, tomado como centro, promediado sobre todos los átomos B en la red.

La “medición” de los PCA, así como las PF de los clusters, se llevó a cabo partiendo de la configuración desordenada.

En la Fig.1 se presenta el comportamiento de los parámetros de corto alcance como función de la temperatura. El signo negativo de α_1 indica que los átomos Al tienen como primeros vecinos preferentemente átomos de cobre.

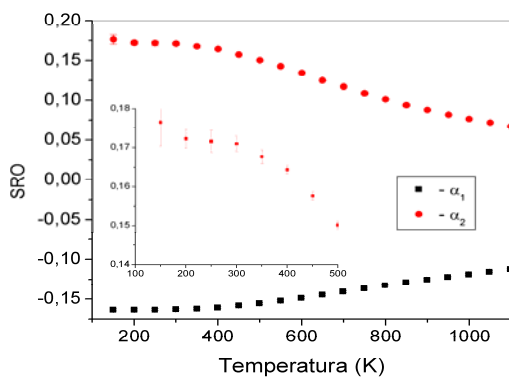


Figura 1. Variación de los primeros dos parámetros de corto alcance versus temperatura en la aleación Cu – 14 at.% Al, $M = 2048$. El gráfico insertado muestra el comportamiento de α_2 con mayor detalle.

Con el incremento de la temperatura los valores absolutos de los parámetros de orden local tienden lentamente a cero. El primer parámetro varía monótonamente, mientras que el segundo, como se aprecia

de la fig.1 b), presenta peculiaridad en la región de 400 K.

Las PF de los clusters se determinaron en el rango de temperaturas desde 200 K hasta 1000 K. En la fig. 2 se muestran los resultados de simulación de las probabilidades de formación de diferentes clusters. Como se puede observar, en la aleación Cu+14at%Al se forman, fundamentalmente, los clusters C1,C2,C3. La contribución de los otros tipos de clusters es prácticamente nula.

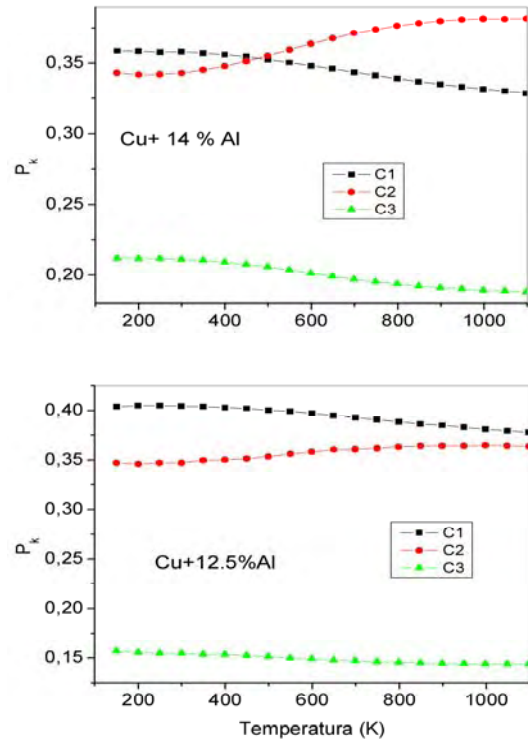


Figura 2. Probabilidades de formación de los clusters C1, C2 y C3 como función de la temperatura en las aleaciones: Cu+14at%Al, b) Cu +12.5at%Al $M = 2048$.

El aspecto más resaltante en el comportamiento de las PF de los clusters con la temperatura consiste en el intercambio de población de ciertos clusters a una determinada temperatura. Como se aprecia de la fig. 2 a), los clusters C1 y C2, intercambian de rol aproximadamente a 460 K. En consecuencia, a temperaturas mayores que 460K los clusters C2 determinan, fundamentalmente, las propiedades en la aleación Cu+14%Al. Un comportamiento completamente diferente de las PF de los clusters del mismo tipo se manifiesta en otras aleaciones; por ejemplo, en la aleación Cu+12.5at%Al, como se muestra en la fig. 2b. En este caso los

clusters de tipo C1 predominan en todo el intervalo de temperatura estudiada.

El conocimiento de las PF de diferentes tipos de clusters en una aleación de composición definida y a diferentes temperaturas puede ayudar a una mejor comprensión de las primeras etapas de las transiciones de fases, así como elegir los parámetros más óptimos del tratamiento térmico.

Los resultados obtenidos relacionados con el comportamiento de las PF de diferentes clusters como función de la temperatura muestran la existencia en ciertas aleaciones y ausencia en otras del polimorfismo térmico, es decir, a medida que varía la temperatura de la aleación el predominio de un determinado tipo de cluster es reemplazado por otro tipo. Este efecto del polimorfismo térmico de los clusters, conjuntamente con las propiedades intrínsecas de los clusters podría ser la causa de la dependencia peculiar de las propiedades eléctricas de la solución sólida Cu+14%Al como función de la temperatura [11,12].

4. Conclusiones

En este trabajo, usando un modelo simple ABV de la aleación binaria mediante la simulación computacional Monte Carlo se determinó el comportamiento de los parámetros de corto alcance y las probabilidades de formación de diferentes tipos de clusters en función de la temperatura en el sistema Cu - Al.

Los datos obtenidos relacionados con las probabilidades de formación y parámetros de orden local en las aleaciones Cu - Al puede ser útil para comprender los mecanismos de las primeras etapas de transiciones de fases, así como para los tecnólogos en tratamientos térmicos.

Conociendo las propiedades intrínsecas de los clusters capaces de formarse en el sistema estudiado, mediante la formula (5) es posible describir la dependencia propiedad versus temperatura.

La curva experimental de las propiedades eléctricas versus temperatura de la aleación Cu+12.5%Al, es de suponer, no debe mostrar ninguna peculiaridad.

Bibliografía

1. B. Schönfeld, Progress in materials science, **44**, N5, 1999, p.435.
2. V. Iveronova, A. Kaznelson, Vlishnie uporyadochenya vo tverdiy rastvoraj, Nauka, Moscú, 1975.
3. J. Ziman. Models of Disorder. Cambridge University Press, London, 1979.
4. Michiko Yoshitake, Santanu Bera, Yasuhiro Yamauchi, and Weijie Song Journal of Vacuum Science & Technology A: Vacuum, Surfaces, and Films, **21**, N4, 2003, p. 1290.
5. M. Mori , Y. Kashiwase, M.Kogiso, S. Sasaki, Acta Cryst. **A46** ,1990, p.23.
6. K. Binder . D. Heermann. Monte Carlo Simulation in Statistical Physics – An Introduction, Springer Berlin, 1988.
7. A. Sadiq , K. Binder, Phys. Rev. Letter, **51**, 1983, p. 674.
8. Schmauder, P. Binkele. Computational Materials Science, **24**, N 1-2, 2002, p. 42.
9. A van de Walle, M. Asta, Modelling Simul. Mater. Sci. Eng. **10**, 2002, p. 521.
10. Varshavsky, Materials Science and Engineering A , **369**, 2, 2004, p.1.
11. N. P. Kulish , Petrenko P.V., Melnikova N.A, Grabovskii Yu.E. The Physics of Metals and Metallography, **5**, N4, 1998, p. 423.
12. Kulish N.P., Grabovsky Ju.E., Davidovsky V.M., Melnikova N.A., Petrenko P.V. Met. Phys. Adv. Tech., **4**, 1999, p.1369.
13. M. Bogdanovich, A. Men, Zhurnal Fis. Jim. **54**, N 11, 1980, p. 2973.
14. K. Yaldram, K. Binder, Acta metal. Mater. , **39**, N4, 1991, p. 707.
15. E. Vives, A. Planes. International J.of Modern Phys., **4**, N 3 , 1992, p. 701.
16. N. Metrópolis, A. Rosenbluth, M. Rosenbluth, A. Teller, J. Chem. Phys. **34**, N 3, 1953, p. 1087.
17. Ph. C. Clapp. Phys. Rev. B, **4**, N 2, 1971, p.255.

Diseño y construcción de un sistema para la supervisión in-situ del crecimiento de una película delgada de ZnO fabricada por rociado pirolítico

Germán Comina⁽¹⁾; Juan Rodríguez^(2,1) jrodriguez@ipen.gob.pe; José Solís^(2,1) jsolis@ipen.gob.pe; Walter Estrada^(2,1) westrada@ipen.gob.pe

(1) *Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de Ciencias, Av. Tupac Amaru 210, Lima 25, Perú*

(2) *Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN), Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú*

Resumen

Se implementó un sistema que supervisa in-situ el espesor y calcula el perfil de una película delgada fabricada por la técnica de rociado pirolítico. El sistema se basa en la medición de la reflexión de un haz láser que proviene del sistema película-sustrato, el patrón de interferencia se utilizó para calcular el espesor de la película delgada. El perfil de la película se determinó a partir de los patrones de reflexión para puntos separados 0.5 cm ubicados en línea recta sobre el sustrato. Se estudió el crecimiento de una película delgada de ZnO fabricada por rociado pirolítico usando este método. Se encontró que las medidas de espesor in-situ tienen buena relación con las medidas ex-situ usando profilometría y microscopía electrónica de barrido (SEM). Las micrografías SEM muestran que la superficie de la película esta formada por partículas de forma alargada, las cuales se hacen más redondas y grandes cuando la película se hace más gruesa. Éste hecho se relaciona con un incremento en la componente difusa del espectro de transmisión y reflexión para el rango visible de la película y con la tendencia del factor de rugosidad hallado in-situ.

1. Introducción

El espesor de una película delgada es un parámetro importante que debe ser supervisado y controlado. Existen diferentes técnicas para determinar el espesor de una película delgada in-situ, durante su fabricación. Esta información en tiempo real es útil para optimizar la fabricación de la película, y por lo tanto modificar o detener el proceso de depósito cada vez que sea necesario. Se han usado diferentes técnicas para determinar el espesor in-situ como: interferometría láser [1,2], reflectometría láser [3,4,5], elipsometría [6], etc. Por lo general éstas técnicas se usan para técnicas de fabricación de películas en vacío, como evaporación, pulverización por bombardeo catódico (sputtering), deposición química en fase vapor (CVD) [7,8], crecimiento epitaxial de haz molecular [9], etc. Sin embargo, hasta donde tenemos conocimiento no se ha reportado en la literatura ningún estudio sobre el crecimiento in-situ de películas delgadas fabricadas por rociado pirolítico. Uno de los problemas que aparecen cuando se quiere utilizar reflectometría óptica para medir in-situ el espesor de una película fabricada por rociado pirolítico es la interferencia causada por la fluctuaciones

térmicas en ambas caras del sustrato; otro problema es la dispersión de la luz que incide sobre la película, producido por la nube que se forma cuando se rocía el sustrato con la solución precursora.

La técnica de rociado pirolítico, es una técnica simple y de bajo costo para fabricar películas delgadas. Con ésta técnica se puede cambiar la morfología de la película producida, controlando la solución precursora y las condiciones de depósito. Por ejemplo, cambiando los parámetros de fabricación, se han fabricado películas porosas para aplicaciones en foto-electrocatalisis y sensores de gas [10,11].

Un requerimiento esencial para aplicar el modelo teórico que permite determinar el espesor, es que la película no debe ser rugosa [12], sin embargo, como se mostrará mas adelante, nuestro método puede ser aplicado para películas que tienen cierto grado de rugosidad.

En éste artículo se muestra el estudio del crecimiento de películas delgadas de ZnO fabricadas por rociado pirolítico; donde el crecimiento ha sido supervisado in-situ usando reflectometría láser. También se han realizado mediciones ex - situ del espesor y la morfología usando profilometría de contacto, espectroscopia visible de reflexión

y transmisión, y microscopía electrónica de barrido.

2. Principios de la Reflectometría Láser

Es un hecho conocido que las reflexiones múltiples de un láser en una película delgada producen patrones de interferencia [12], y que éstos pueden utilizarse para medir el espesor de la misma. La oscilación en la intensidad de la reflectancia especular se debe a las interferencias constructivas y destructivas, las cuales se observan cuando el espesor de la película varía. El número de oscilaciones se incrementa cuando aumenta el espesor de la película. Zuiker *et al.* [13] desarrolló un método para cuantificar la rugosidad y el efecto del espesor en la atenuación de la amplitud de las oscilaciones de la reflectancia. Mientras se incrementa la rugosidad de la superficie de la película se reduce la reflectividad promedio y la amplitud de oscilación.

La absorción en el rango visible de las películas de ZnO es despreciable [14], por tanto la atenuación de la reflectancia se atribuye al incremento de la dispersión de la luz láser sobre la superficie de la película. El cual se asocia al factor de rugosidad de la película. Se asume que el espesor, d , y el factor de rugosidad, σ de la película son funciones del tiempo, las cuales se representan por [15, 16]:

$$d = d_o + v_d t \quad (1)$$

$$\sigma = \sigma_o + v_\sigma t \quad (2)$$

donde, t es el tiempo de fabricación, d_o y σ_o son dos parámetros por ajustar; v_d y v_σ son las razones de crecimiento del espesor y del factor de rugosidad de la película, respectivamente. El desfase (ϕ) que tiene un haz de luz que viaja a través del aire, pasando por la película de ZnO, con índice de refracción n_1 , regresando al aire luego de que se refleja en la interfase de la película con el sustrato es:

$$\phi = 4\pi n_1 d / \lambda \quad (3)$$

La reflectividad normal para la luz visible de longitud de onda λ , en un sistema formado por aire-película-sustrato, considerando que el factor de rugosidad $\sigma \ll \lambda$, esta dada por [15]:

$$r = \frac{r_{01} e^{-8(\pi\sigma/\lambda)^2 n_0^2} + t_{01} e^{-2(\pi\sigma/\lambda)^2 (n_1 - n_0)^2} t_{10} e^{-2(\pi\sigma/\lambda)^2 (n_0 - n_1)^2} e^{i\phi} r_{12}}{1 - r_{12} r_{10} e^{-8(\pi\sigma/\lambda)^2 n_1^2} e^{i\phi}} \quad (4)$$

donde r_{ij} y t_{ij} son los coeficientes de amplitud de Fresnel de reflexión y

transmisión para una superficie lisa, e i y j representan el medio, 0 para el aire, 1 para la película de ZnO y 2 para el sustrato de vidrio. En el presente trabajo se utilizaron el índice de refracción del aire, n_o , y del sustrato de vidrio, n_2 , para una longitud de onda de $\lambda=632.8$ nm igual a 1.00 y 1.64, respectivamente. El índice de refracción del sustrato de vidrio se obtuvo a partir de mediciones de transmitancia *ex-situ* [17]. Para incidencia normal r_{ij} y t_{ij} se reducen a:

$$r_{ij} = (n_i - n_j) / (n_i + n_j) \quad (5)$$

$$t_{ij} = 2n_i / (n_i + n_j) \quad (6)$$

La reflectancia R que se ajustará se obtiene combinando las ecuaciones Ec.(1) - Ec.(6) a través de la siguiente relación:

$$R = r r^* \quad (7)$$

donde r^* es el complejo conjugado de r . Dando como resultado una ecuación de 5 parámetros (n_1 , d_o , v_d , σ_o y v_σ), los cuales se pueden obtener al ajustar R a las medidas experimentales.

3. Procedimiento Experimental

Se fabricaron películas delgadas de ZnO, utilizando el sistema de fabricación por rociado pirolítico de nuestro laboratorio. El diagrama del sistema se puede observar en la figura 1.

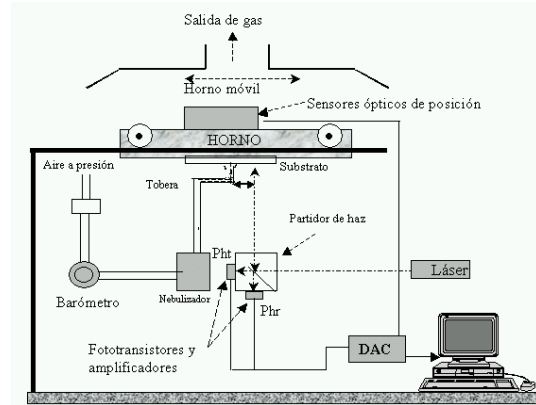


Figura 1. Diagrama esquemático del sistema de fabricación de películas delgadas por rociado pirolítico y del sistema para la supervisión in-situ del crecimiento de la película por reflectometría láser.

El proceso consiste en formar un aerosol de una solución, la cual es rociada sobre el sustrato que esta a una temperatura lo suficientemente alta para evaporar a los solventes y producir la pirólisis. El sistema de rociado pirolítico usado en este trabajo esta descrito en detalle en una publicación

anterior [10]. Para tener una reacción pirólitica homogénea en el sustrato caliente, el horno se hace oscilar perpendicularmente a la salida de la tobera. La posición del horno se supervisa usando sensores ópticos. La solución que se utilizó es una disolución de Acetato de Zinc (0.1M) en una mezcla de etanol y agua en una proporción de volumen de 3 a 1. Ésta solución se roció sobre sustratos de vidrio a 350 °C. El problema debido a la dispersión del láser provocado por la nube formada por la solución a la salida de la tobera para medir la reflectancia, se solucionó midiendo la reflectancia a 1cm fuera de la nube (ver Figura 1).

Para supervisar el espesor de la película se montó un sistema óptico (ver Figura 1). Se utilizó un partidor de haz para dividir el haz del láser He-Ne ($\lambda=632.8$ nm) en dos haces (ver figura 1): el haz transmitido, se llama REFERENCIA, y el reflejado MUESTRA. Se utilizaron dos foto-detectores (Pht y Phr) para medir la intensidad de ambos haces. No se observó interferencia debida al partidor de haz. Se utilizó una tarjeta de adquisición (Keithley, modelo DAS-1600), para medir las señales de los fototransistores Phr (MUESTRA) y Pht (REFERENCIA). Para reducir el efecto de la variación de la intensidad del láser, se consideró como la señal de reflexión al cociente MUESTRA/REFERENCIA. Se normalizaron los datos experimentales usando un espejo de aluminio como referencia para la reflectancia, esta medición se realizó antes de iniciar cada depósito.

En la Figura 2, se muestra la reflectancia en función del tiempo para un sustrato de vidrio sin ningún tratamiento y uno al que se le ha pulido mecánicamente la cara que está en contacto con el horno, las mediciones se realizaron a 350 °C.

El sustrato sin tratamiento produce un patrón oscilante de interferencia debido al efecto de la temperatura sobre el espesor del sustrato (Fig. 2a), por otro lado no se observaron oscilaciones en el sustrato pulido (Fig. 2b) debido a que la cara pulida anula los haces reflejados. Todas las mediciones en el presente trabajo se realizaron con sustratos pulidos, para evitar la sobre posición de las oscilaciones debidas al crecimiento de la película con las oscilaciones debidas al efecto de la temperatura en el sustrato.

Para asegurar que la medición de la reflectancia se realice en siete puntos fijos, separados 0.5cm, se construyó un circuito basado en el Microcontrolador PIC16F84 y 8

sensores ópticos. Dicho circuito detecta la posición del horno y envía la información en forma digital a la PC. Se utilizaron la intensidad reflejada del láser en cada punto, mientras el sustrato se movía con el horno, para calcular el espesor de la película en cada punto. Ésta información se utilizó para obtener el perfil de la película.

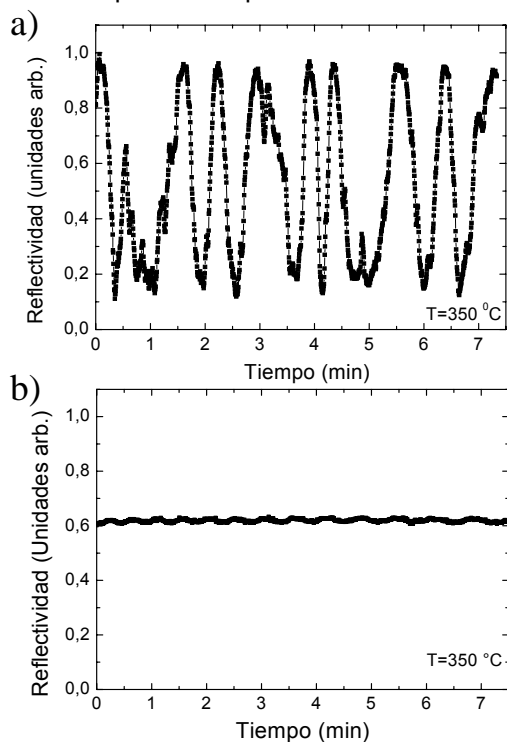


Figura 2. Reflectancia normal in-situ en función del tiempo para (a) un sustrato de vidrio sin tratamiento, y (b) un sustrato de vidrio al que se le ha pulido mecánicamente la cara posterior, la cual esta en contacto con el horno; ambos sustratos se mantuvieron a 350°C.

También se realizaron mediciones ex - situ del espesor. Se utilizó un perfilómetro (Stilus 400 Alpha-Step) para medir el espesor y un microscopio electrónico de barrido (SEM Philips 300 operado a 20 kV) para medir el espesor y analizar la morfología. Las mediciones ópticas se realizaron utilizando un espectrofotómetro de doble haz con esfera integradora (Lambda 9, Perkin Elmer). Las mediciones se realizaron en el rango de longitud de onda: $200 < \lambda < 800$ nm.

4. Resultados

En la Figura 3 se muestran los resultados experimentales y de ajuste de la reflectancia in-situ de las películas de ZnO durante su crecimiento sobre un sustrato de vidrio a 350 °C; la presión de aire en el sistema de roció se mantuvo a 140 kPa, y los tiempos de

depósito, τ_d , fueron 1.4, 5, 7.3, 10 y 13 minutos, respectivamente como se indica en la Figura 3.

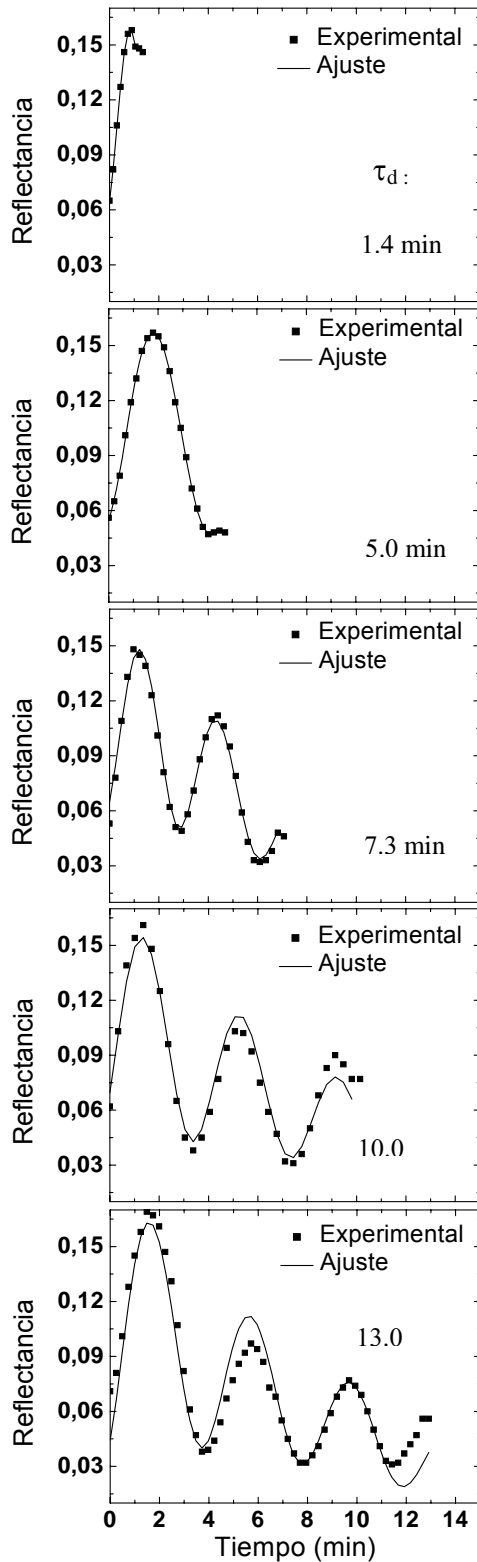


Figura 3. Reflectancia normal mediad in-situ como función del tiempo para el ZnO depositadas a las mismas condiciones; se muestran también los tiempos de depósito τ_d . La línea sólida es la curva de ajuste.

Con el sistema, es posible supervisar la reproducibilidad del proceso de fabricación. Se observaron oscilaciones y la atenuación en la señal de la reflectividad, mientras la película crecía. En la tabla 1 se presentan los parámetros de ajuste obtenidos, los espesores, d (Eq. (1)), y los factores de rugosidad, σ (Eq. (2)), calculados.

Tabla 1. Parámetros de ajuste (σ_0 , v_σ , d_0 , v_d , n_1) para películas de ZnO obtenidas a diferentes tiempos de depósito, τ_d . El espesor, d , el factor de rugosidad superficial, σ , se calcularon usando las Eqs. (1) y (2), respectivamente.

τ_d (min)	σ_0 (nm)	v_σ (nm/min)	d_0 (nm)	v_d (nm/min)	n_1	d (nm)	σ (nm)
1.4	-16 ± 7	23 ± 11	24 ± 5	69 ± 14	1.85 ± 0.007	96 ± 16	8 ± 13
5.0	-8 ± 4	7.5 ± 0.9	13 ± 1	37.9 ± 0.3	1.85 ± 0.002	191 ± 2	27 ± 6
7.3	-6 ± 3	6.8 ± 0.6	-152 ± 1	53.6 ± 0.4	1.84 ± 0.003	227 ± 3	42 ± 5
10.0	12 ± 4	3.1 ± 0.4	25 ± 2	42.6 ± 0.5	1.88 ± 0.01	443 ± 5	43 ± 6
13.0	14 ± 4	3.1 ± 0.4	14 ± 2	41.2 ± 0.6	1.90 ± 0.02	546 ± 8	54 ± 7

En la tabla 2 se muestran los espesores de las películas medidos al final del proceso de fabricación, además de los espesores correspondientes medidos utilizando perfilometría y las micrografías SEM de las secciones transversales. Se puede ver que existe una buena correlación entre las medidas in-situ y ex-situ. El índice de refracción de las películas de ZnO, n_1 , concuerda con el que se reporta en la literatura [14].

El sistema permite obtener el espesor en varios puntos alineados sobre la película. Con ésta información fue posible obtener el perfil durante el crecimiento de la película. Los resultados se observan en la Figura 4.

Tabla 2. Espesores medidos por reflectometría láser (in-situ), perfilometría y microscopía electrónica de barrido.

τ_d (min)	In-situ (nm)	Alpha Step (nm)	SEM (nm)
1.4	96 ± 16	120 ± 6	
5.0	191 ± 2	160 ± 8	
7.3	227 ± 3	210 ± 12	233 ± 20
10.0	443 ± 5	310 ± 18	310 ± 20
13.0	546 ± 8	548 ± 28	633 ± 20

Se graficó el factor de rugosidad superficial, σ , en función del espesor para la películas

de ZnO (Fig.5). Se observa que σ se incrementa con el espesor, llegando a ser casi constante para espesores mayores de 300 nm. Los valores de σ están en el rango de $\lambda/12$ y $\lambda/10$ lo cual satisface la hipótesis, $\sigma \ll \lambda$, utilizada en el método teórico [13].

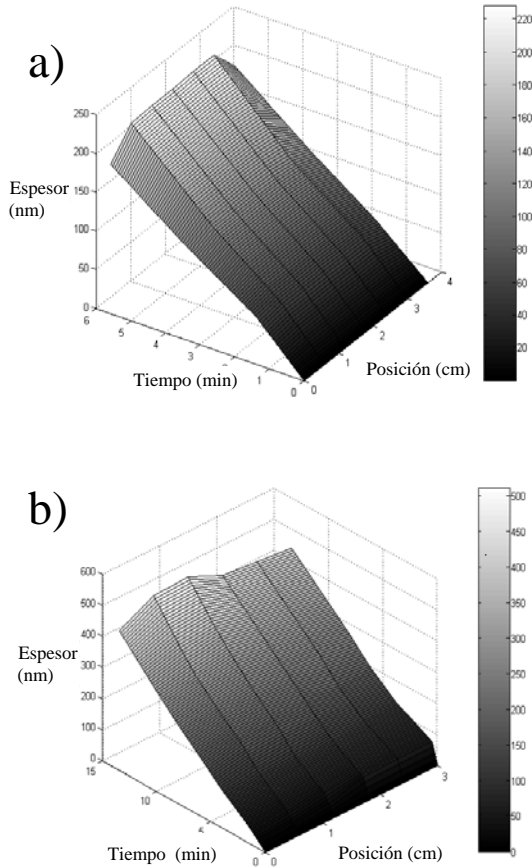


Figura 4. Perfil, calculado in-situ para películas de ZnO mientras crecen, para tiempos de depósito de (a) 5 minutos y (b) 13 minutos.

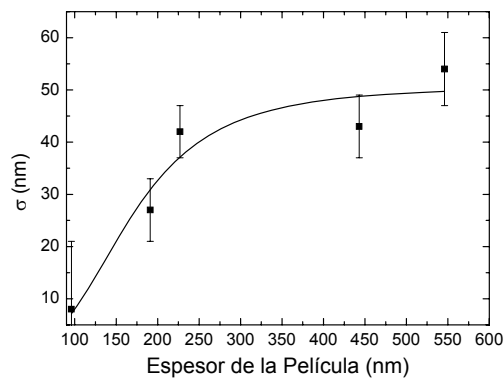


Figura 5. Factor de rugosidad superficial σ para películas de ZnO vs. Espesor de la película.

En la Figura 6 se muestran las transmitancias espectrales, total (TT) y

difusa (Td), y las reflectancias, total (RT) y difusa (Rd), para las películas de ZnO con espesores de : 183 nm (Fig. 6(a)) y 551 nm (Fig. 6(b)) obtenidas a 350 °C. Como tendencia general, la película de mayor espesor (Fig. 6(b)) muestra la menor transmitancia total y una transmitancia difusa mayor que la película de menor espesor (Fig. 6(a)); un comportamiento similar se observa en las reflectancias. Éstos resultados concuerdan con el comportamiento observado en el factor de rugosidad, el cual se incrementa con el espesor de la película (Fig. 5).

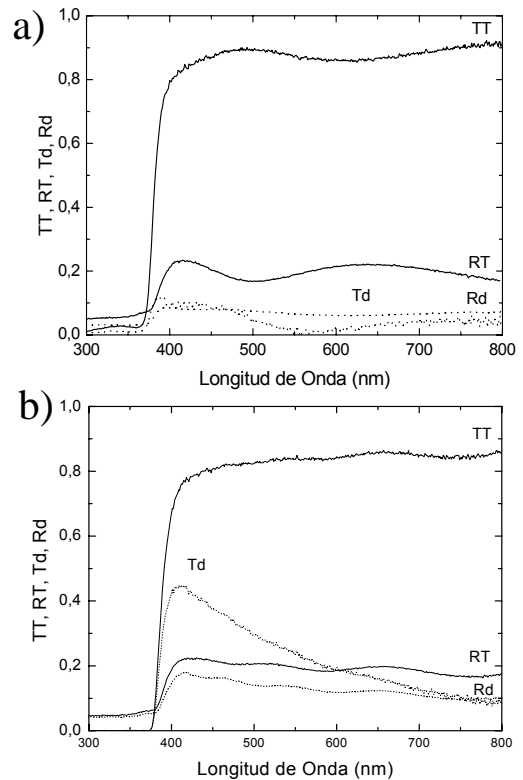


Figura 6. La reflectancia y transmitancia total (línea sólida) y difusa (línea punteada) para películas de ZnO depositadas por rociado pirolítico a 350 °C y con un tiempo de depósito, τ_d , (a) 5 min y (b) 13 min. TT y RT son la transmitancia y reflectancia total. Td y Rd son la transmitancia y reflectancia difusa.

En la figura 7 se observan las micrografías SEM de las películas de ZnO para diferentes espesores. La película mas delgada tiene partículas de forma alargada de aproximadamente 200 nm de tamaño; estas partículas crecen y se tornan redondas conforme el espesor de las películas se incrementa; éste hecho explica la característica difusa de las películas más gruesas.

En la Figura 8, se muestran las reflectancias medidas in-situ y sus correspondientes

curvas de ajuste para las películas de ZnO, fabricadas con diferente presión de depósito. Las películas se fabricaron a una temperatura de 350 °C durante 10 min, y un rango de presiones entre: $35 < P_d < 210$ kPa. Se observa que la película se vuelve más gruesa conforme la presión se incrementa, el cual es un resultado esperable. La Tabla 3. muestra los parámetros de ajuste, el espesor calculado d y el factor de rugosidad σ . El factor de rugosidad σ para películas fabricadas a 105 kPa y 210 kPa, es 47 nm y 74 nm, respectivamente. Por tanto se infiere que existe un incremento en la rugosidad de la película con la presión.

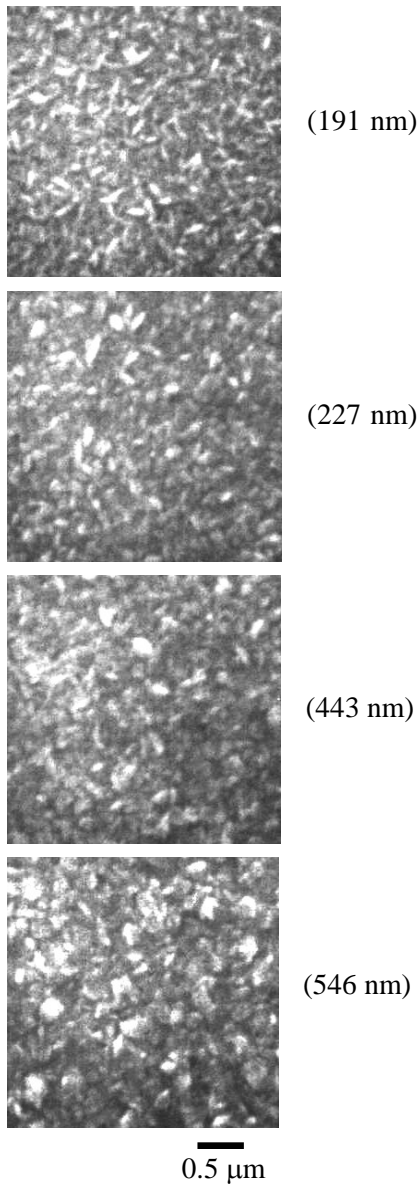


Figura 7. Micrografías SEM de las películas de ZnO con el espesor indicado.

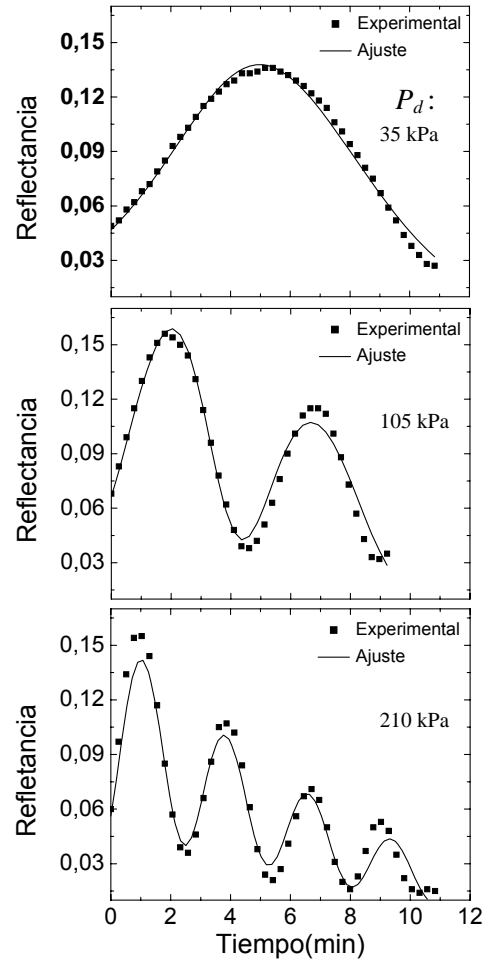


Figura 8. Reflectancia normal in-situ de películas de ZnO fabricadas a 350°C durante 10min a las presiones de depósito indicadas. La línea sólida es la curva de ajuste.

Tabla 3. Parámetros de ajuste (σ_0 , v_σ , d_0 , v_d , n_1) para películas de ZnO obtenidas a diferentes presiones de depósito P_d . El espesor, d , el factor de rugosidad superficial, σ , se calcularon usando las Eqs. (1) y (2), respectivamente.

P_d (kPa)	σ_0 (nm)	v_σ (nm/min)	d_0 (nm)	v_d (nm/min)	n_1	d (nm)	σ (nm)
35	-30 ± 8	7 ± 1	21 ± 11	11 ± 2	1.834 ± 0.008	151 ± 24	46 ± 13
105	-28 ± 2	8.2 ± 0.5	34 ± 3	30.2 ± 0.8	1.872 ± 0.005	320 ± 8	50 ± 5
210	16 ± 4	4.4 ± 0.4	60 ± 2	60.4 ± 0.9	1.89 ± 0.02	672 ± 10	74 ± 6

5. Conclusiones

Se implementó un sistema que supervisa el espesor y calcula el perfil de una película delgada fabricada por la técnica de rociado pirolítico. Este sistema se basa en la medida de la reflexión que se produce en la interfase película-sustrato, de un haz láser. El patrón de interferencia que se obtuvo durante el depósito se usó para calcular el espesor y el perfil.

Se estudió el crecimiento de las películas de ZnO fabricadas, sobre un sustrato de vidrio, usando la técnica de rociado pirolítico.

Se encontró que el valor de espesor calculado usando reflectometría láser se correlaciona muy bien con los espesores *ex-situ*. Las micrografías SEM, muestran que al inicio la superficie de la película está formada por partículas de forma alargada, con tamaño aproximado de 200 nm, y conforme la película se hace más gruesa la forma de las partículas se hace redonda y más grande. Este hecho se relaciona con un incremento de la componente difusa de la reflectancia y la transmitancia espectral óptica y esto se relaciona con el incremento del factor de rugosidad calculado *in-situ*.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de ingeniería; del International Program for Physical Science (IPPS) de la Universidad de Uppsala-Suecia, y del Instituto Peruano de Energía Nuclear; para la realización del presente trabajo. Además los autores agradecen al Lic. Luyo por las micrografías SEM.

Referencias

1. H. M. Tong, K.D. Hsuen, and K. L. Saenger, *Rev. Sci. Instrum.* 62 (1991) 422
2. P.H. Shelley, K. S. Booksh, L.W. Burgess and B. R. Kowalski, *Appl. Spectroscopy* 50 (1996) 119.
3. R. Azoulay, Y. Raffle, R. Kuszelewics, G. Le Roux, L. Dugrand and J. C. Michel, *J. Crystal Growth* 145 (1994) 61.
4. T. Farrel and J. V. Armstrong, *Appl. Surf. Science* 86 (1995) 582.
5. A. Rebey, T. Boufaden and B. El Jani, *J. Crystal Growth* 203 (1999) 12.
6. *Handbook of Thin Film Materials*, Vol 2: Characterization Spectroscopy, ed. by

Hari Singh Nalwa, Academic Press, New York, 2001.

7. R.W. Collings, *Appl. Phys. Lett.* 55 (1988) 2025.
8. C. H. Wu, *J. Appl. Phys.* 73 (1993) 2977.
9. B. Johs, C. Herzinger, J.H. Dinan, A. Cornfeld, J.D. Benson, D. Doctor, G. Olson, I. Ferguson, M. Pelczynski, P. Chow, C.H. Kuo, and S. Johnson, *Thin Solid Films* 313-4 (1998) 490.
10. M. Quintana, E. Ricra, J. Rodríguez, and W. Estrada, *Catalysis Today* 76 (2002) 141.
11. F. Paraguay, M. Miki-Yoshida, J. Morales, J. Solis, and W. Estrada, *Thin Solid Films* 373 (2000) 137.
12. F. A. Jenkins and H. E. White, *Fundamentals of Optics* (McGraw-Hill, NY, 1957).
13. C. D. Zuiker, D. M. Gruen, and A. R. Krauss, *J. Appl. Phys.* 79 (1996) 3541.
14. F. Paraguay, W. Estrada, D.R. Acosta, E. Andrade, and M. Miki-Yoshida, *Thin Solid Films* 350 (1999) 192.
15. J. Luo, X. Ying, P. Wang, and L. Chen, *Diamond Relat. Mater.* 11 (2002) 1871.
16. *Handbook of Thin Film Technology*, eds. L.I. Maisell and R. Glang, McGraw Hill, New York, 1970.
17. R. Swanepoel, *J. Phys. E: Sci. Instrum.* 16 (1983) 1214.-Diaz, J.A. Herrera-Melian, J. Perez-Peña, G. Colon, J.A. Navío, *Appl. Catal. B: Environ.* 44 (2003) 161.

II. Ingeniería Nuclear

Primera fase de la evaluación de cupones de corrosión en los cementerios de elementos combustibles (fisurados, fallados y tanque principal) en el reactor RP-10 del Centro Nuclear RACSO

Iván Babiche⁽¹⁾ cbabiche@ipen.gob.pe, Constantino León⁽¹⁾ cleon@ipen.gob.pe,
Ángel Revilla⁽¹⁾ arevilla@ipen.gob.pe

(1) IPEN, Dirección General de Instalaciones, Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

Resumen

Se presenta las actividades desarrolladas por el grupo de trabajo de corrosión relacionadas a la inmersión, monitoreo y remoción de dos racks de corrosión en su primera fase, después de un año de exposición en los cementerios de elementos combustibles fisurados, fallados y tanque principal del reactor nuclear RP-10. Para esto se evaluó la importancia de la química del agua, los sedimentos y otros contaminantes en el deterioro de los cupones de acero inoxidable 304 y de los aluminios AA1050 y AA6061 debido a la corrosión de éstos por picado, resquicio o por formación de par galvánico, permitiendo predecir el comportamiento de estos materiales para luego realizar acciones de control asegurando la integridad de la vaina de los elementos combustibles gastados durante su almacenamiento temporario en los depósitos actuales. Estos dos racks evaluados son parte de los seis racks inmersos en el agua del reactor nuclear RP-10 para su retiro a uno, dos y cuatro años de exposición.

1. Introducción

1.1. Calidad del Agua

Durante el monitoreo de la calidad del agua del tanque principal y pileta auxiliar, donde se encuentran los cementerios de los elementos combustibles fisurados, fallados y tanque principal, se tomaron muestras de agua en diferentes puntos analizando los siguientes parámetros:

Tabla 1

Parámetro	Intervalo de Trabajo
Temperatura °C	15 < °C < 45
Conductividad µS/cm	< 2.00
pH u.p.h.	5.5 < pH < 6.5
Cloruros mg/L	< 1.00
Fierro Total mg/L	< 0.05

2. Descripción General del Combustible, Elemento Combustible Normal y de Control, y Elementos Reflectores

2.1 Combustible

Tipo de Combustible	Tipo de Elemento	Enriquecimiento (%)
MTR	PLACA	19.75
Material Meat	Peso Nominal/Caja U ²³⁵ (g)	Material de la Vaina
U ₃ O ₈ -Al	SF ^[1] : 280 CF ^[2] : 210	AlMg ^[3]

[1] Standard Fuel Element

[2] Control Fuel element

[3] Mg % Peso 0.7 – 1.1 Al (99.5 %) peso restante

2.2 Elemento Combustible

Tipo de Elemento Combustible	PLACAS
Longitud nominal y dimensiones de sección del elemento (cm)	Longitud : 65.5 Sección : 6.72 x 0.176
Dimensiones Nom. del meat (cm)	61.5 x 6.275 x 0.1
Peso Nominal total del meat (g)	168.2
Forma Química del meat	U ₃ O ₈ -Al
Peso Total del U, peso del U235 (g)	U: 88.6, U ²³⁵ : 17.5 ± 0.26
Material Dispersante	Dispersión de U ₃ O ₈ en Al
Material de la Vaina	AlMg1
Espesor de la Vaina (mm)	0.38

2.3 Elemento Combustible Normal

Número de Elementos por Caja	16 Placas
Dimensiones Externas (cm)	95.73 x 8.124 x 7.62
Peso Total (g)	6790
Peso Total de U (g)	1418
Peso Total de U ²³⁵ (g)	280 ± 4.16
Enriquecimiento (%)	19.75
Placa Lateral: Material Dimensiones (cm)	02 placas laterales: AlMgSi1 ^[4] 80.5 x 8.124 x 4.5
Boquilla Final: Material Dimensiones totales (cm)	01 boquilla de fijación: AlMgSi1 cilindro: 6.15 diámetro externo, 12.5 altura, 0.535 espesor
Otras partes estructurales (tornillos, remaches): Material, cantidad y dimensiones	01 Pin de manipuleo: AlMgSi1 con 1.3 diámetro, 08 Tornillos: AlMgSi1 M6 x 10

^[4] Si % peso 0.7 – 1.3, Mg % peso 0.6 – 1.2, Al (99.5 %) peso restante

2.4 Elemento Combustible de Control

Número de Elementos por Caja	12 Placas
Dimensiones Totales (cm)	163.33 x 8.124 x 7.62
Peso Total (g)	9420
Peso Total de U (g)	1063
Peso Total de U ²³⁵ (g)	210 ± 3.12
Enriquecimiento (%)	19.75
Placa Lateral: Material Dimensiones Totales (cm)	02 placas laterales: AlMgSi1 148.2 x 8.124 x 4.5
Boquilla Final: Material Dimensiones totales (cm)	01 boquilla de fijación: AlMgSi1 cilindro: 6.15 diámetro externo, 12.5 altura, 0.535 espesor
Otras partes estructurales (tornillos, remaches, guías): Material, cantidad y dimensiones	04 guías de placas: AlMgSi1 c/levas internas superficiales 30 Tornillos: AlMgSi1 M6 x 10 04 Tornillos: AlMgSi1 M10x16

2.5 Elementos Reflectores

Elemento Reflector de Berilio (ECR): (ISO) AlSi1MgMn – (DIN) AlMgSi1 (Si 0.7 – 1.3, Fe 0.5, Cu 0.1, Mn 0.4 – 1.0, Mg 0.6 – 1.2, Cr 0.25, Zn 0.2, Ti 0.1, otros 0.15).

Elemento reflector de Grafito (ERC): (ISO) AlMgSi – (DIN) AlMgSi0.5 (Si 0.3 – 0.6, Fe 0.1 – 0.3, Cu 0.1, Mn 0.1, Mg 0.35 – 0.6, Cr 0.05, Zn 0.15, Ti 0.1, otros 0.15).

3. Inventario del Combustible Irradiado

Tipo de Combustible	Número de Cajas en Núcleo Actual	Número Promedio Gastados por año	
MTR	29	3 ^[5]	
Número de Cajas Irradiadas en Depósito de Almacenamiento		Fallados durante	
Tanque y Pileta Auxiliar	Facilidad de Almacenamiento	Operación	Mantenimiento
5 ECN y 2 ECC	Ninguna	1 ECC ^[6]	Ninguna

^[5] A partir del 2002 cuando se alcanzó la configuración de equilibrio.

^[6] Falla de ensamble mecánico, no de fisura.

4. Materiales en el Área de Almacenamiento

Lining de Pileta Auxiliar y Tanque Principal: SS 316L. Depósito o Grillas (Grid): Aluminio 99.5 IRAM 681 (Al 99.5 min., Si+Fe 0.5 max., Zn 0.1 max., Cu 0.1 max., Mg 0.05 max., Mn 0.05 max.).

5. Capacidad de Almacenamiento

De almacenamiento temporal es 136 posiciones.

5.1 Pileta Auxiliar

En el Cementerio de Elementos combustibles Fisurados, 16 posiciones, en el Cementerio de Elementos Combustibles Fallados, 96 posiciones.

5.2 Tanque Principal

En los Cementerios de Elementos Combustibles Tanque Principal N° 1 y 2, 24 posiciones. Esto hace un total de 136 posiciones para el almacenamiento temporal de los elementos combustibles.

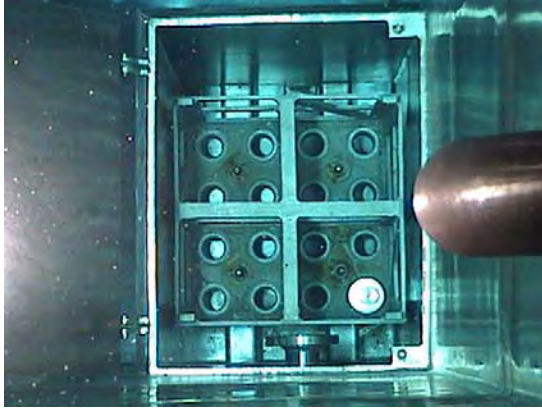
6. Racks de Corrosión

Se han colocado en la pileta auxiliar y tanque principal del reactor nuclear RP-10 seis (06) racks de corrosión cuyas ubicaciones y características se muestran a continuación. Cabe notar que los seis fueron colocados el 10-10-2002 y extraídos los racks 34 y 37 el 13 de Octubre del 2003, desensamblado cada uno, midiendo el pH a cada cupón en ambas caras, pesándolo, evaluando la superficie y las formaciones desarrolladas, luego se midió su actividad promedio, y

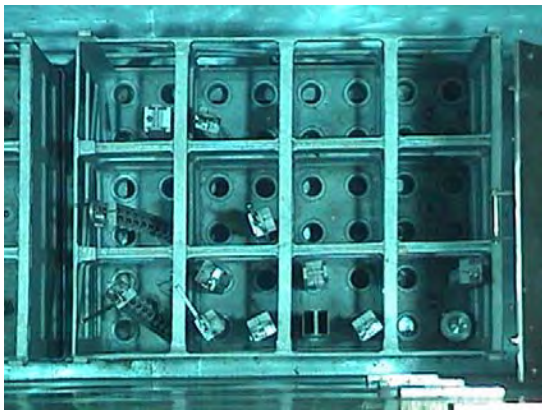
posteriormente se evaluó la morfología de las picaduras desarrolladas en cada una y en ambas caras de todos los cupones extraídos.

6.1 Ubicación de los Racks

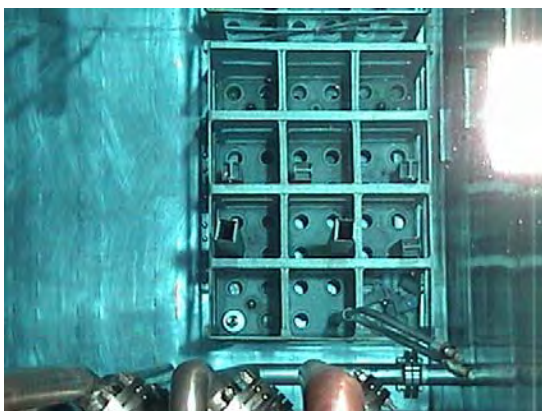
6.1.1 En la Pileta Auxiliar



Cementerio de Elementos Combustibles Fisurados RACK 32



Cementerio de Elementos Combustibles Fallados RACK 33



Cementerio de Elementos Combustibles Fallados RACK 34

6.1.2 En el Tanque Principal



Cementerio de Elementos Combustibles Tanque Principal N° 1 RACK 35

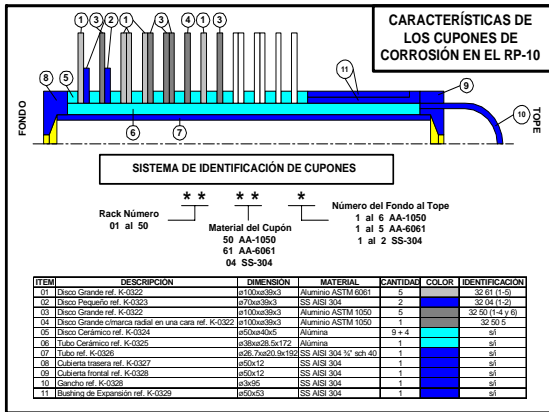


Cementerio de Elementos Combustibles Tanque Principal N° 2 RACK 36 y 37

6.2 Características y Materiales Constituidos



RACK de Corrosión y Cupones ensamblados



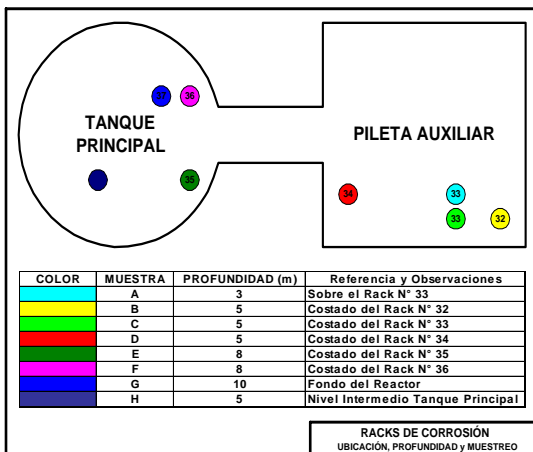
Características, especificaciones y materiales constituidos en los RACKS

La distribución de los cupones en cada uno de los racks es la siguiente a partir del tope al fondo:

Cupón Simple: Al 1050, Al 6061 y Al 1050 (con marca radial).

Cupla Formada: Al 1050 – Al 1050, Al 1050 – Al 6061, Al 6061 – Al 6061, SS 304 – Al 1050 y SS 304 – Al 6061.

7. Toma de Muestras de Agua

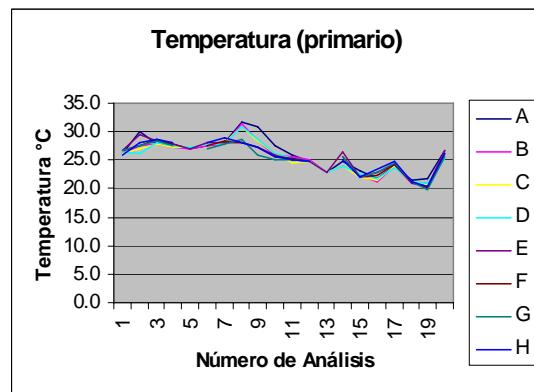
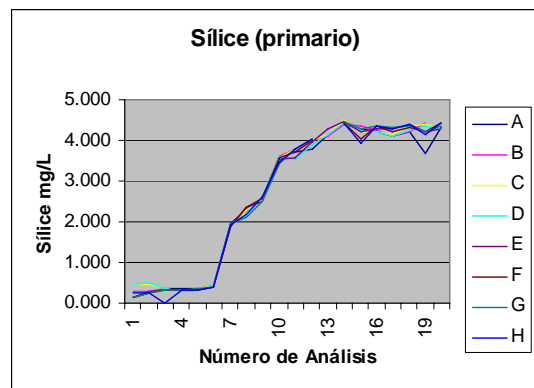
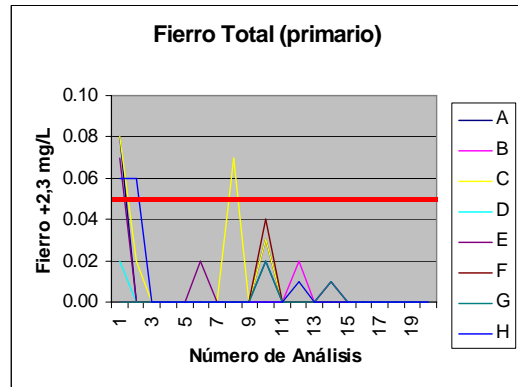
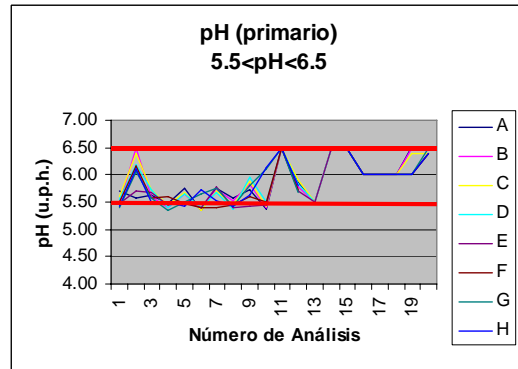


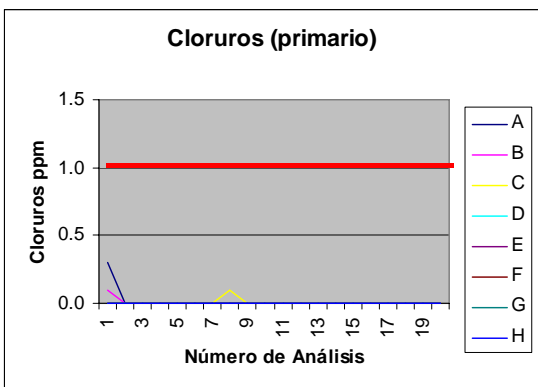
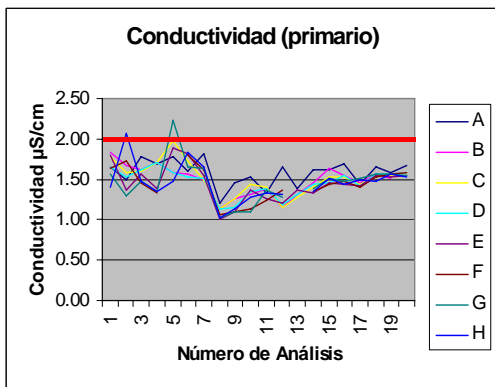
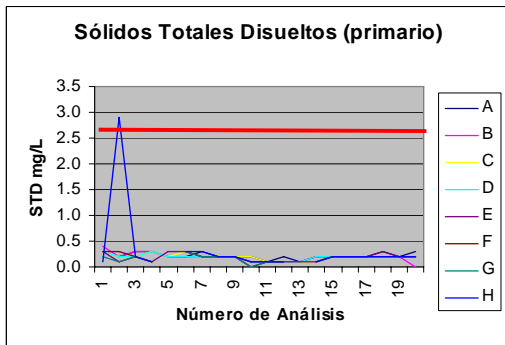
8. Calidad del Agua

Durante todo el año 2003 se realizaron los siguientes análisis fisicoquímicos: pH, temperatura, conductividad, sólidos totales disueltos, hierro total, sílice y cloruros.

9. Medición de dosis cerca de los Racks

Dosis Año 2003 (mSv/min)						
	29-Ene	18-Feb	03-Abr	10-Jul	09-Oct	Ubicación
1	0.24	12.18	0.00	0.00	0.00	Lateral Rack 32
2	0.78	931.68	0.11	40.56	1.54	Lateral Rack 33
3	1501.80	1610.40	4062.00	1306.11	1578.25	Lateral Rack 34
4	226.45	0.25	182.99	160.35	108.16	Sobre Racks 36 y 37





superficial $\alpha/\beta/\gamma$ TBM-3 y sus pHs con papel pHydrión (dip stik de 5 – 9 u.p.h.).

RACK 34			
CUPÓN CÓDIGO	Peso Inicial (g)	Peso Final (g)	Diferencia (g)
34611	54.7358	54.7524	0.0166
34041	61.4356	61.4398	0.0042
34501	53.9845	53.9988	0.0143
34042	61.2310	61.2342	0.0032
34612	54.9942	55.0311	0.0369
34613	54.9278	54.9724	0.0446
34502	53.9094	53.9558	0.0464
34614	54.8733	54.9111	0.0378
34503	51.7390	51.7833	0.0443
34504	52.8031	52.8455	0.0424
34505	52.6287	52.6388	0.0101
34615	54.9767	54.9947	0.0180
34506	54.5293	54.5480	0.0187

RACK 37			
CUPÓN CÓDIGO	Peso Inicial (g)	Peso Final (g)	Diferencia (g)
37611	54.7369	54.7512	0.0143
37041	62.7764	62.7764	0.0000
37501	54.5353	54.5494	0.0141
37042	62.2749	62.2783	0.0034
37612	55.0680	55.1192	0.0512
37613	55.1399	55.2115	0.0716
37502	53.7955	53.8781	0.0826
37614	54.9011	55.0090	0.1079
37503	53.9211	53.9895	0.0684
37504	53.3044	53.3474	0.0430
37505	51.7992	51.8007	0.0015
37615	54.7866	54.8912	0.1046
37506	53.4090	53.4600	0.0510

10. Remoción de Racks de Corrosión

El 13 de Octubre del 2003 fueron extraídos los racks 34 y 37, de la pileta auxiliar y del tanque principal del reactor nuclear RP-10 obteniéndose los siguientes resultados en cuanto a la variación en peso de los cupones, la contaminación promedio en ambas caras de cada uno de los cupones así como sus pHs. El peso de los cupones fue medido con una aproximación a la décima de mg con una balanza analítica, su contaminación superficial fue medida en cuentas por minuto (CPM) con un monitor de contaminación

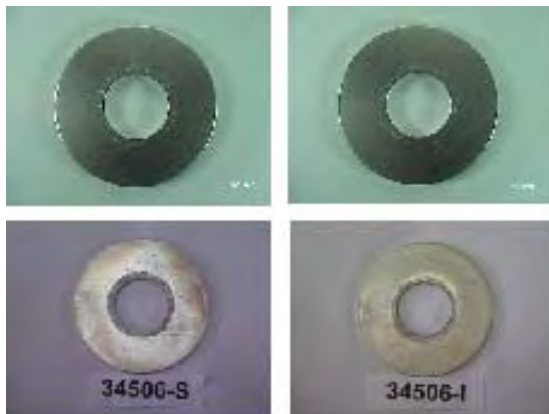
pH (u.p.h)				
Cupón Código	Rack 34		Rack 37	
	Anverso	Reverso	Anverso	Reverso
34/7611	6.0	6.0	6.0	6.0
34/7041	6.0	6.0	6.0	6.0
34/7501	6.0	6.0	6.0	6.0
34/7042	6.0	6.0	6.0	6.0
34/7612	6.5	6.0	6.5	6.0
34/7613	6.0	6.5	6.0	6.5
34/7502	6.0	6.0	6.0	6.0
34/7614	6.0	6.0	6.0	6.0
34/7503	6.0	6.0	6.0	6.0
34/7504	6.0	6.0	6.0	6.0
34/7505	6.0	6.0	6.0	6.0
34/7615	6.0	6.0	6.0	6.0
34/7506	6.0	6.0	6.0	6.0

Actividad de Cupones (CPM) ^[7]				
Cupón Código	Rack 34		Rack 37	
	Anverso	Reverso	Anverso	Reverso
34/7611	100	120	215	533
34/7041	25	15	58	18
34/7501	90	100	223	275
34/7042	35	25	60	45
34/7612	36	110	77	1370
34/7613	85	16	1308	44
34/7502	20	120	17	1020
34/7614	85	25	1433	68
34/7503	25	125	37	1033
34/7504	118	28	783	17
34/7505	287	323	1108	933
34/7615	75	81	1320	1383
34/7506	175	135	552	833

^[7] Fondo 30 CPM

11. Visualización de Cupones

11.1 Rack 34

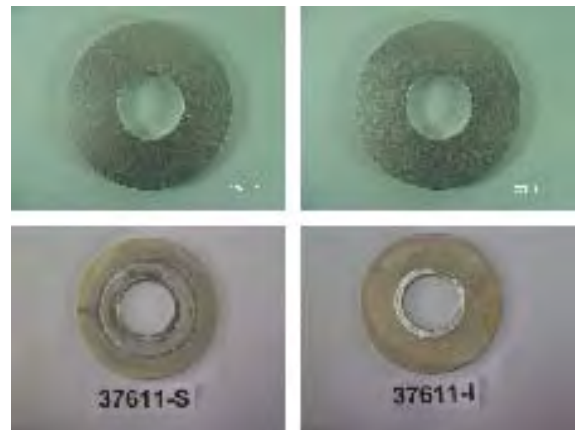


Cupones de Corrosión antes y después de la inmersión de la aleación AA 1050 de su anverso (S) y su reverso (I), en cupla con SS 304

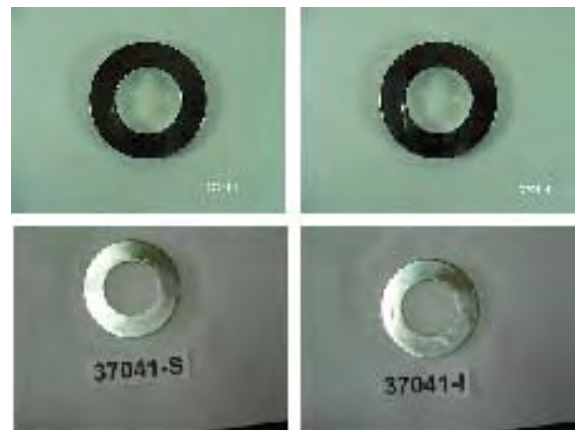


Cupones de Corrosión antes y después de la inmersión de la aleación SS 304 de su anverso (S) y su reverso (I), con cupla con AA 1050

11.2 Rack 37



Cupones de Corrosión antes y después de la inmersión de la aleación AA 6061 de su anverso (S) y su reverso (I), con cupla con SS 304



Cupones de Corrosión antes y después de la inmersión de la aleación SS 304 de su anverso (S) y su reverso (I), con cupla con AA 6061

12. Evaluación de pits con analizador de Imágenes

Se determinaron los tamaños máximos y mínimos de sus diámetros, así como también sus promedios, de todos los pits encontrados en cada uno de los cupones evaluados de los racks 34 y 37. En las siguientes tablas se muestran los resultados obtenidos.

RACK 34 (diámetro de pit en μm)						
Cupón	Tipo	Aleación Código	Lado	Máximo	Mínimo	Promedio
1	S	AA 1050 34506	A	261	37	66.7
			R	120	42	66.6
2	S	AA 6061 34615	A	140	41	70.5
			R	190	39	67.7
3	S	AA 1050 34505	A			No Pit
			R			No Pit
4	C	AA 1050 34504	A	116	50	68.5
			R			No Pit
5	C	AA 1050 34503	A			No Pit
			R	184	39	71.1
6	C	AA 1050 34502	A			No Pit
			R			No Pit
7	C	AA 6061 34614	A			No Pit
			R			No Pit
8	C	AA 6061 34613	A			No Pit
			R			No Pit
9	C	AA 6061 34612	A			No Pit
			R			No Pit
10	C	AISI 304 34042	A			No Pit
			R			No Pit
11	C	AA 1050 34501	A			No Pit
			R			No Pit
12	C	AISI 304 34041	A			No Pit
			R			No Pit
13	C	AA 6061 34611	A	3000	1000	1400
			R			No Pit

RACK 37 (diámetro de pit en μm)						
Cupón	Tipo	Aleación Código	Lado	Máximo	Mínimo	Promedio
1	S	AA 1050 37506	A	319	42	75.7
			R	260	42	80.8
2	S	AA 6061 37615	A			No Pit
			R			No Pit
3	S	AA 1050 37505	A			No Pit
			R			No Pit
4	C	AA 1050 37504	A			No Pit
			R			No Pit
5	C	AA 1050 37503	A			No Pit
			R			No Pit
6	C	AA 1050 37502	A			No Pit
			R			No Pit
7	C	AA 6061 37614	A			No Pit
			R			No Pit
8	C	AA 6061 37613	A			No Pit
			R			No Pit
9	C	AA 6061 37612	A			No Pit
			R			No Pit
10	C	AISI 304 37042	A			No Pit
			R			No Pit
11	C	AA 1050 37501	A			No Pit
			R			No Pit
12	C	AISI 304 37041	A			No Pit
			R			No Pit
13	C	AA 6061 37611	A			No Pit
			R			No Pit

13. Conclusiones

- Las zonas con circulación de agua minimizan los efectos de la corrosión sobre la superficie de los cupones de Aluminio. El rack 37 estuvo expuesto en una zona con circulación de agua y el rack 34 en una zona sin circulación.
- Siempre se ha repuesto agua desmineralizada al tanque principal y pileta auxiliar con una calidad superior ($0.05 \mu\text{S/cm}$)
- Los depósitos y sedimentos sobre los cupones de aluminio son la causa del inicio del pitting.
- El principal condición para almacenar combustible gastado por largo tiempo es mantener la calidad del agua en un nivel óptimo.
- Especial atención se deberá tener a las partículas que caen sobre los cupones de aluminio, especialmente aquellas que contienen hierro.
- El uso de componentes de acero o de actividades cercanas a la vecindad de los contenedores que promuevan la caída de partículas deberán ser evitadas.
- La corrosión por picadura fue la principal forma de corrosión.
- La reducción en conductividad y en el contenido de cloruros en el agua de los contenedores es esencial para mantener bajas tasas de corrosión.
- La aleación de aluminio 6061 es mas resistente al picado que la aleación 1050.
- La corrosión en resquicios no fue necesariamente acompañada con picado en las superficies de aluminio dentro de los resquicios.
- La corrosión galvánica de las aleaciones de aluminio 6061 acopladas con acero inoxidable 304 fueron más severas que las cuplas de aleación de aluminio 1050 con acero inoxidable 304.
- El programa de monitoreo implementado es capaz de detectar situaciones que afectarían al combustible almacenado debido a la corrosión de sus materiales metálicos.
- A pesar de la buena calidad del agua del contenedor, las aleaciones de aluminio por sí solas o formando cuplas entre ellas o con acero inoxidable siempre sufren algún tipo de corrosión.
- En general la extensión de la corrosión varió del siguiente modo: AA 6061 > AA1050; parte superior del cupón > parte inferior del cupón; cuplas de metales > cupones individuales

Bibliografía

1. IAEA, Corrosion of Research Reactor Aluminum Clad Spent Fuel in Water, Technical Reports series N° 418 (2003).
2. Pierre R. Roberge, Handbook of Corrosion Engineering. McGraw-Hill.
3. Uhlig, H., Corrosion and Control Corrosion, 2nd Ed., John Wiley & Sons, (1971).
4. Babiche, I., Criterios para la Protección contra la Corrosión en los Elementos Combustibles Gastados en el Almacenamiento Húmedo Provisional en el Centro Nuclear "RACSO".
5. Davis, J.R., Specialty Handbook. Aluminum and Aluminum Alloys ASM International. 2nd ed., Introduction to Aluminum and Aluminum Alloys, Vol. 1 Davis, Davis & Associates (1994).
6. Workshop on Characterization, Management and Storage of Spent Fuel from Research and Test Reactors [IAEA Project RER/9/058 in Swierk, Poland, 8-12 May 2000).

Optimización del flujo de neutrones en las facilidades de irradiación del reactor nuclear RP-10

Mariano Vela⁽¹⁾ mvela@ipen.gob.pe; Rolando Arrieta⁽¹⁾ rarrieta@ipen.gob.pe; Alberto Salazar⁽¹⁾; Agustín Urcia⁽¹⁾; Dionisio Canaza⁽¹⁾; José Félix⁽¹⁾; Emilio Veramendi⁽¹⁾; Edgar Ovalle⁽¹⁾; Roberto Giol⁽¹⁾; Luis Zapata⁽¹⁾; Fernando Ramos⁽¹⁾; Juvenal Tordocillo⁽¹⁾

(1) IPEN, Dirección de Reactores, Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

Resumen

Se presentan los valores de flujo de neutrones en las facilidades del reactor nuclear RP-10. La medición se realizó para dos diferentes configuraciones de barras de control y seguridad en el núcleo N° 26. Los resultados confirman un incremento en el flujo de neutrones, tanto térmico como epitérmico. Estos resultados tienen consistencia con los reportes semanales de actividad de radioisótopos entregados a la Planta de Producción de Radioisótopos y muestras irradiadas para análisis por activación neutrónica.

1. Introducción

A fin de obtener mayor flujo de neutrones en las diversas facilidades de irradiación para cierta potencia de operación del reactor RP-10, se buscó una configuración conveniente de la posición de las barras de seguridad y control; esa configuración tendrá que ser aquella con el menor efecto absorbente de las barras en las vecindades de la posición de la irradiación.

Como la mayor carga las blancos de ¹³⁰Te y de ⁹⁸Mo se hace en las posiciones de irradiación E5, H4 y B4, se propuso utilizar como barras de control D3 y F3 (configuración N° 1); mientras que para trabajos de análisis por activación neutrónica las posiciones de mayor uso son: C1, G1 A9 y el sistema neumático A1; razón por la cual se propuso utilizar como barras de control D6 y F3 (configuración N° 2).

Antes de poner en práctica las asunciones sobre el efecto de las configuraciones propuestas se determinó experimentalmente los valores de flujo de neutrones en las posiciones de irradiación para confirmar los resultados.

2. Método Experimental

El método para medir flujo de neutrones se basa en la irradiación de monitores de flujo (hojuelas de ¹⁹⁷Au) colocado en las facilidades de irradiación de interés, seguido de la medición de la actividad absoluta en un sistema de espectrometría gamma y aplicando el formalismo de Westcott se determina los valores de flujo de neutrones.

Para determinar el flujo de neutrones térmico y epitérmico se irradió dos hojuelas de oro (¹⁹⁷Au, de 8 mg) en cada posición de interés del núcleo, una hojuela desnuda y otra en un cobertor de cadmio de 1.0 mm de espesor.

Para la medición de la actividad de las hojuelas se usó un detector de GeHP asociado a un sistema de espectrometría gamma con tarjeta multicanal S100 y un software de procesamiento de datos GENIUS 2000. Los datos fueron tratados usando un procesador matemático Mathcad 2000 donde se elaboró el formalismo de Westcott y las ecuaciones de activación neutrónica.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	NT RAB	NG	PI	NG 004	NG 027	NG 012	PI	NG 011		
2	NG 005	NB 001	NN 028	NN 024	NN 020	NN 025	NN 029	NB 002	NG	
3	NG	NB 003	NN 006	NC 0%	NN 001	NC 48%	NN 027	NB 004	NG	CF 00 3
4	NG 007	PI	NN 008	NN 015	NN 009	NN 010	NN 017	PI	NG 009	
5	NG 006	NB 009	NN 011	NN 016	PI	NN 012	NN 021	NB 010	NG 014	
6	NG	NB 005	NN 022	NC 100%	NN 019	NC 100%	NN 026	NB 006	NG	
7	NG	NB 007	NN 023	NN 013	NC 100%	NN 005	NN 030	NB 008	NG	
8	NG	NG 010	NG 008	NG	NG 028	PI	BCF 50%	NG 023	NG	
9	PI	NG	NG		NG	NG	NG	NG	PI	
10								CF 001		

Figura 1. Configuración N° 1 del núcleo N° 26 del RP-10 para producción de radioisótopos.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	NT RAB	NG	PI	NG 004	NG 027	NG 012	PI	NG 011		
2	NG 005	NB 001	NN 028	NN 024	NN 020	NN 025	NN 029	NB 002	NG	
3	NG	NB 003	NN 006	NC 100%	NN 001	NC 100%	NN 027	NB 004	NG	CF 003
4	NG 007	PI	NN 008	NN 015	NN 009	NN 010	NN 017	PI	NG 009	
5	NG 006	NB 009	NN 011	NN 016	PI	NN 012	NN 021	NB 010	NG 014	
6	NG	NB 005	NN 022	NC 0%	NN 019	NC 43%	NN 026	NB 006	NG	
7	NG	NB 007	NN 023	NN 013	NC 100%	NN 005	NN 030	NB 008	NG	
8	NG	NG 010	NG 008	NG	NG 028	PI	BCF 50%	NG 023	NG	
9	PI	NG	NG		NG	NG	NG	NG	PI	
10								CF 001		

Figura 2. Configuración N° 2 del núcleo N° 26 del RP-10 para irradiaciones análisis por activación neutrónica.

Leyenda:

NN: elemento combustible normal, NC: elemento combustible de control, PI: posición de irradiación, NG: elemento de grafito, NB: elemento de berilio, NT: tubo neumático, CF: cámara de fisión.

3. Resultados

En las siguientes figuras se muestra la distribución de flujo de neutrones térmico y epitérmicos en las cajas de irradiación C1 y G1 respectivamente, determinado para ambas configuraciones.

Para las cajas de irradiación B4, E5 y H4 la distribución de flujo presenta similar comportamiento mientras que en la posición de irradiación A9, no se observa cambio alguno, esto explica que el efecto absorbente de las barras de control es de acción cercana a ellas.

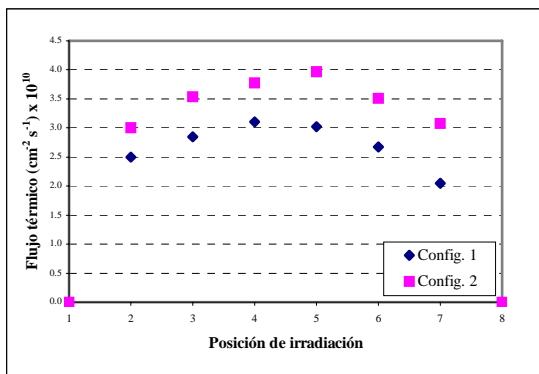


Figura 3. Distribución de flujo térmico en la caja de irradiación C1.

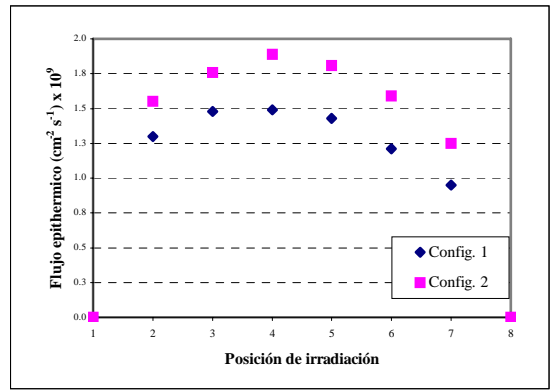


Figura 4. Distribución de flujo epitérmico en la caja de irradiación G1.

4. Discusión

Los resultados confirman un aumento significativo de flujo de neutrones tanto térmico como epitérmico alrededor de 25 % para la configuración N° 1 y 30 % para la configuración N° 2.

Estos resultados son consistentes con los reportes semanales de actividad de los radioisótopos entregados a la planta de producción de radioisótopos y muestras irradiadas para análisis por activación neutrónica.

5. Conclusión

Los resultados nos conllevan a conocer mejor el comportamiento del flujo de neutrones para cierta configuración de las barras de control y seguridad; optimizando de este modo los tiempos de irradiación para una determinada potencia de operación y consecuentemente un ahorro de energía.

Bibliografía

1. Erdtmann, G.; Neutron activation tables. Kernchemie in Einzeldarstellungen, Vol. 6, 1976.
2. IAEA; Handbook on nuclear activation data. Technical Report Series N° 273, Vienna, 1987.
3. Planta de Producción de Radioisótopos del IPEN, Reporte de la Actividad de Lotes de ¹³¹I y ⁹⁹Mo.

Distribución de flujos de neutrones térmicos, epitérmicos y rápidos en la columna térmica del reactor RP-10

Claudia Aparicio⁽¹⁾ claphys@gmail.com; José Gómez⁽¹⁾ jjqb76@yahoo.com; Héctor Miranda⁽¹⁾ hmc Miranda@hotmail.com; Gerardo Lázaro⁽¹⁾ glazaro@ipen.gob.pe

(1) IPEN, Cálculo Análisis y Seguridad (CASE), Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

Resumen

Con la finalidad de conocer la distribución del flujo neutrónico a lo largo de la columna térmica del reactor RP-10, se ha medido experimentalmente los componentes de dicho flujo (térmico, epitérmico, rápido) utilizando la técnica de activación de hojuelas (oro y níquel). Los valores de flujos térmicos y epitérmicos se obtuvieron utilizando el formalismo de Westcott. Los valores de flujo neutrónico total varían de 1.46×10^8 n/cm²s hasta 1.29×10^4 n/cm²s en una longitud de 188 cm en el conducto exterior de la columna térmica.

1. Introducción

De los métodos existentes para la medición de flujos neutrónicos el de uso más extendido es el activación de hojuelas [1, 2, 3]; la cual aprovecha la propiedad de algunos elementos de poder activarse mediante reacciones nucleares de captura neutrónica (n, γ) para de este modo poder obtener un espectro de energía del elemento activado y con el área del fotopico más representativo y los formulismos adecuados calcular las componentes del flujo neutrónico [4, 5, 6].

La columna térmica es una de las facilidades de irradiación del RP-10, para la cual el conocimiento de los flujos neutrónicos es parte de su completa caracterización.

Las reacciones nucleares utilizadas para detectar los flujos neutrónicos son:

Térmico y epitérmico: $^{197}\text{Au}(n,\gamma)^{198}\text{Au}$
Rápido: $^{58}\text{Ni}(n,p)^{57}\text{Co}$

Esta diferenciación de energías en estas tres regiones se debe a las diferentes secciones eficaces de éstos materiales (Fig.1), además de la separación de la región epitérmica cubriendo el monitor de oro con Cadmio (Cd) cuya energía de corte es 0.52 eV, es decir absorbe neutrones cuya energía esté por debajo de la mencionada.

Se suele cubrir los monitores de níquel con Cd para evitar las reacciones de captura que se produzcan con los neutrones térmicos, aunque la activación producida corresponde a bajas energías.

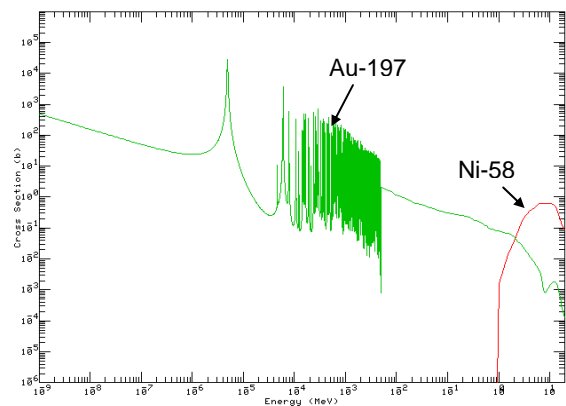


Figura 1. Secciones eficaces para el Au-197 y el Ni-58.

2. Método Experimental

Se utilizaron hojuelas de Au-197 con y sin cobertores de cadmio como monitores de flujo de neutrones térmicos y epitérmicos, y hojuelas de Ni-58 cubiertas con cadmio como monitores de flujo rápido a lo largo de la columna térmica tomando como referencia la parte exterior al tanque del reactor. Ésta disposición se muestra en la figura 2. El tiempo de irradiación fue de 9 horas a una corriente de 0.28×10^{-4} A (10 MW). Para la medición de las actividades gamma inducidas por las reacciones con los neutrones, se utilizó una cadena de espectrometría gamma asociada a una computadora con tarjeta multicanal (Genie) y a un detector de centelleo NaI (Bicron). Para el cálculo de los flujos térmico y epitérmico se utilizó el formalismo de Westcott y para el

cálculo de flujo rápido se utilizó la formulación descrita en TRS-107 [1].

$$R^2 = 0.9544$$

Finalmente se obtiene que el porcentaje de flujo térmico promedio en la columna térmica es de $(97.2 \pm 2.0)\%$

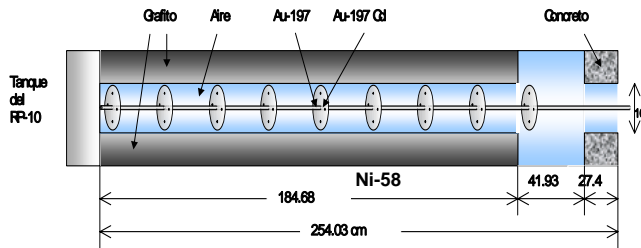


Figura 2. Arreglo experimental para la medición de flujos neutrónicos.

3. Resultados

El flujo neutrónico total (sumatoria de las tres componentes del flujo neutrónico) varía de 1.46×10^8 n/cm²s hasta 1.29×10^4 n/cm²s al inicio y final de la columna térmica, respectivamente.

En la figura 3, se observa la tendencia exponencial de estos flujos; notándose que la mayor contribución esta dada por el flujo térmico, el cual representa el 94.6% del flujo total a lo largo de la columna térmica.

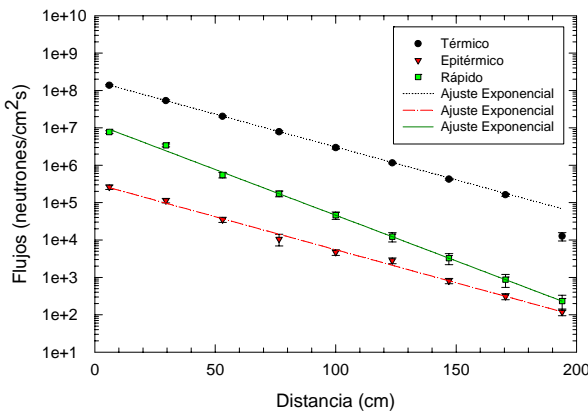


Figura 3. Distribución de los flujos neutrónicos a lo largo de la columna térmica a 10 MW.

Dado que no se pudo obtener valores de flujos neutrónicos epitérmico y rápido en las posiciones más alejadas del núcleo del reactor al interior de la columna térmica se realizó un ajuste de datos para obtener los valores restantes. Los datos fueron ajustados a una función exponencial del tipo $a \cdot \text{EXP}(-b \cdot x)$, tal como se indica:

Flujo epitérmico: $a = 3,20E+05 \pm 2,18E+04$
 $b = 0,0407 \pm 0,0010$
 $R^2 = 0,9859$

Flujo rápido: $a = 1,28E+07 \pm 7,21E+05$
 $b = 0,0563 \pm 0,0022$

4. Discusión

De la figura 3, se observa que la mayor contribución es de flujo térmico, mientras que el flujo epitérmico difícilmente llega al 1%. Se observa también que el flujo rápido en un inicio tiene alrededor del 5% del flujo total, pero a la salida de la columna térmica éste disminuye hasta menos del 2% lo que indica que los neutrones rápidos por interacciones con el material adyacentes a la columna térmica (grafito) pierde energía e incrementa el porcentaje de neutrones epitérmicos y a su vez éste se termaliza, por lo que la variación de flujo epitérmico es mínima.

5. Conclusiones

En la cavidad exterior de la columna térmica, también existe flujo epitérmico y rápido además del térmico. De los cuales la mayor componente es el flujo de neutrones térmicos. Estos flujos como era de esperarse siguen una distribución exponencial a lo largo de la columna térmica. El conocer las distribuciones de flujo en el interior de la columna térmica permitirá darle usos específicos a ésta facilidad, tal como dosimetría biológica.

Bibliografía

1. International Atomic Energy Agency (IAEA). Neutron and Fluence Measurements. Technical Report Series N° 107, Viena – Austria, 1970.
2. K. Igor, N. Waldemar, S. Ewald, Nuclear Energy in Central Europe 99, Slovenia: Determination of the neutron flux characteristics and personal dose equivalent in the Thermal Column of the SAR Graz, 1999.
3. R. Paucar, O. Avalo, G. Lázaro, IPEN, Medición de neutrones y fotones en la cavidad central de la Columna Térmica. 1998.

4. A. Travesí. Análisis por Activación Neutrónica. JEN. Madrid, 1976.
5. C. Westcott, W. Walker and T. Alexander. Effective Cross Sections and Cadmium Ratios for the Neutron Spectra of Thermal Reactors. International Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy N° 201-25. Tomo V. 1958.
6. K. Beckurts and K. Wirtz. Neutron Physics. Springer Verlag, Berlin, 1964.

Espectrometría de neutrones por tiempo de vuelo en el conducto de irradiación 4 del reactor RP-10 para su adecuación a una facilidad de difracción de neutrones

Oscar Baltuano⁽¹⁾ obaltuano@ipen.gob.pe; Marco Munive⁽¹⁾ mmunive@ipen.gob.pe

(1) IPEN, Departamento de Física, Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

Resumen

Se presentan los resultados de la determinación de la distribución espectral de energías de los neutrones que se obtienen en el conducto de irradiación 4 del RP-10. Los resultados obtenidos son correlacionados con la potencia térmica de operación del reactor y dos diferentes configuraciones de barras de control para analizar su influencia en el espectro neutrónico. Estos resultados son importantes para determinar el ancho de banda espectral y su influencia en los patrones de difracción que serán obtenidos luego de adecuar la facilidad como un difractor de neutrones por tiempo de vuelo (TOF).

1. Introducción

En un reactor nuclear la potencia térmica de funcionamiento esta directamente relacionado con el flujo de neutrones que se pueda producir, así mismo con el espectro neutrónico de dicha producción, por ello cuando se menciona diferentes potencias de trabajo se tendría diferente espectro energético de neutrones y flujo de neutrones. Considerando que por cada configuración del núcleo del reactor la población de neutrones varía, refiriéndonos a configuración a las diferentes distribuciones de barras de control y medios moderadores en la matriz del núcleo del reactor RP-10.

2. Método Experimental

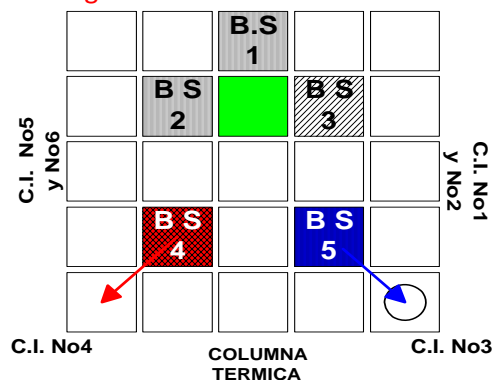
Para determinar y registrar los diferentes espectros energéticos para cada potencia del reactor y para determinadas configuraciones, se medirá el espectro por la técnica de tiempo de vuelo en el conducto de irradiación 4 o facilidad de neutrografía del Reactor Nuclear RP-10, con potencia térmica nominal de 10 MW; en el mencionado conducto se cuenta con un cuyo flujo de neutrones a la máxima potencia del reactor de $XX \times 10^8 \text{ ns}^{-1} \text{ cm}^{-2}$, El espectrómetro de neutrones en este trabajo consta de un obturador móvil, el cual llamaremos chopper, el cual posee dos ranura que harían de compuerta para el acceso de neutrones, el chopper gira a una velocidad de 1100 RPM, produciendo pulsos neutrónicos con un periodo de 26 ms. El detector usado es un BF3, el cual esta

colocado a 2.8 m del generador de pulsos o chopper., la colección de espectros con un sistema MCS el cual se detalla en 512 canales con un ancho por canal de 20 μs .

Se procedió a coleccionar diferentes espectros en tiempos establecidos siendo las potencias térmica del reactor de 0.35, 0.5, 1.0, 2.0, 3.5, 4.0, 5.0, 7.0 MW.

Además se colecta los espectros de neutrones según dos configuraciones del núcleo del reactor, a la cual llamaremos Configuración A y B., siendo la primera la que determina que la población neutrónica se dirige hacia la facilidad de análisis por activación neutrónica, y la configuración B cuando la población se dirige hacia el conducto de irradiación No 4.

Configuración A: B.S. 1 2 5 Levantadas
Configuración B: B.S. 1 2 4 Levantadas



C.I. Conducto de Irradiación
B.S. Barra de seguridad

Figura 1. Configuraciones del núcleo del reactor, las flechas indican la dirección de la población neutrónica para cada configuración.

Los espectros colectados medirá la fluencia de neutrones en función de su tiempo de vuelo, el cual será registrado por el MCS en canales, una vez conocida el tiempo de vuelo se puede transformar el espectro en energía.

3. Resultados

Los resultados obtenidos se dividen en dos grupos, se detallan los espectros obtenidos en la configuración A para diferentes potencia y el segundo grupo de datos colectados será la comparación de espectros obtenidos en ambas configuraciones (A,B) para una potencia térmica de 0.35 MW.

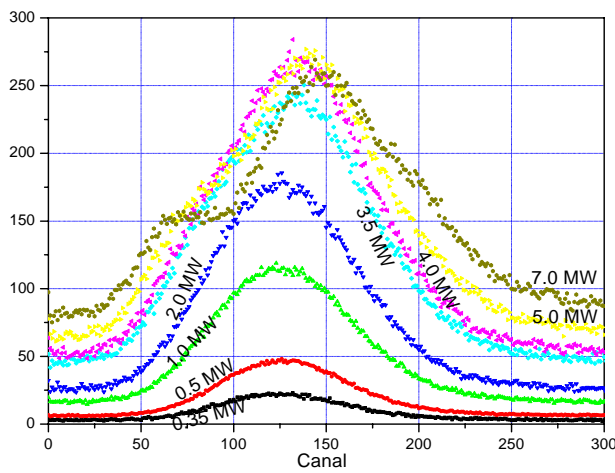


Figura 2. Espectros colectados diversos valores de potencia térmica y medidos con la configuración A.

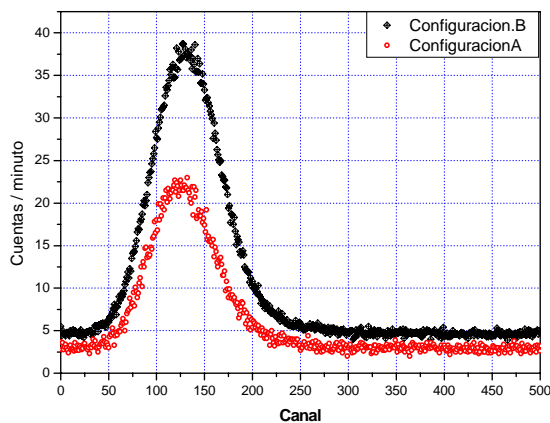


Figura 3. Espectros recolectados a las dos diferentes configuraciones, a potencia de 0.350 MW.

4. Discusión

La variación de flujo neutrónico emergente del conducto de irradiación No4 en relación a la potencia térmica del reactor podría quedar representada bajo la siguiente ecuación de segundo orden

$$I = -3371.2 + 19728.6 \cdot P - 1517.9 \cdot P^2$$

Donde I es intensidad ($n \cdot s^{-1}$) y P es potencia térmica (MW). Figura 3.

Para los espectros recolectados en potencia de 5 y 7 MW se aprecia una contribución más pronunciado en neutrones epitérmicos esto ya que en ambos espectros se detalla una región plana.

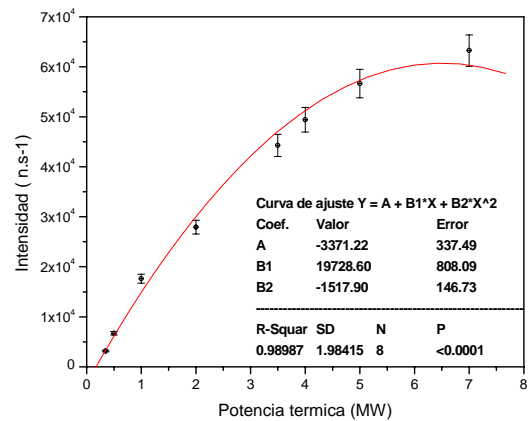


Figura 4. Variación de Intensidad en el haz de neutrones térmicos según potencia térmica del reactor, bajo la configuración A.

En relación a las dos configuraciones se aprecia que la intensidad de neutrones para la configuración B es casi 80 % mayor a la configuración A, o cual determina que debido a la distribución conveniente de barras de control se lograra direccionar la población neutrónica según sea la necesidad.

5. Conclusiones

Se logró determinar la variación de espectro neutrónica en función de la potencia térmica del reactor, y verificar la variación del mismo según la ubicación de barras de control en el núcleo, todo ello para mejorar la determinación de ancho espectral apropiado para una facilidad del difractor por tiempo de vuelo.

Bibliografía

1. Munive M., Baltuano O., Soto C. Ravello Y. First records of thermal neutrons with the spectrometer for time of flight (TOF) in the RP-10 nuclear reactor. Nucleotécnica No. 36 diciembre 2002, pag.111-116.

Diseño del difractómetro de neutrones – Amauta

Yuri Ravello⁽¹⁾ yavello@ipen.gob.pe

(1) IPEN, Oficina Técnica de la Autoridad Nacional, Justo Vigil 456, Lima 17, Perú

Resumen

Se ha preparado el diseño de un difractómetro de neutrones para muestras tipo polvo, al cual se le ha denominado AMAUTA. Este difractómetro del tipo doble eje, se instalará en la sala experimental del reactor nuclear peruano de investigación RP-10. La resolución determinada por simulación será de $\Delta d/d = 10^{-2}$.

1. Introducción

El Centro Nuclear RACSO cuenta con un reactor nuclear de investigación, RP-10, de 10 MW de potencia térmica. Este reactor cuenta con seis haces de neutrones, de los cuales cuatro son del tipo radial y dos del tipo tangencial.

Con el fin de optimizar la infraestructura existente, el IPEN se ha embarcado en la implementación de un difractómetro de neutrones del tipo doble eje, para muestras en polvo, al cual se le ha bautizado con el nombre de AMAUTA, que en quechua significa maestro.

El difractómetro AMAUTA servirá para complementar los servicios de análisis de materiales con otras técnicas, tales como, difractómetros de rayos X, microscopios de electrones, entre otros.

A continuación se describe el diseño básico del difractómetro de neutrones.

2. Diseño Base

Los ejes del difractómetro AMAUTA son: el primer eje corresponde al cristal monocromador y el segundo eje a la muestra. El diseño base será un símil del difractómetro de neutrones de doble eje instalado en el reactor nuclear de investigación de la Universidad de Missouri en los Estados Unidos de Norteamérica¹.

Las características principales que tendrá el difractómetro de neutrones son: un cristal monocromador de silicio focalizado en los ejes vertical y horizontal, muestras de diámetro pequeño (menor a 1 cm), y el sistema de detección conformado con detectores sensible a la posición.

El cristal monocromador será construido a base de pequeños cristales de silicio, los cuales serán deformados mecánicamente para poder focalizar a los neutrones, siendo los planos de reflexión de (331) y (511).

Las ventajas de este diseño², son: no requiere el uso de colimadores tipo Soller, con lo cual la intensidad en la muestra será máxima, y a pesar de ser delgada la muestra, no se pierde en intensidad. Este diseño es ideal para reactores de baja potencia, como lo es el reactor RP-10.

El sistema de detección de neutrones más adecuado, desde el punto de vista económico, será en base a detectores lineales sensibles a la posición, arreglados convenientemente para obtener una mejor eficiencia.

3. Simulación

Para el diseño se ha empleado el programa IDEAS-Instrument Design and Experiment Assessment Suit³, programa desarrollado por el Laboratorio Nacional de Oak Ridge, en los Estados Unidos de Norteamérica.

Los resultados de la simulación se pueden apreciar en las figuras mostradas. En la figura 1 podemos apreciar la ventaja del monocromador curvado con respecto del plano, en lo que se refiere a la intensidad de neutrones, la ganancia es de aproximadamente el doble.

En la figura 2 podemos apreciar como varía la resolución en función de la curvatura del cristal monocromador. Aunque la resolución del cristal doblemente curvado es ancha, este fue obtenido para un espectro constante en longitud de onda, por lo que para un espectro real, el ancho será menor.

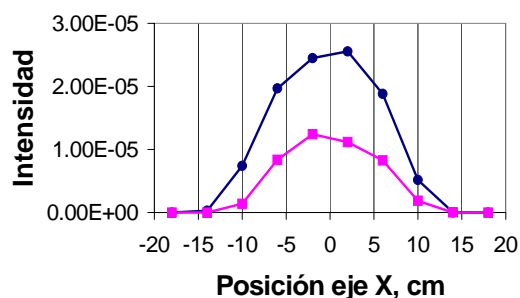


Figura 1. La curva inferior muestra la intensidad producida por un cristal monocromador plano, y la curva superior, para un cristal monocromador doblemente curvado.

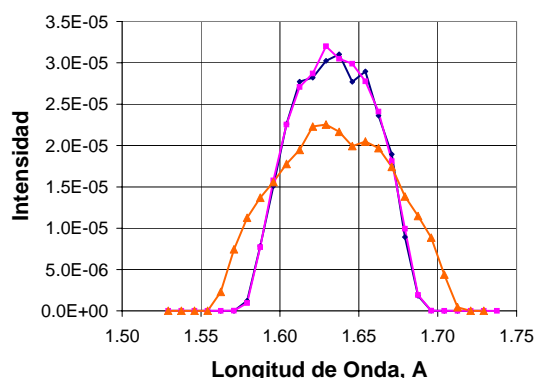


Figura 2. Resolución en longitud de onda en la posición de la muestra en función de la curvatura del cristal. La curva más ancha corresponde a un cristal doblemente curvado, mientras que las otras corresponden a un cristal plano y a un cristal curvado verticalmente.

En la figura 3 podemos apreciar la resolución angular producida por una muestra arbitraria.

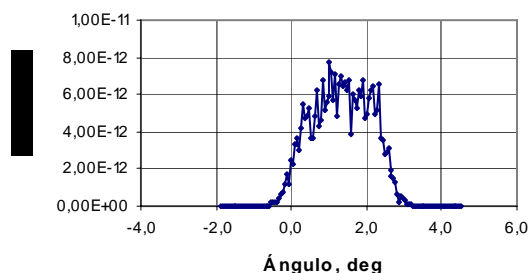


Figura 3. Resolución angular para un plano de dispersión $d=1,00$ Å.

En la figura 4 podemos apreciar la resolución en longitud de onda, donde se deduce que la resolución relativa del instrumento es del orden de 10^{-2} .

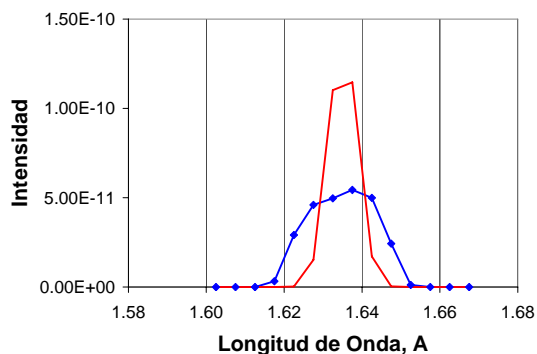


Figura 4. Resolución en longitud de onda para una $d = 1,00$ Å. El ajuste a una gaussiana, línea roja, muestra que el FWHM es aproximadamente $0,01$ Å.

Los resultados en la simulación tienen una incertidumbre relativa del orden del 20%.

4. Discusión

Aunque la resolución obtenida de 10^{-2} está por debajo de la resolución estándar de 10^{-3} para difractómetros de alta resolución, con esta resolución es posible analizar diversos tipos de muestras, no muy complejas. Además, el tiempo para obtener los espectros sería del orden de unas pocas horas.

Finalmente, queda para un estudio posterior, como reducir la resolución por medio de otros dispositivos adicionales, tal como un colimador radial.

5. Conclusiones

Los resultados obtenidos nos demuestran que no es un sueño pensar en la posibilidad de tener un difractómetro de neutrones de buena calidad en nuestro reactor nuclear de baja potencia, capaz de analizar diversos tipos de muestras, tales como las que se vienen analizando en nuestro país con los difractómetros de rayos X.

Bibliografía

1. Yelon, W.B., Berliner, R., Popovici, M., *Physica B* 241-243 (1998) p. 237.
2. Stoica, A.D., Popovici, M., and Yelon, W.B., *J. Appl. Cryst.* **33** (2000) p. 137.
3. IDEAS, <http://www.sns.gov/ideas>.

Diseño y construcción de un sistema mecánico de movimiento para el blindaje del detector de un difractómetro de neutrones

Javier Gago⁽¹⁾ jgago@ipen.gob.pe; Milder García⁽²⁾;
Yuri Ravello⁽¹⁾ yraello@ipen.gob.pe

(1) Instituto Peruano de Energía Nuclear, Dirección de Promoción y Desarrollo Tecnológico, Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

(2) Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Mecánica, Av. Tupac Amaru 210, Lima 25, Perú

Resumen

Se presentan los parámetros de diseño del sistema mecánico de movimiento detector de un difractómetro de neutrones y los cálculos principales para determinar la potencia necesaria para producir los movimientos de rotación. El movimiento del sistema de detección es parte esencial en la medida de los espectros de difracción de neutrones en una muestra cristalina.

1. Introducción

La difracción de neutrones es uno de los mejores medios para obtener información estructural de muchas clases de materiales. El desarrollo de la instrumentación y de las técnicas de análisis ha hecho posible obtener información estructural comparativamente precisa mediante difracción de neutrones en muestras cristalinas y determinar en el caso de metales su dureza o tensiones residuales, fragilidad o tipos de aleaciones.

En referencia al sistema mecánico el diseño se desarrolló en los ambientes del IPEN. La construcción del sistema se encuentra terminada y será motivo de un informe posterior.

El diseño abarca una serie procedimientos a seguir, comenzando por el estudio analítico apoyado por manuales, catálogos. El porque del diseño y construcción de este sistema se debe a trabajos experimentales con neutrones^{4,6}

2. Descripción del Sistema Mecánico

El tipo de difractómetro es el llamado: "de dos ejes"⁵, en el primer eje se encuentra el cristal monocromador que tendrá como función de seleccionar las longitudes de onda de los haces neutrones, los cuales llegarán a la muestra que se encuentra en el segundo eje. Estos haces al entrar en "contacto" con la muestra se dispersarán formando diferentes ángulos, que a la vez va a ser

registrados por tres detectores sensibles de posición (He^3). Los detectores barren un segmento arco centrado en la muestra registrando la intensidad de los neutrones difractados en relación del ángulo formado por el haz incidente y el dispersado (según la Ley de Bragg). La Fig. 1 muestra un esquema del proceso de difracción de neutrones.

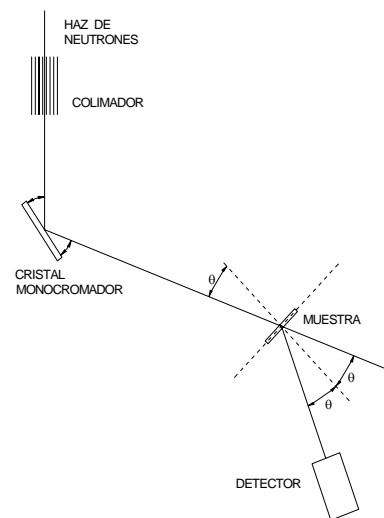


Figura 1. Esquema sobre el proceso de Difracción de Neutrones.

3. Condiciones Iniciales para el Diseño

- El lugar de ubicación del sistema mecánico es el conducto de irradiación N°3 del Reactor RP-10.

- Altura de trabajo o altura de dirección del haz de neutrones respecto al piso es de 1300 mm. Sobre esta altura se fijara estructura para la posición del cristal monocromador, de la muestra y el detector.
- Distancia del eje donde se ubica el cristal al segundo eje donde se encuentra la muestra es de 1950 mm .Este valor esta asociado al estudio de fenómeno físico para obtener la difracción, el cual se relaciona la potencia del reactor y el flujo de neutrones.
- Distancia del segundo eje a donde se va ubicar la muestra al detector es de 1000 mm.
- El blindaje del detector tendrá una pared de parafina un espesor de 50 mm.

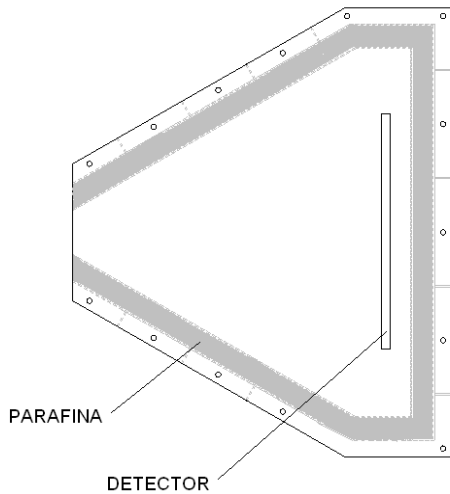


Figura 2. Estructura del blindaje detector.

Con las condiciones de contorno enunciadas líneas arriba se inicia el diseño de la estructura. Cada componente debe cumplir conceptos de facilidad en el ensamblaje y mantenimiento.

4. Cálculos Justificatorios

El análisis se inicia en las oposiciones de las garruchas al desplazarse por los rieles de la estructura correspondiente al segundo eje (carro), y se descompone las fuerzas que actúan en dicho elemento (según referencia). La carga aplicada, "G", en las ruedas o garruchas produce el momento de rozamiento $G \cdot \frac{d}{2} \cdot f$ donde "d" es el diámetro del eje de la garrucha y f es el

coeficiente de rozamiento en el apoyo de la garrucha.³

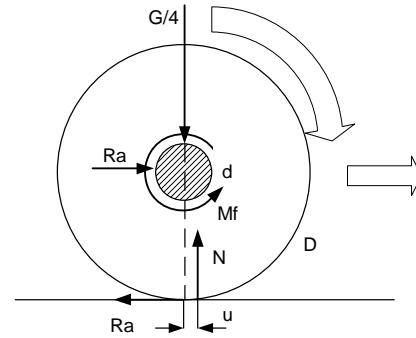


Figura 3. Diagrama de cargas.

G = Peso del carro

N = Normal de las garruchas

Ra = Fuerzas de reacción del carril interno sobre las garruchas

Rb = Fuerzas de reacción del carril externo sobre las garruchas

Se plantea la ecuación de equilibrio:

$$\sum M = 0 \Rightarrow Ra \cdot \frac{D}{2} = Mf + Nxu \Rightarrow Ra = \frac{G}{2D} (f \frac{d}{2} + u)$$

.....(1)

4.1 Análisis de la estructura del primer y segundo eje

La determinación de cargas y las reacciones que se producen en las cuatro garruchas. Se hace el diagrama de cargas de la "carro" cilíndrico (Figs. 4,5), que es el principal sistema a moverse, por que lleva los elementos del blindaje del detector.

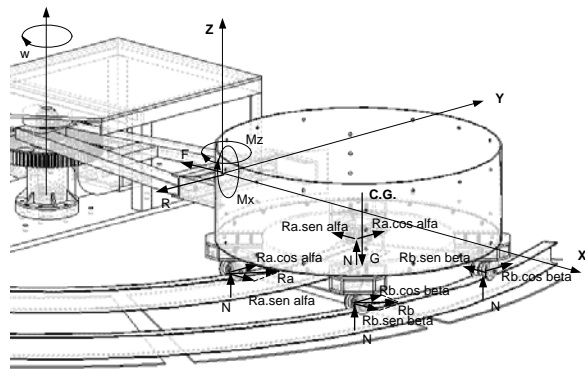


Figura 4. Diagrama de cuerpo libre de la estructura del 1º y 2º.

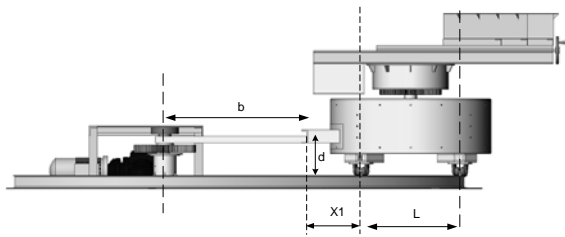


Figura 5. Vista lateral.

Ahora se presentaran, las ecuaciones para determinar las condiciones de equilibrio, en los diferentes ejes referenciales X, Y, Z. ^{(1),(2)}

$$\text{aceleracion normal} = a_n = \omega^2 \cdot r$$

$$\sum F_x = m \cdot a_n = F = m \cdot [\omega^2 \cdot (D + L/2)]$$

..... (2)

$$\sum F_y = 0 \Rightarrow R = 2Ra \cdot \cos \alpha + 2Rb \cdot \cos \beta$$

..... (3)

$$\sum F_z = 0 \Rightarrow 4N = G \quad \dots (4)$$

$$\sum M_x = 0 \Rightarrow M_x = (2Ra \cdot \cos \alpha + 2Rb \cdot \cos \beta) \cdot d$$

..... (5)

$$\sum M_z = 0 \Rightarrow M_z = 2 \cdot Ra \cdot \cos \alpha \cdot X1 + 2Rb \cdot \cos \beta \cdot (X1 + L) + (Ra \cdot \text{sen} \alpha + Rb \cdot \text{sen} \beta) \cdot L$$

.....(6)

$$\sum M_z = 0 \Rightarrow T_{motriz} = R \cdot b + M_z \quad \dots (7)$$

$$P = T_{motriz} \cdot \omega \quad \dots (8)$$

Reemplazando los datos, tanto el peso ("G") que se distribuye en cuatro partes iguales N para la determinación de las reacciones de las garruchas el cual se utiliza la ecuación (1). El proceso del ajuste de los coeficientes de rozamiento se muestra en el anexo (1). Se obtienen los siguientes resultados:

G (N)	12031
N (N)	3008
Ra (N)	611
Rb (N)	413
Mx (N-m)	618
Mz (N-m)	1657
R (N)	2000

Para determinar la potencia del sistema, se procede en determinar los momentos

expresados en las ecuación (7), En consecuencia se tiene la potencia según la ecuación (8). La velocidad angular es de 2 rpm.

TORQUE (N-m)	3925
VELOCIDAD (RPM)	2
EFICIENCIA MECANICA	0.75
POTENCIA (HP)	1.469

A esto se suma un factor más al cálculo del Torque, por efecto de resistencia de cargas (Fig. 6).

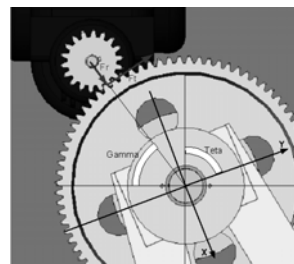


Figura 6. Posición del motoreductor # 1.

Siendo finalmente la potencia para el primer eje:

POTENCIA (HP)	1.477
----------------------	--------------

4.2 Análisis de cargas del segundo eje y cálculo de la potencia

Este dispositivo esta diseñado para soportar el blindaje donde se aloja el detector. El blindaje del detector esta cubierto de parafina, y en el otro extremo se encuentra un contrapeso para equilibrar el sistema (Fig. 7).

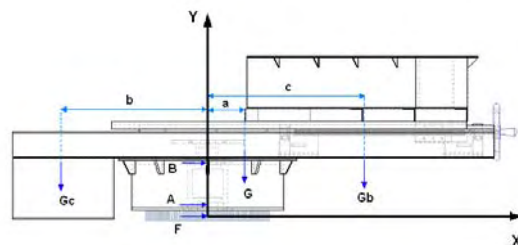


Figura 7. Estructura de sistema del Blindaje + Detección.

a (mm) =	143
b (mm) =	571
c (mm) =	570

Se establecen las condiciones de equilibrio, identificándose las diferentes cargas y su posición, en este caso se muestran las cargas solo en el plano XY, pero a continuación se muestran las cargas que se producen por el piñón del motoredcutor de este segundo eje.

Para este nuevo análisis se realiza un diagrama de cargas en las tres dimensiones como se muestra en las Figs. 8, 9.

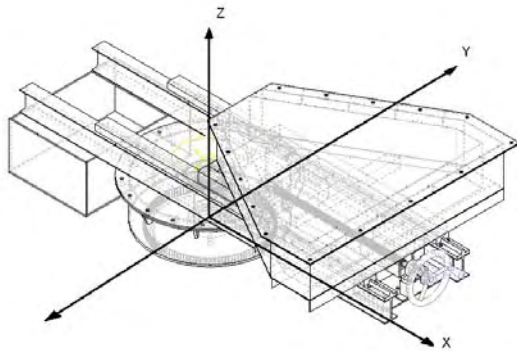


Figura 8. Sistema referencial XYZ.

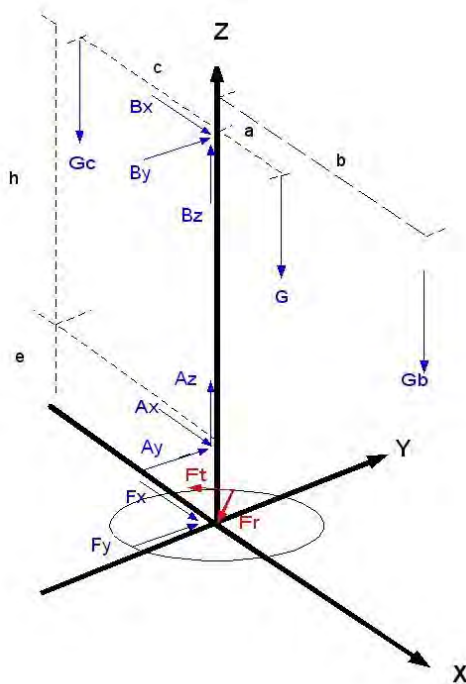


Figura 9. Diagrama de cuerpo libre para el sistema.

A partir de esquema se desarrolla las condiciones de equilibrio:

$$\sum F_x = 0$$

$$A_x + B_x + F_x = 0 \quad (1)$$

$$\sum F_y = 0$$

$$A_y + B_y = F_y \quad (2)$$

$$\sum F_z = 0$$

$$A_z + B_z = G_c + G + G_b \quad (3)$$

$$\sum M_B = 0 \quad \text{Respecto al eje "X"}$$

$$A_y \cdot h - F_y \cdot (h + e) = 0$$

$$A_y = \frac{F_y \cdot (h + e)}{h} \quad (4)$$

$$\sum M_B = 0 \quad \text{Respecto al eje "Y"}$$

$$G_c \cdot c - G \cdot a - G_b \cdot b + F_x \cdot (h + e) + A_x \cdot h = 0$$

$$A_x = \frac{-G_c \cdot c + G \cdot a + G_b \cdot b - F_x \cdot (h + e)}{h} \quad (5)$$

$$\sum M_A = 0 \quad \text{Respecto al eje "X"}$$

$$B_y \cdot h - F_z \cdot e = 0$$

$$B_y = \frac{F_z \cdot e}{h} \quad (6)$$

$$\sum M_A = 0 \quad \text{Respecto al eje "Y"}$$

$$G_c \cdot c - G \cdot a - G_b \cdot b + F_x \cdot e - B_x \cdot h = 0$$

$$B_x = \frac{G_c \cdot c - G \cdot a - G_b \cdot b + F_x \cdot e}{h} \quad (7)$$

En la Fig. 10 se muestra las cargas radial y tangencial sobre el engranaje.

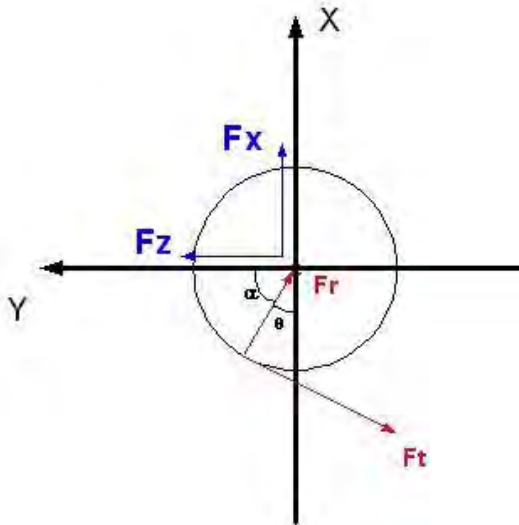


Figura 10. Cargas producido por el piñón hacia el engranaje.

Donde:

F_t : Carga tangencial

F_r : Carga radial

$$F_r = F_t \cdot \tan \phi \quad (8)$$

$$F_x = F_t \cdot (\tan \phi \cdot \cos \theta - \sin \theta) \quad (9)$$

$$F_y = -F_t \cdot (\tan \phi \cdot \sin \theta - \cos \theta) \quad (10)$$

G_b: Masa del blindaje (N)
 G_c : Masa del Contrapeso (N)
 G : Masa de la estructura (N)

Datos obtenidos a través del modelamiento respecto al valor del peso de la estructura, G_b es el peso del blindaje de material de parafina y peso G_c eso del contrapeso.

G : 2021 N
 G_b: 2305 N
 G_c: 2815 N

$$\sqrt{A_x^2 + A_y^2} = A_{xy} \quad (11)$$

$$\sqrt{B_x^2 + B_y^2} = B_{xy} \quad (12)$$

$$\sqrt{A_x^2 + A_y^2} = A_{xy} \quad (13)$$

$$\sqrt{B_x^2 + B_y^2} = B_{xy} \quad (14)$$

$$T = f_A \cdot A_{xy} \cdot \frac{D_A}{2} + f_B \cdot B_{xy} \cdot \frac{D_B}{2} + f_A \cdot (A_z + B_z) \cdot \frac{D_A}{2} \dots \dots \dots (15)$$

$$T = F_t \cdot r \quad F_t = \frac{T}{r} \quad (16)$$

El desarrollo de este sistema de ecuaciones, se utiliza un proceso de iteración (ver anexo) en el cual se da un valor inicial al Ft, y este valor se va reemplazando en las ecuaciones (4), (5), (6) (7), para conocer el valor de las ecuaciones (13) y (14) y reemplazarse en la ecuación (15) el cual se calcula el Torque (ecuación (15)) y a partir de ahí se vuelve calcular el nuevo Torque, y este proceso se repite hasta encontrar el valor que cumple con el sistema de ecuaciones.

F _x (N)	17
F _y (N)	-14
A _y (N)	17
A _x (N)	-24
B _y (N)	-3
B _x (N)	7
A _z +B _z (N)	7147
A (N) xy	29
B (N) xy	7
F _t (N)	21
T (N-m)	5

El torque obtenido es de muy poca oposición, que al movimiento de 2 rpm genera una potencia menor a 50 W, así que por lo tanto se selecciona con motoreductor de ¼ Hp para accionar al sistema giratorio.

5. Diseño Terminado

El diseño terminado se muestra en la Fig 11.

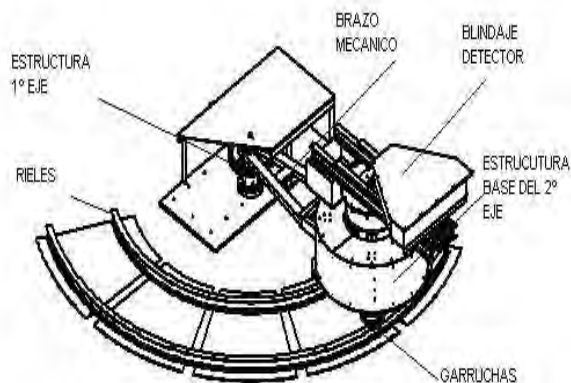


Figura 11. Vista isométrica del sistema mecánico difractómetro de neutrones.

Las principales partes de dicha estructura son

- Estructura del primer eje
- Brazo mecánico
- Estructura de base del segundo eje
- Estructura blindaje – Detector

Garruchas

6. Discusión

La potencia estimada para el primer eje es de 1.477 HP, es la potencia necesaria para accionar todo el sistema (Figura 3). Es preciso resaltar que los coeficientes de rozamiento utilizados son referenciales, por los que las condiciones finales se deben ajustar a las condiciones reales de funcionamiento. De igual manera, se obtiene la potencia del segundo eje, que es menor a 0.25 HP.

En el diseño mecánico del sistema exige otros cálculos que no se mencionan, como es la deflexión de vigas del soporte del blindaje detector, resistencia del primer eje, selección de rodamientos, diseño de engranajes, selección de cuñas para ejes, costo, entre otros [7].

7. Conclusiones

En el diseño mecánico desarrollado ha sido finalizado, instalado y probado en la facilidad de irradiación N° 3 del reactor RP 10. La potencia calculada se entiende como la potencia mínima a aplicarse al sistema, al

cual se decidió se agregar un factor de seguridad de 2, para evitar problemas en el proceso de funcionamiento por otros factores no estimados.

Agradecimientos

Se agradece a las siguientes personas que apoyaron en este trabajo: Prof. Edgard Medina Flores, Dr. Walter Estrada, Dr. Juan Rodríguez, Ing. Enrique Sarmiento, Ing. Mario Mendoza, Ing. Oscar Baltuano, Tec. Yuri Hernández, Lic. Marco Munive, Bach. Gabriel Bautista y otros.

Bibliografía

1. J. E. Shigley, C. R Mischke. *Diseño en ingeniería Mecánica*, McGraw Hill, México 1990.
2. M. F. Spotts, T. E. Shoup. *Elementos de Maquinas*. Pearson Educación. México 2002.
3. L. Targhetta Arriola, A. Lopez Roa, *Transporte y Almacenamiento de materias primas en la industria básica*. Editorial Blume. España 1970.
4. M. Munive. *Caracterización en Energía del haz de neutrones Térmicos*. Tesis 2000. Lima, Perú.
5. Instituto Max Von Laue – Paul Langevin. *Neutron Research Facilities at the ILL High Flux Reactor*. Edited by Office of the Scientific Secretary – ILL. France 1983.
6. Revista Peruana de Física. 3(1). *Seminario internacional: Cincuentenario del Descubrimiento de la Fisión Nuclear*. Lima, Perú 1989.
7. Gago, J. Tesis en Ing. Mecánica. Manuscrito preliminar.

Análisis de transmisión de neutrones en zafiro como parte del diseño del colimador del difractor Amauta

Marco Munive⁽¹⁾ mmunive@ipen.gob.pe; Oscar Baltuano⁽¹⁾ obaltuano@ipen.gob.pe

(1) IPEN, Dirección de Promoción y Desarrollo Tecnológico, Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

Resumen

Los neutrones rápidos de un espectro de neutrones emergentes de un reactor nuclear, no son realmente útiles para el análisis de muestra en la técnica de difracción, por ello se requiere el uso de filtros de neutrones rápidos como es el caso del Zafiro (Al_2O_3). Se estudia el efecto que causa espesores de zafiro en la región térmica del haz de neutrones a ser usado para el difractor Amauta, el análisis se realizó por medición de espectros transmitidos usando el espectrómetro por tiempo de vuelo.

1. Introducción

El espectro neutrónico de un reactor nuclear posee un amplio rango de energía, se puede detallar tres regiones en el mencionado espectro, térmica, epitérmica y rápida, esta última poco útil para el desarrollo de técnica de análisis por neutrones, pero que puede generar gran cantidad de tasas de dosis por neutrones en las inmediaciones de los equipos.

Para disminuir la contribución de estos neutrones energéticos se usa filtros o moderadores.

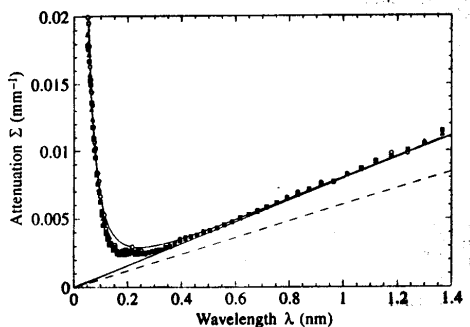


Figura 1. Atenuación en función de la longitud de onda [2].

La eficiencia de un filtro esta en función de la atenuación de los neutrones y esto se detalla en la sección eficaz de interacción, la cual depende del tipo de material y de la energía de los neutrones, la sección eficaz tiene contribuyente de absorción y de dispersión. Uno de estos materiales usados como filtros es el Zafiro (Al_2O_3).

2. Método Experimental

La obtención de espectros de transmisión de 10, 20 cm de espesor de cristales de zafiro se ha logrado medir mediante el espectrómetro por tiempo de vuelo, instalado en el conducto de irradiación No. 4 del reactor nuclear RP-10, la potencia térmica a la cual se realizaron las experiencias es fue de 350 kW de potencia, a dicha potencia se tiene un flujo de neutrones térmicos por el orden de $30 \times 10^6 \text{ n.cm}^{-1}.\text{s}^{-1}$ la longitud de vuelo utilizada fue de 5 m, se utilizó un detector de He3 con un voltaje de trabajo de 1300 voltios, la velocidad de giro del chopper fue de 1100 RPM. Asimismo, en la colección de espectro se detalla 512 canales con un ancho de canal de 20 μs .

Para lograr los espectros de transmisión de los diferentes espesores de zafiro se utilizó el siguiente esquema experimental (Figura 2).

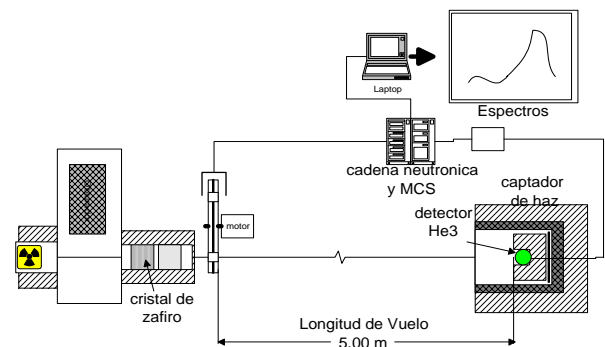


Figura 2. Esquema de colección de espectros de transmisión.

Se midió la tasa de dosis para neutrones térmicos y para fotones gamma, para cada espesor de zafiro, para lo cual se utilizó un monitor de neutrones térmicos marca Victoreen modelo 488A serie 548, calibrado en octubre del 2004 y para fotones gamma un Geiger Muller marca FAG.

Para el cálculo del coeficiente de transmisión del zafiro se usa la siguiente expresión:

$$\Sigma(\lambda) = -(1/x) \log[T(\lambda)] \quad (1)$$

Donde, Σ es el coeficiente de transmisión, T es la transmisión de neutrones, λ longitud de Onda de los neutrones, x espesor de medio transmisor.

El espectro transmitido se colectó en períodos de 10 minutos luego del cual se procede a medir la tasa de dosis por neutrones y la tasa de fotones gamma, la operación se repite para cada espesor de zafiro.

Cabe señalar que la colección de los espectros se hace en tiempo, realizando una conversión de los datos colectados se representa en longitud de onda.

3. Resultados

La tasa de conteo para cada espesor de zafiro fue de 451 cts/s a 10 cm y 297 cts/s a 20 cm, la tasa de dosis de neutrones en el haz es de 279 mrem/h y 37 mrem/h a 10 y 20 cm respectivamente y la tasa de dosis para fotones gamma fue de 50 mrem/h y 20 mrem/h a 10 y 20 cm respectivamente.

Se colectó tres espectros el primero sin medio transmisor, el segundo con 10 cm de zafiro y el último con 20 cm de cristal de zafiro, los datos detallan la relación del coeficiente de atenuación con la longitud de onda de los neutrones transmitidos (Figura 3).

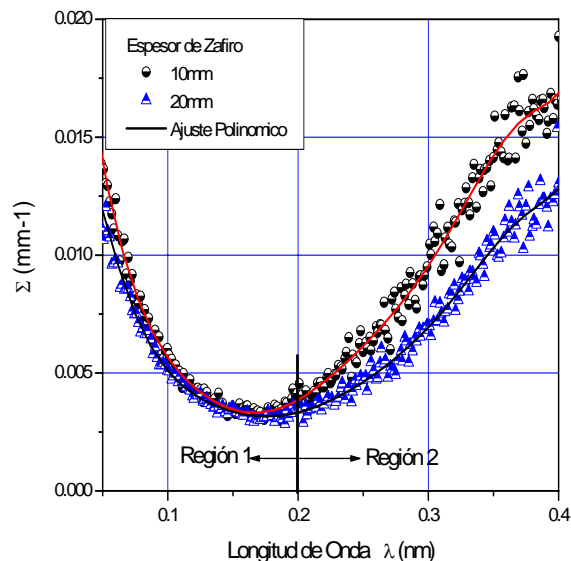


Figura 3. Coeficiente de atenuación en función de la longitud de onda, para cada espesor de zafiro.

4. Discusión

En relación a la tasa de dosis medida tanto para neutrones como para fotones gamma en relación a los espesores de zafiro, se puede notar que el cristal de zafiro es un buen atenuador de neutrones ya que en 10 cm de espesor disminuye la tasa de dosis en casi 7.5 veces, mientras que para fotones gamma la mismo espesor solo se disminuye en 2.5 veces la tasa de dosis.

En la figura 3 se representa el cálculo del coeficiente de atenuación, el valor logrado es igual para dos diferentes espesores en el rango de 0.05 nm a 0.2 nm de longitud de onda de los neutrones valor que se aproximan en 8.3 %, mientras que a mayor longitud de onda, entre 0.2 nm y 0.4 nm se aprecia una diferencia marcada, indicándonos que a mayor espesor de zafiro hay menor coeficiente de transmisión. El valor de aproximación promedio entre las dos graficas en el mencionado rango es de 24 %, esto se debe a que la ecuación 1 no contempla el factor de acumulamiento que se debe disminuir cuando los espesores de material son muy grandes, debido a que el detector podría no registrar algunos neutrones transmitidos de baja energía que hayan sido ligeramente desviados al lograr atravesar espesores pronunciados de material.

5. Conclusiones

En la presente experiencia queda detallado claramente la eficiencia de atenuador de neutrones del zafiro y que su uso nos disminuye la energía efectiva de los neutrones térmicos, es decir aumenta el número de neutrones lentos con longitudes de onda superiores a 0.3 nm. Esto se refleja en el cálculo del coeficiente de atenuación y en la tasa de dosis de neutrones.

Se recomienda entonces tener un filtro de zafiro en cada una de las facilidades del reactor con espesor de 10 cm.

Bibliografía

1. Munive M., Baltuano O., Soto C. Ravello Y. First records of thermal neutrons with the spectrometer for time of flight (TOF) in the RP-10 Nuclear Reactor. Nucleotécnica No. 36 diciembre 2002, pag.111-116.
2. Milder D., Lamaze G. Neutron transmission of Singel-Crystal Sapphire. J. Appl. Cryst 31 (1998) p. 835-840.

Evaluación de la incertidumbre en el valor de la reactividad del núcleo 25 del reactor RP-10 mediante el modelo cinético puntual y espacial

Magaly Zapata⁽¹⁾ mbalcazar@gmail.com; Agustín Zúñiga⁽¹⁾ azuniga@ipen.gob.pe;
Rubén Bruna⁽¹⁾ rbruna@ipen.gob.pe

(1) IPEN, Cálculo Análisis y Seguridad (CASE), Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

Resumen

Uno de parámetros requeridos para la licencia de operación del reactor, es el valor del Exceso de Reactividad del núcleo; siendo para ello necesario conocer los valores del peso de las barras de control. En el RP-10 se han utilizado los modelos cinéticos puntual y espacial para la calibración y el Rod-Drop de las barras, habiéndose encontrado discrepancias en la reproducibilidad de los resultados cuando se modifica la secuencia de las mismas. El presente trabajo establece dos hipótesis como causas principales de estas discrepancias; primero, el efecto de la ubicación de los detectores (dos cámaras de ionización compensada) en el núcleo; segundo, el efecto de apantallamiento entre dos barras de control. Los resultados mostraron que las discrepancias podían ser explicadas por las hipótesis planteadas y en consecuencia se pudo determinar las incertezas y el exceso de reactividad del núcleo.

1. Introducción

La configuración de núcleo 25 del RP-10, tuvo cambios significativos a diferencia de su predecesor, debido principalmente a la adición de nuevos elementos combustibles (combustible fresco). Estas modificaciones requirieron de mediciones de cambio de reactividad usando la cinética inversa [1,5,6]. El peso total de las barras de control fue determinado a través del método de compensación de barras, usando el modelo cinético puntual. Las estimaciones de reactividad mostraron efectos espaciales debido a las ubicaciones de los detectores; estos efectos espaciales y el apantallamiento de barras de control fueron estimados con el método de Rod-Drop utilizando el modelo cinético espacial [2,4,6].

Se ubicaron dos cámaras de ionización compensadas (CIC1 y CIC2) en diferentes posiciones en el núcleo del reactor, la corriente de los detectores fue amplificada en un amplificador corriente-voltaje. La tensión de salida del amplificador (la cual esta en el rango de los 0 a ± 10 voltios) es a su turno la señal de entrada de la tarjeta analógica-digital (ADC) de la PC con el software asociado.

El RP-10 es un reactor de investigación tipo piscina con reflector grafito, la configuración 25 del núcleo del RP-10 es mostrada en la Figura 1. Las cámaras de ionización compensadas fueron ubicadas en las

posiciones de irradiación. Muchas de las mediciones fueron realizadas para diferentes posiciones de los detectores (C1, E5, B4, I9), de manera que se pudo determinar la mejor ubicación del detector para el cumplimiento del modelo puntual y estimar el efecto de apantallamiento entre dos barras de control.

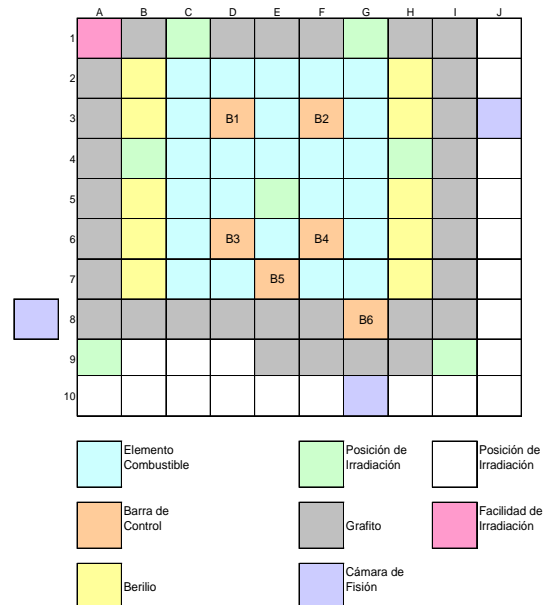


Figura 1: Configuración 25 del núcleo del reactor RP-10.

2. Método Experimental

Descripción del método de Cinética Inversa

El análisis cuantitativo de la población de neutrones requiere resolver las ecuaciones de la cinética puntual para seis grupos de neutrones retardados [1]

$$\frac{dn(t)}{dt} = \frac{(\$-1)}{\Lambda^*} n(t) + \sum_{i=1}^m \lambda_i C_i(t) \quad (1)$$

$$\frac{dC_i(t)}{dt} = b_i \frac{n(t)}{\Lambda^*} - \lambda_i C_i(t), \quad i = 1, \dots, 6 \quad (2)$$

Con las condiciones iniciales para $t \leq 0$:

$$n_0 = n(t=0) = 1 \quad (3)$$

$$c_{i0} = c_i(t=0) = \frac{b_i}{\lambda_i \Lambda^*}, \quad i = 1, \dots, m \quad (4)$$

donde:

$n(t)$ densidad neutrónica normalizada

$C_i(t)$ concentración de precursores del grupo i

$\$$ reactividad en dólares

Λ^* tiempo entre reproducciones reducido

λ_i constante de decaimiento del grupo i

$b_i = \frac{\beta_i}{\beta}$ producción total de neutrones retardados

Este sistema de ecuaciones tiene una solución analítica para una variación tipo escalón de $\$$. Para un $\$(t)$ arbitrario, el sistema es resuelto por métodos numéricos. Si consideramos valores discretos de (t_k, n_k) y una variación lineal de $n(t)$ entre dos valores consecutivos, entonces se obtiene:

$$\$_k = 1 + \frac{\Lambda^*}{n_k} \left[\frac{n_k - n_{k-1}}{\delta t} - \sum_{i=1}^m \lambda_i c_{ik} \right] \quad (5)$$

Por el método de cinética inversa, para un $n(t_k)$ dado, podemos obtener $\$_p(t_k) = \$_k$, la implementación de una PC con una tarjeta ADC, nos da el reactímetro digital.

Descripción del método de Rod-Drop

Rod-Drop basado en la cinética puntual

Una aplicación de la cinética inversa es el método de rod-drop. Este método es usado para estimar la efectividad de barras de control $\$p$ (valor integral de $\$$ que es introducida por la barra de control).

Suponemos un reactor crítico, para $t=0$, luego dejamos caer las barras de control las cuales toman un tiempo Δt_c en ser totalmente introducidas; produciendo una variación negativa de la reactividad.

Usando las ecuaciones (1) y (2), podemos obtener para una variación tipo escalón de $\$(t)$ en $t = t_0$ ($\Delta t_c = 0$):

$$-\$p = \frac{n_0 \left(\Lambda^* + \sum_{i=1}^m \frac{b_i}{\lambda_i} \right)}{\int_{t_0}^{\infty} n(t) dt} \quad (6)$$

Rod-Drop basada en la cinética espacial

La cinética espacial esta basada en la no coincidencia de la densidad neutrónica con la evolución de la potencia en cualquier punto del reactor, en consecuencia se producen efectos espaciales.

Siendo, $C_N(t) = \frac{N(t)}{N(t_0)} = n(t)$ con CR_0 y

$CR(t)$ los valores de la tasa previa y posterior de detección de neutrones. La reactividad $\$$ es determinada ajustando $C_N(t)$ para los neutrones retardados con la función $F(t)$ la cual es obtenida de la cinética espacial con un modelo modal [2].

El valor de la efectividad de barras $\$m$ es variado en cada iteración; s_j y B_j son valores obtenidos resolviendo las ecuaciones (1) y (2) con la transformada de Laplace:

$$\$m = s_j \Lambda^* + \sum_{i=1}^n \frac{b_i s_j}{1 s_j + \lambda_i} \quad (7)$$

Todas las descripciones dadas arriba son el soporte de nuestras mediciones.

3. Resultados

Calibración de Barras de Control

Para determinar el peso en reactividad de las barras de control, tuvimos que medir cuatro días después de la última operación, para evitar el xenón. Las mediciones fueron llevadas a cabo a baja potencia (~1 KW). Se calibraron dos barras de control con diferente configuraciones de crítico (Tabla 1.), utilizando el método de compensación [3,4,5] para obtener el peso en reactividad de ambas barras de control. Los detectores se ubicaron en el núcleo en C1 el detector 1 (CIC1), y en I9 el detector 2 (CIC2). La Figura 2 y la Figura 3 muestran el peso de las barras de control 1 y 2 respectivamente.

Tabla 1. Configuraciones de crítico para calibración de barras B1 y B2.

Configuración Inicial	Configuración Final
(1) B6 = B5 = 100 % B3 = B2 = 100% B1 = 0%; B4 = Crítico	(1) B6 = B5 = 100% B3 = 100% B2 = 0 B1= 100 B4 = Crítico
(2) B6 = B5 = 100% B3 = 100% B2 = 0% B1=100% B4 = Crítico	(2) B6 = B5 = 100% B3 = B2 = 100% B1 = 0% B4 = Crítico
(3) B6 = B5 = B3 = 100% B2 = 100% B1= 0% B4 = Crítico	(3) B6 = B5 = 100% B3 = 100% B2 = 0% B1= 100% B4 = Crítico

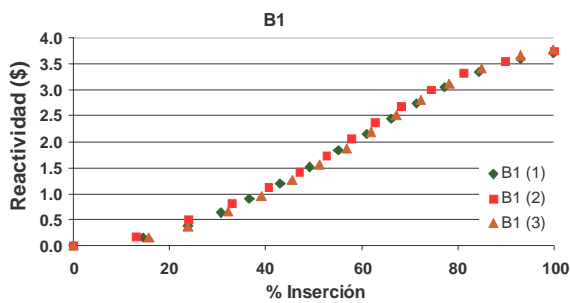


Figura 2. Curva integral de reactividad para B1, las configuraciones 1, 2 y 3 son comparadas (Reactividad versus % Inserción).

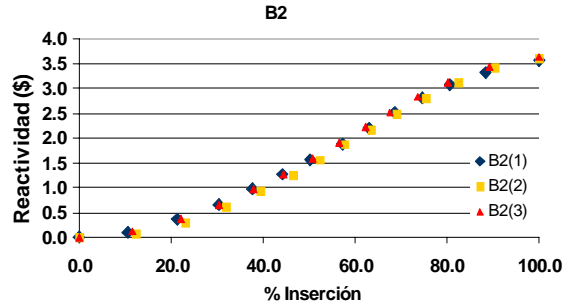


Figura 3. Curva integral de reactividad para B2, las configuraciones 1, 2 y 3 son comparadas (Reactividad versus % Inserción).

Con el objetivo de estimar los efectos debido a la redistribución del flujo y efectos espaciales, entre las barras B1 y B2, se aplicó el método de Rod-Drop. Las mediciones de efectividad de barras de control fueron llevadas a cabo en las mismas condiciones que el de las calibraciones (~1 KW, reactor libre de Xenón), pero esta vez la ubicación de los detectores fue E5 para CIC1 e I9 para CIC2; siendo los resultados mostrados en la Tabla 2.

El efecto espacial es calculado de:

$$\frac{\$p - \$m}{\$m} \times 100$$

Tabla 2. Medición de efectividad de barras B1 y B2.

Configuración inicial (% extracción)	\$p	\$m	Efecto espacial
B1=100 B2=100 B3=51 B4=0 B5=0 B6=100	5.406 ± 0.005	4.951 ± 0.016	9.2 ± 0.4
	4.611 ± 0.005	4.831 ± 0.016	-4.5 ± 0.3
B1=100 B2=100 B3=51 B4=0 B5=0 B6=100	5.283 ± 0.005	4.781 ± 0.013	10.5 ± 0.3
	4.904 ± 0.005	4.793 ± 0.014	2.3 ± 0.3
B1=100 B2=100 B3=51 B4=0 B5=0 B6=100	10.819 ± 0.011	7.624 ± 0.035	41.9 ± 0.7
	8.572 ± 0.009	7.037 ± 0.026	21.9 ± 0.5

En la Tabla 3 se muestra la estimación de la interferencia entre las barras B1 Y B2 calculada de:

$$\frac{\$m (RC1 - RC2) - [\$m (RC1) + \$m (RC2)]}{[\$m (RC1) + \$m (RC2)]} \times 100$$

Tabla 3. Estimación de interferencia entre B1 y B2.

Ubicación Detectores	Interferencia de Barras (%)	Interferencia de Barras (% promedio)
CIC1: E5	-26.88 ± 0.32	-25.40 ± 0.25
CIC2: I9	-21.66 ± 0.40	

4. Discusión

El valor negativo de la interferencia de barras significa que dos barras juntas tienen menos efectividad que cada barra separada, debido a las variaciones del flujo neutrónico.

La interferencia de barras adiciona error a las mediciones obtenidas por calibración, debido a la redistribución de flujo. Podemos observar que en la calibración entre B1 y B2; el valor de la reactividad de B2 fue: 3.5997 ± 0.0020 mas un error de $\sim 25\%$ lo que significa que el valor está entre $\langle 2.7, 4.5 \rangle$.

5. Conclusiones

La interferencia de barras afecta directamente los resultados de las calibraciones realizadas entre un par de barras de control, lo que significa que en la calibración de B1 y B2 se debe tener en cuenta un error de $\sim 25\%$.

Aplicando el modelo cinético espacial, podemos estudiar los efectos espaciales debido a la ubicación de los detectores. Como es lógico dichos efectos son mas evidentes para ubicaciones centrales dentro del núcleo, en los resultados (es mayor en E5 y menor en I9). El efecto espacial negativo, significa que en el campo de vista del detector prevalecen armónicos asociados con reactividades menores en valor absoluto que la reactividad asociada al modo fundamental. En otras palabras, el detector "ve" una depresión inicial del flujo global cuando las barras caen.

Bibliografía

1. Gómez A. Cinética de Reactores, Postgrado en Reactores Nucleares - Modulo de Física de Reactores I.E.S.d.E. Argentina (1997).
2. Gómez A., Waldman R. A method to reduce space-time effects in the measurement of reactivities by the rod-drop technique. Ann. Nucl. Energy 21(10) p. 613-628 (1994).
3. Trkov A., Ravnik M., Wimmer H., Glumac B., Böck H. Application of the rod-insertion method for control rod worth measurements in research reactors. Kerntechnik 60, 255-261(1995).
4. Zapata M., Bruna R., Parreño F. Medición de la efectividad de barras de control para la configuración de núcleo 7A5 del reactor RP-0 por cinética puntual y espacial. Instituto Peruano de Energía Nuclear, Reporte Técnico (2002).
5. Zapata M., Bruna R. Calibración de barras de control para la configuración de núcleo 25th del reactor RP-10. Instituto Peruano de Energía Nuclear, Reporte Técnico (2003).
6. Gómez A., Estryk G., Roqueta D. Medición de parámetros neutrónicos para el reactor RA-3 durante la puesta en marcha en Mayo del año 2000 CNEA.C.RCN.ITE.136. (Rev.1) (2001).

Medición de flujo y dosis de neutrones en la cavidad interna de la columna térmica para el núcleo 24 del reactor RP-10

Javier Gómez⁽¹⁾ jjgb76@gmail.com; Gerardo Lázaro⁽²⁾ glazaro@ipen.gob.pe

(1) Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Av. Venezuela s/n, Lima 1, Perú

(2) Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN). Dirección de Reactores, Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

Resumen

Se determinó experimentalmente la distribución del flujo, dosis equivalente y absorbida de neutrones térmico y epitérmico de la cavidad interna en la facilidad de irradiación columna térmica, para la configuración del núcleo 24 del reactor RP-10.

1. Introducción

La medición de la distribución de parámetros tales como el flujo y dosis de neutrones es una de las actividades que se realizan en las facilidades de irradiación del reactor RP-10 para las caracterizaciones como calidad del haz de neutrones que tienen dicha facilidad. Debido a las futuras aplicaciones tales como el Análisis por Activación Neutrónica (AAN) que necesitan una distribución de flujos en función de la energía de los neutrones conlleva a realizar este trabajo. Las mediciones de estos parámetros de caracterización se realizaron utilizando el método experimental de monitores de activación (hojuelas) [1] y utilizando las ecuaciones de actividad neutrónica [2]. Estas caracterizaciones además validan los cálculos teóricos realizados con el código MCNP de la columna térmica.

2. Método Experimental

En la tabla 1 se detallan las condiciones de irradiación de las hojuelas (monitores) de oro (con y sin cobertores de cadmio), en la cavidad de la columna térmica.

Tabla 1. Parámetros de Irradiación.

Monitores	<i>Au-197</i>
Barras de Seguridad y Control	
BS1, 2 y 3	100 %
BC1	42.7 %
BC2	33.5 %
BCF	65.5 %
Tiempo de Irradiación (minutos)	180

Para la medición de las actividades de las hojuelas de oro, se empleó una cadena de espectrometría gamma asociada a un detector de GeHP.

Para el cálculo del flujo de neutrones térmico y epitérmico se utilizaron hojas de cálculo elaboradas en mathcad, en las que se han desarrollado el formulismo de westcott [1,2] y las ecuaciones de activación neutrónica [2], y en el cálculo de la dosis de neutrones se utilizó el factor de conversión (función de respuesta) que permite convertir directamente el flujo en tasa de dosis equivalente y el valor del factor de calidad efectivo "Q_{ef}", nos permite cálculos de la dosis absorbida [3,4,5].

3. Resultados

En la figura 1 se muestra la ubicación de la cavidad interna de la columna térmica con respecto al núcleo del reactor RP-10, y en la figura 2, el esquema en detalle de la cavidad.

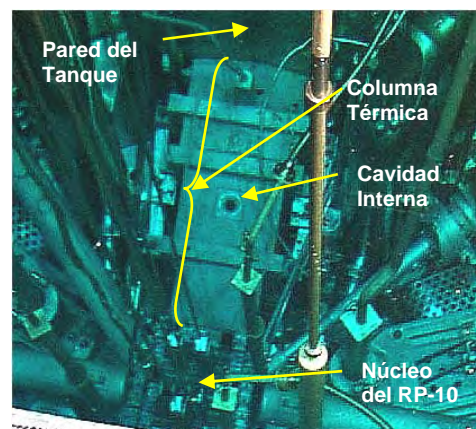


Figura 1. Detalle de la columna térmica y el núcleo del RP-10 (Vista desde boca de tanque).

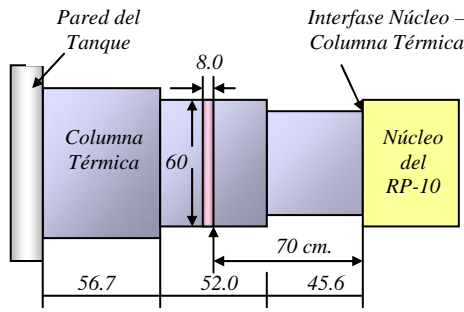


Figura 2. Esquema de la columna térmica y el núcleo del RP-10 (Corte Axial).

Las figuras 3, 4 y 5 representan los perfiles de distribución del flujo térmico y epitérmico, las dosis equivalentes, y las dosis absorbidas. Los valores de los errores relativos porcentuales, se obtuvieron por propagación de errores de las variables empleadas en el cálculo, los cuales no exceden del 10% de error de tipo accidental.

La posición relativa a la profundidad (considerada a partir del extremo superior del plomo de la columna térmica) es llamada posición axial y es designada por un numero de la siguiente manera: (1) 12.5 cm. (2) 22.75 cm. (3) 33.0 cm. (4) 43.25 cm. (5) 53.5 cm.

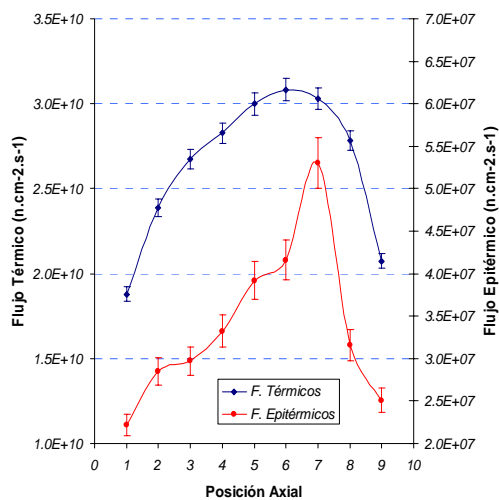


Figura 3. Perfiles de distribución del flujo de neutrones Térmico y Epitérmico en la cavidad interior de la Columna Térmica del reactor RP-10.

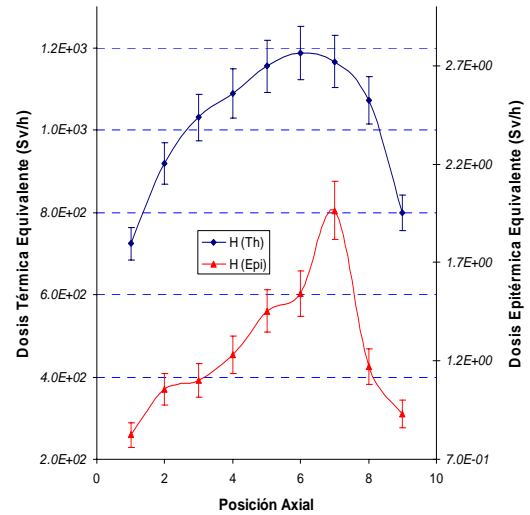


Figura 4. Perfiles de distribución de la Dosis de neutrones Equivalente Térmicos y Epitérmicos en la cavidad interna de la Columna Térmica del reactor RP-10.

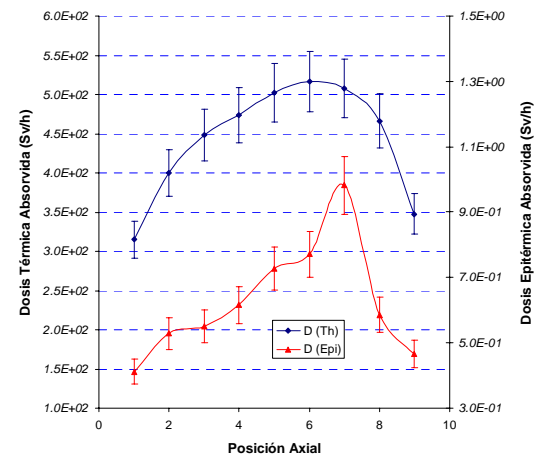


Figura 4. Perfiles de distribución de la Dosis de neutrones Absorbida Térmicos y Epitérmicos en la cavidad interna de la Columna Térmica del reactor RP-10.

4. Discusión

La distribución tanto del flujo como de la dosis depende de la energía de los neutrones [1,2], por ello existe una diferencia entre ambas, además de la forma geométrica del núcleo del reactor y de los materiales con quien interactúa, que en este caso el material del que esta hecho la columna térmica es grafito. Debido a este material los neutrones más energéticos se dispersan hasta llegar a las energías de los neutrones Térmicos (0.025 eV), es por ello que existe más población de neutrones

Térmicos a medida que recorren la facilidad de irradiación.

5. Conclusión

El flujo de neutrones Térmicos en la cavidad central es 2 décadas mas intensa que el flujo de neutrones Epitérmicos, esto es muy útil para algunas muestras especiales que se analizan por actividad neutrónica (AAN).

Bibliografía

1. G. Erdtmann, Neutron Activation Tables.
2. IAEA; Compendium of Neutron Spectra and Detector Responses for Radiation Protection Purposes. TRS No.403, Vienna, 2001.
3. IAEA; Determination of Absorbed Dose in Reactors. TRS No.127, Vienna, 1971.
4. Pedro Coll Butí, Fundamento de Dosimetría Teórica y Protección Radiológica. Barcelona, 1990.
5. Agustín Zúñiga; Determinación Experimental de la Dosis Neutrónica en un Reactor Nuclear, Lima, 1990.

Moderación de neutrones térmicos con polietileno y parafina

Claudia Aparicio⁽¹⁾ caparicio@scientist.com; Héctor Miranda⁽¹⁾ hmc Miranda@hotmail.com;
José Gómez⁽¹⁾ jigb76@yahoo.com; Gerardo Lázaro⁽¹⁾ glazaro@ipen.gob.pe

(1) IPEN, Cálculo Análisis y Seguridad (CASE), Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

Resumen

Se presenta el uso de los detectores de estado sólido CR-39 para determinar las distribuciones de flujos neutrónicos térmicos, en fuentes de neutrones mediante la reacción nuclear (n,p). Se realizaron mediciones de flujo térmico en una fuente de Am-Be con moderadores de polietileno y parafina, las huellas nucleares producidas en el CR-39 fueron observadas mediante un microscopio óptico de aumento 160X con NaOH 6.25 N, 70° C y 6 horas. Se obtuvo como resultado los perfiles de flujo y que el mejor moderador para ésta fuente es el polietileno.

1. Introducción

En la actualidad, el CR-39 es usado para la detección de neutrones desde térmicos hasta rápidos[1] y recientemente aplicado para la detección de radón, es usado en Europa y parte de América. En reactores y fuentes de neutrones portátiles se emplea, para la medición de flujos neutrónicos se cuenta con la técnica de monitores activables (indio, oro) por activación neutrónica. Esta técnica es bastante eficiente para altos flujos neutrónicos, pero al disminuir éstos es muy difícil obtener valores confiables; dada esta dificultad se utiliza la técnica de huellas nucleares con CR-39 para la medición de flujo neutrónico en la posición en la que éste es bajo.

El principio de detección de neutrones utilizando el CR-39 una reacción nuclear, en este caso $^{14}\text{N}(n,p)^{14}\text{C}$ [2]. Las trazas producidas en el detector se forman debido a la ruptura de los enlaces del polímero por acción de los protones, el daño producido depende de la energía del protón incidente [3].

2. Método Experimental

La fuente de neutrones Am-Be (intensidad $1.1 \times 10^7 \text{ s}^{-1}$, actividad 5 Ci) se moderó según dos configuraciones; una con parafina de espesor constante y la otra con polietileno de espesor variable. En cada una de ellas se midió flujo de neutrones térmicos con los detectores polímeros CR-39 (Fig. 1).

2.1 Configuración del detector CR-39

La configuración del detector CR-39 (500 μm , 1 cm^2), es como se muestra en la figura

2. El espesor de aire es donde se llevan a cabo las reacciones (n,p), y el aluminio para evitar huellas procedentes de partículas alfa del ambiente o excesivo ruido de fondo.

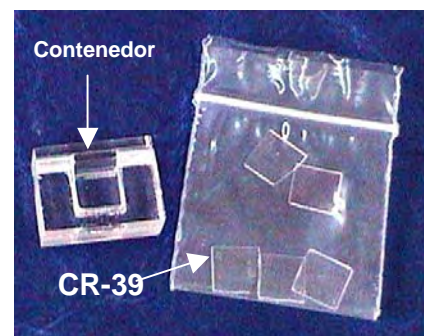


Figura 1. Fotografía del CR-39 y su contenedor de acrílico.

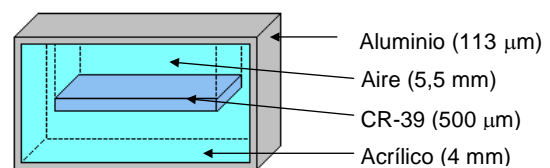


Figura 2. Esquema de la configuración del detector.

2.2 Medición de flujo de neutrones térmico con espesor de parafina constante

La fuente de neutrones fue puesta dentro de un blindaje cilíndrico de parafina (moderador); los detectores CR-39 se dispusieron tal como se aprecia en la figura 3, a diferentes distancias desde la superficie de la fuente de neutrones (32 cm, 52 cm, 72

cm, 92 cm y 112 cm) de tal manera que su cara frontal este perpendicular a la superficie del moderador. El tiempo de irradiación fue de 117 horas.

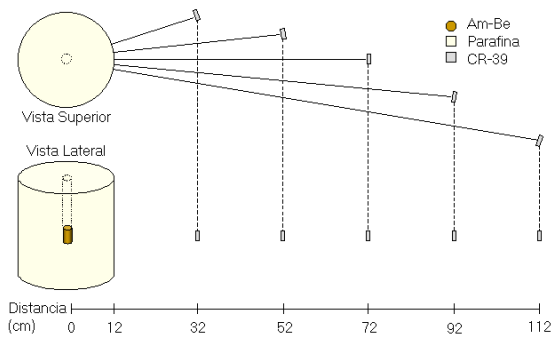


Figura 3. Ubicación de los detectores CR-39 alrededor de la fuente de neutrones.

2.3 Medición de flujo de neutrones térmicos con espesor de polietileno variable

Se utilizaron bloques de polietileno de alta densidad de diferentes espesores (6, 8, 10, 12, 14 y 16 centímetros). El arreglo experimental empleado se muestra en la figura 4. El tiempo de irradiación fue de 2 horas.

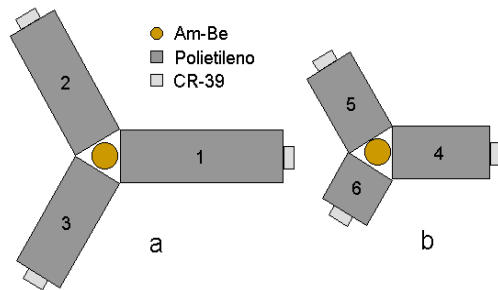


Figura 4. Ubicación del CR-39 y los bloques de polietileno alrededor de la fuente de neutrones. a) 1: 16 cm, 2: 14 cm, 3: 12 cm; b) 4: 10 cm, 5: 8 cm, 6: 6 cm.

2.4 Tratamiento post-irradiación de los detectores CR-39

El revelado de los detectores CR-39 se llevó a cabo utilizando un procedimiento químico, para ello se utilizó una solución de NaOH 6.25 N a una temperatura de 70°C, en ésta se introdujeron los detectores CR-39 por espacio de 6 h. Al terminar el revelado químico se procedió al conteo de las trazas, se utilizó para ello un microscopio óptico Carl Zeiss a 160X (Fig. 5).



Figura 5. Vista de las huellas nucleares producidas por protones a 400X.

3. Resultados

Las distribuciones de flujos térmicos, para ambas configuraciones, el ajuste y extrapolación de los datos experimentales se muestran en la figura 6. El gráfico realizado en escala logarítmica muestra dos rectas, lo que indica que existe decrecimiento exponencial; las rectas de diferentes pendientes indican el grado de moderación de neutrones, en este caso al extrapolar ambas rectas de ajuste se nota claramente que para distancias mayores a 40 cm el polietileno presenta flujos neutrónicos térmicos menores que la parafina, lo que lo hace un mejor moderador.

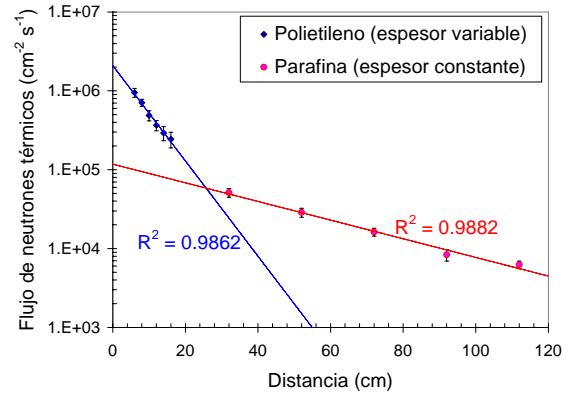


Figura 6. Comparación de perfiles de flujos térmicos con polietileno y parafina.

4. Discusión

En los flujos térmicos hallados los errores porcentuales para ambas configuraciones son alrededor de 12% y 15% en promedio, esto se debe a los diferentes tiempos de irradiación para cada configuración de moderador (parafina: 117h, polietileno: 2h). La diferencia de estos tiempos es porque los detectores están a diferentes distancias, mientras más lejos esté de la fuente el tiempo de irradiación debe ser mayor para

compensar la cantidad de huellas nucleares producidas, de otro modo las huellas para distancias mayores a 50 cm podrían confundirse con radiación de fondo.

El mayor poder de moderación del polietileno se debe a que presenta un mayor porcentaje de hidrógeno que la parafina (polietileno: 0.57% H, parafina: 0.13% H), otra ventaja es su fácil maquinabilidad y mayor resistencia.

5. Conclusiones

La mayor pendiente de la recta obtenida para polietileno permite concluir que el polietileno es un moderador más eficiente que la parafina para fuentes de neutrones como el Am-Be. Por lo que es recomendable utilizar polietileno como blindaje para fuentes de neutrones y salida de haces de neutrones.

Bibliografía

1. A. Fietchner, C. Wernli. Radiat. Prot. Dosim. 85(1–4) (1999) p.35.
2. T. Bouassoule. Contribución a la dosimetría de neutrones por detectores sólidos de trazas. Tesis Doctoral, Universidad Autónoma de Barcelona. Bellaterra, 1998.
3. S. Durrani, R. Bull. Solid State Nuclear Track Detection: Principles, Methods and Applications. Ed. Pergamon Press. Oxford, 1987.

Optimización del mantenimiento del sistema de corte del reactor RP-10

Álvaro Aguirre⁽¹⁾ aaguirre@ipen.gob.pe; Gerardo Lázaro⁽²⁾ glazaro@ipen.gob.pe

(1) IPEN, Dirección General de Seguridad Radiológica, Av. San Juan s/n Km 12 Carabayllo

(2) IPEN, Oficina Técnica de la Autoridad Nacional, Calle Sánchez Carrión No. 456
Magdalena del Mar, Lima Perú

Resumen

Este estudio examina el sistema de corte del reactor nuclear de investigación de 10 MW del IPEN con el fin de minimizar el costo total con respecto al tiempo entre pruebas. El costo total está compuesto por costo de las pruebas del sistema de corte y del costo de las fallas inseguras. El costo de las fallas inseguras es evaluado como el costo esperado de las consecuencias de una falla en espera del sistema de corte y de la ocurrencia de un evento iniciante representativo, el cual consiste en una inserción no controlada de reactividad positiva durante el arranque.

1. Introducción

Los sistemas de seguridad en espera de los reactores de investigación juegan un papel crítico durante las inserciones rápidas de reactividad, no obstante la frecuencia de mantenimiento preventivo no se deriva necesariamente de la optimización del respectivo costo total.

Las pruebas de los sistemas de seguridad son ejecutadas periódicamente para confirmar su operatividad y luego estos sistemas retornan a su estado de espera. Normalmente, el periodo de pruebas se determina solamente para minimizar la indisponibilidad sin tener en cuenta el costo de las pruebas.

El propósito de este artículo es determinar el tiempo entre pruebas óptimo para el sistema de corte del reactor RP-10, considerando no sólo el costo de indisponibilidad, sino también del costo de pruebas.

2. Descripción del sistema de corte del reactor reactor RP-10

El Instituto Peruano de Energía Nuclear IPEN es una institución pública dedicada a la investigación nuclear aplicada, así como a la producción de radioisótopos y a otras áreas de investigación afines.

El reactor nuclear de investigación RP-10 esta emplazado en el centro nuclear

RACSO, ubicado a 42km del centro de Lima en la dirección noreste. En este centro también se encuentran la Planta de Producción de Radioisótopos, la Planta de Gestión de Residuos Radiactivos, así como otros laboratorios y facilidades que sirven de soporte. El RP-10 es un reactor tipo piscina de 10MW para investigación y producción de radioisótopos. Este reactor usa agua liviana desmineralizada como moderador y refrigerante y su combustible es tipo MTR conteniendo uranio enriquecido al 20%.

El edificio del reactor consta de 2 secciones construidas cumpliendo todas las normas estructurales y antisísmicas aplicables. Una de estas secciones alberga al reactor y la otra a los sistemas auxiliares, laboratorios y otras facilidades.

El sistema de corte consiste de 5 barras de control y seguridad (aleación Ag – In- Cd) las cuales caen por gravedad al núcleo cuando 2 de las 3 señales de entrada a la lógica de corte, superan los niveles de disparo.

3. El modelo del costo total

Una expresión bien conocida de la indisponibilidad promedio por canal q del sistema de corte, [7] es:

$$q = q_d + \frac{\lambda_s T}{2} + \frac{T_T}{T} + \lambda_s T_R \quad (1)$$

Donde q_d = es la probabilidad de falla a la demanda; $\lambda_s T/2$ = es la indisponibilidad promedio por falla en espera; λ_s = tasa de falla en espera y T = tiempo de entre pruebas; T_T/T = indisponibilidad por pruebas; T_T = tiempo de pruebas; $\lambda_s T_R$ = indisponibilidad por reparación y T_R = tiempo de reparación.

Asumiendo que la probabilidad de falla a la demanda (q_d) es igual a cero, y que $T_T \ll T$ y $\lambda_s T_R \ll 1$ los últimos 2 términos de (1) son pequeños, luego:

$$q = \frac{\lambda_s T}{2} \quad (2)$$

Asimismo, dado que no hubieron fallas de disparo del sistema de corte en los 15 de años de operación del RP10, es decir en aproximadamente 15063h, la tasa de falla en espera estimada de dicho sistema, según [3], es:

$$\lambda_s = \frac{\chi^2_{(0.5;2)}}{2T} = \frac{1,39}{2(15063h)} = 5,6 \times 10^{-5} h^{-1} \quad (3)$$

Donde $\chi^2_{(0.5;2)}$ es el percentil 50% de la distribución Chi cuadrado con 2 grados de libertad.

Considerando que el sistema de corte del RP10 es un sistema redundante (2 de 3), la indisponibilidad Q total es evaluada a partir de la aproximación de segundo orden de la indisponibilidad de un sistema 2 de 3, [2]:

$$Q = 3q^2 + \frac{3\beta q}{2} \quad (4)$$

Donde β = es el factor beta de falla por causa común = 0.1, [6].

Por otro lado, la indisponibilidad del sistema de corte, puede causar la falla de al menos 2 elementos combustibles, si también ocurre una inserción rápida de reactividad.

Este evento propuesto consistiría en la inserción no controlada de una reactividad de \$1.5 en 300ms, a través del izaje accidental de un elemento combustible y su posterior caída durante el arranque, de acuerdo a [4].

Asumiendo que el evento iniciante propuesto ocurrirá al menos una vez durante el tiempo

de vida útil del reactor, la correspondiente frecuencia será:

$$p = \frac{1}{30 \text{ años}} = 0.033 \text{ años}^{-1} \quad (5)$$

De acuerdo a las simulaciones efectuadas en [4], la ocurrencia simultánea de la indisponibilidad del sistema de corte y del evento propuesto, ocasionará la falla de 2 elementos combustibles y la liberación de los productos de fisión, con los costos señalados en la Tabla 1, [1]:

Tabla 1. Costos de las consecuencias de los eventos propuestos.

Componente	Costo US\$
2 EECC nuevos	120 000
Transporte y almacenamiento de 2 EECC fallados (10 años)	4 000
Disposición final de 2 EECC fallados	10 000
Costos regulatorios	2 000
Pérdida de producción por parada	24 000
Cambio de resinas iónicas	40 000
Costo total de las consecuencias (C_c)	200 000

EECC: Elementos Combustibles

Asumiendo la independencia entre la indisponibilidad del sistema de corte por falla en espera (Q) y el evento de inserción de reactividad postulado (p), la probabilidad de ocurrencia de ambos eventos (r), de (4) y (5) es:

$$r = p Q \quad (6)$$

Luego el costo de las fallas inseguras es evaluado como el costo esperado de las consecuencias del evento propuesto y de la indisponibilidad del sistema de corte; es decir del costo total de las consecuencias C_c y de (6):

$$C_{FALLA INSEGURA} = C_c r = C_c p Q \quad (7)$$

Por otro lado, las pruebas del sistema de corte consisten en la medición del tiempo de caída de las barras de control y seguridad, esto es, el tiempo transcurrido entre la señal de disparo y la señal de nivel inferior, cuando las barras están totalmente insertadas en el núcleo. Normalmente esta prueba se realiza cada vez que se cambia la configuración del núcleo ó cada 1000 h de operación a fin de prevenir las fallas inseguras, [5]. Entonces, el costo anual de las pruebas es:

$$C_{PRUEBA} = C_p \frac{N}{T} + C_B \quad (8)$$

Donde N / T = número de pruebas anuales; N = tiempo de operación anual; C_p = costo total por prueba; y C_B = costo anual de las pruebas por cambio de núcleo y es independiente de T .

Finalmente para hallar el tiempo entre pruebas óptimo, se define el costo total anual como la suma del costo anual de las pruebas y del costo anual de las fallas inseguras, es decir de (7) y (8) :

$$C_{TOTAL} = C_c p Q + C_p \frac{N}{T} + C_B \quad (9)$$

4. Determinación del tiempo entre pruebas óptimo

Para determinar el costo total anual mínimo como una función del tiempo entre pruebas T , (4) es reemplazado en (9) y esta ecuación se deriva con respecto a T y luego se iguala a cero, con lo cual se obtiene:

$$(6C_c p \lambda_s^2) T_{op}^3 + (3C_c p \lambda_s \beta) T_{op}^2 - 4C_p N = 0 \quad (10)$$

Asimismo, para régimen actual de operación y mantenimiento del RP10 se tienen los siguientes datos presentados en [1]:

$$\begin{aligned} C_p &= 112 \text{ US\$} \\ N &= 1000 \text{ h / año} \\ C_c &= 200\,000 \text{ US\$} \\ p &= 0.033 / \text{año} \\ \lambda_s &= 5 \times 10^{-5} / \text{h} \\ \beta &= 0.1 \end{aligned}$$

Resolviendo analíticamente (10) se determina que el tiempo entre pruebas óptimo $T_{op} = 1500\text{h}$. También, se encuentra que tiempo entre pruebas óptimo T_{op} se halla entre 600h y 7000h con una probabilidad del 90%, y que es más sensible a las variaciones de la tasa de fallas en espera λ_s .

5. Conclusiones

Asumiendo que el RP-10 opera 1000 h al año, se encuentra que el intervalo entre pruebas óptimo del sistema de corte es igual a 1500 h, es decir para un régimen de operación de 20 h por semana, el sistema de

corte debería ser probado cada 75 semanas para minimizar el costo total anual del sistema de corte. Aplicando esta recomendación se obtiene un ahorro anual de US\$ 13, el cual se traduce en un valor presente US\$ 85, suponiendo un periodo de 15 años a una tasa de interés del 12.5%. Es decir no amerita modificar el tiempo entre pruebas actual (1000h) puesto que el ahorro que se obtiene no es significativo.

Agradecimiento

A David J. Winfield, Deep River Ontario Canadá, por sus valiosos comentarios y sugerencias.

Bibliografía

1. Aguirre A. H., *Metodología para el aumento de la seguridad y disponibilidad de la operación del reactor nuclear de investigación RP-10 del IPEN*. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, 2004.
2. Fleming K. N., Kalinowski A.M. *An extension of the beta factor method with high levels of redundancy*, PLG – 0289, Pickard Lowe and Garrick, 1983.
3. IAEA, *Manual on Reliability Data collection for Research Reactor PSA*, TECDOC 636 1992 p.32-33.
4. Lázaro G., *Análisis de accidente por inserción de reactividad 1.5\$ / 300ms del núcleo 25 del reactor RP10 y máxima reactividad por experimentos*, Reporte Técnico DRE CASME 0791 IPEN, Lima 2003.
5. Ovalle E., Canaza D., Urcia A., Castro J., Arrieta R., *Tiempo de caída libre de las barras de seguridad y control en el reactor nuclear RP10*, Reporte Técnico No. 08/99 IPEN, Lima 1999.
6. Stewart M., Melchers R., *Probabilistic risk assessment of engineering system*, London Chapman & Hall, 1997, p. 178-179.
7. Vaurio J.K., *Availability of redundant safety systems with common mode and undetected failures*, Nuclear Engineering and Design. 58 1980, p. 415-424.

Validación del programa FERCIN para la calibración de las barras de control del reactor RP-10

José Castro⁽¹⁾ jcastro@ipen.gob.pe; Magaly Zapata⁽²⁾ magalibalcazar@yahoo.com;
Rubén Bruna⁽³⁾ rbruna@ipen.gob.pe

(1) IPEN, Dirección General de Instalaciones, Cálculo, Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

(2) Universidad de Ingeniería, Av. Tupac Amaru s/N, Lima 1, Perú

(3) IPEN, Oficina Técnica de la Autoridad Nacional, Calle Sánchez Carrión No. 456
Magdalena del Mar, Lima, Perú

Resumen

A fin de incorporar un nuevo sistema de calibración de las barras de control, que permita obtener resultados con menor incertidumbre y en menor tiempo, se realizaron pruebas para la validación de los programas Fercin 1 y 2 que forman parte del sistema de ruido neutrónico adquirido mediante el convenio Perú-Argentina. Las opciones del programa que se validaron fueron las del reactímetro y rod-drop por comparación con el método del Período Asintótico, que es el usualmente empleado por el grupo de operación. La configuración de núcleo utilizada fue la N° 24.

1. Introducción

La calibración de barras de control en un reactor nuclear es muy importante tanto para saber la inserción de reactividad negativa que se inserta al núcleo, como para conocer el exceso de reactividad del mismo. Existen diversos métodos para realizar la calibración de barras.

La validación del programa FERCIN consiste en comparar en forma experimental tres métodos de calibración de barras conocidos, como son: Método del Período Asintótico, Método del Reactímetro y el Método Rod – Drop. Todos estos métodos de calibración trabajan en función de la cinética inversa; es decir, se conoce la evolución de la población neutrónica y se desea conocer la evolución de la relación Producción/Destrucción, que en nuestro caso sería la reactividad, ya sea expresada en \$ (dólares) o pcm (partes por cien mil). Otro criterio que se emplea en el proceso de calibración es el método MRP (Modelo del Reactor Puntual), que consiste en definir la evolución de la densidad neutrónica como función del Factor de Forma y de la Potencia, donde existe separabilidad espacio-energética temporal, según se observa en la ec. (1)

$$N(\vec{r}, E, t) = \varphi(\vec{r}, E) * p(t) \quad (1)$$

y donde $\varphi(\vec{r}, E)$ permanece constante, y por tanto la evolución de la densidad neutrónica es la misma en cualquier punto del reactor y para cualquier energía y coincide con la evolución de potencia.

Para analizar cuantitativamente el MRP es necesario un modelo que involucre a más de un grupo de neutrones retardados, es por ello que se emplea la siguiente ec. (2)

$$\left. \begin{aligned} \frac{dn(t)}{dt} &= \frac{(\$ - 1)}{\Lambda^*} n(t) + \sum_{i=1}^m \lambda_i c_i(t) \\ \frac{dc_i(t)}{dt} &= b_i \frac{n(t)}{\Lambda^*} - \lambda_i c_i(t) \quad i = 1, 2, \dots, m \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Resolviendo convenientemente estas ecuaciones, se obtiene la ecuación Inhour para las raíces aceptables de la ecuación que pueden obtenerse a partir de datos experimentales con un error aceptable, ec. (3).

$$\left. \begin{aligned} \$ &= \pm \frac{\Lambda^*}{T} + \sum_{i=1}^m \frac{b_i}{(1 \pm \lambda_i T)} \\ \$ &= -\Lambda^* \alpha - \sum_{i=1}^m \frac{b_i \alpha}{(\lambda_i - \alpha)} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Métodos de Estimación de la Reactividad

Método del período asintótico: Donde T de la ecuación Inhour se obtiene midiendo el tiempo de duplicación de n(t), llamado t₂.

$$T = \frac{t_2}{\ln 2}$$

este método puede aplicarse con instrumental propio del reactor y un cronómetro.

Método del reactímetro digital: Consiste en determinar $\rho_p(t_k) = \rho_k$ a partir de los valores $n(t_k)$, proporcionado por una cámara externa basada en el MRP y que con la ayuda de una tarjeta conversora en una PC, y con el programa FERCIN1, resuelve las ecuaciones del MRP estimando $\rho_p(t_k)$, que es la información requerida.

Método Rod-Drop basados en MRP y CEM: Consiste en estimar la efectividad ρ_o de las barras de control empleando el MRP, que considera para este caso tanto la evolución instantánea como retardada, lo que da lugar a un cambio en la función de forma por lo cual la evolución de la densidad neutrónica no será la misma en cualquier punto del reactor. Las estimaciones de ρ_o , que son: ρ_{op} , ρ_{od} , ρ_{oi} ; están basadas en el MRP por lo cual la evolución temporal de la función de forma es la misma, en consecuencia solo estarían afectados por los efectos espaciales los cuales deben corregirse por otros factores que tengan en cuenta el cambio en la función de forma. Para ello se aplica el método Rod - Drop m, que se basa en un modelo cinético espacial modal, luego ρ_{om} , se obtiene ajustando los datos experimentales $C_N(t_k)$ para la evolución retardada, con una función $F(t)$ que se obtiene del modelo. El efecto espacial resulta de comparar ρ_{op} y ρ_{om} .

2. Método Experimental

Método del período asintótico:

Esta metodología es conocida y consiste en llevar al reactor a un estado supercrítico moderado a partir de una posición de equilibrio o crítico a baja potencia, de tal modo, que durante la evolución de población neutrónica se pueda tomar nota del tiempo del doblaje en diversos intervalos de su evolución, la tasa de cuentas es tomada directamente de la cámara de ionización N° 4 perteneciente a la instrumentación del reactor y la cual se encuentra alejada del núcleo en dirección del conducto tangencial, tal como se observa en la foto de la fig.1.

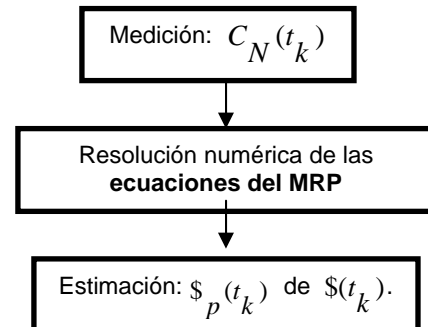


Figura 1. Ubicación de CIC4, en conf. 24.

La información obtenida es procesada para obtener los valores de reactividad de cada una de las barras de control del reactor. Este método también sigue el Modelo del Reactor Puntual (MRP), en cinética inversa.

Método del reactímetro digital:

Para esta experiencia se ha empleado todo un equipo e instrumental alterno al reactor, para cumplir con la siguiente metodología para el Reactímetro Digital:



Los equipos utilizados consiste en:

- Detector (CIC).
- SMS (Sistema de Medición de Señales).
- PC - TCAD (Pc Pentium I con tarjeta de adquisición de datos PCL-818H).

Tal como se observan en la fig. 2.



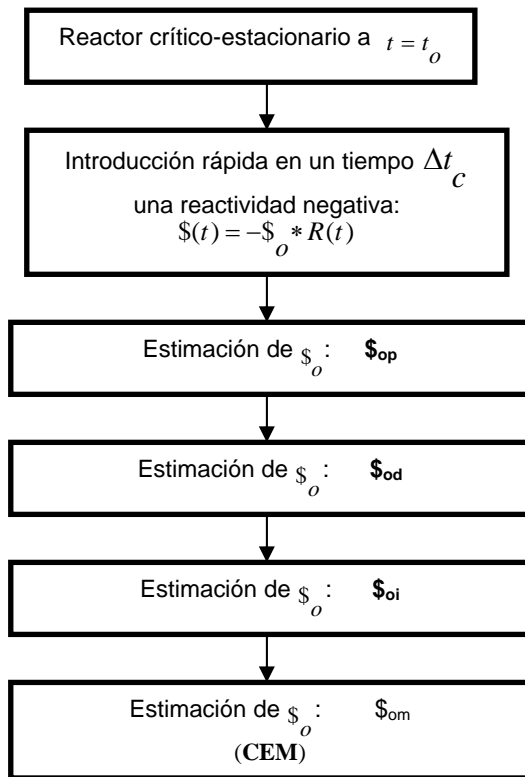
Figura 2. Detector - SMS - PC _TCAD.

El Software empleado por el método del reactímetro digital es el FERCIN 1, que permite realizar la calibración simultánea de dos barras de control por el método de compensación. Las señales de entrada básicas son la tasa de cuentas y las posiciones de barras, que en nuestro caso fueron las barras BC1 y BC2.

Método Rod - Drop:

Para esta experiencia se ha empleado todo el equipo e instrumentos mencionados para el método del reactímetro digital, adicionando un detector y una cadena de

medición al sistema, las pruebas de efectividad de barras se realizaron para BC1 y para todo el Banco de Barras. La metodología de la experiencia es la que se muestra a continuación:



Para BC1 se realizaron 4 pruebas, donde CIC1 se mantuvo siempre en la posición C1, mientras que CIC2 se ubico en la posición G1, B4 e I9, respectivamente, esta ultima posición se realizo 2 veces debido a no considerar el nivel de potencia requerida en la experiencia, la cual fue subsanada luego. El caso del Bco. de Barras se realizo en una única oportunidad, teniendo la disposición de las cámaras CIC1 en C1 y CIC2 en I9, tal como se muestra en el esquema resumen de la Fig. 3.

TN	NG	CIC	NG	NG	NG	CIC	NG	NG	○
RABIT		001	004	027	012	002	011		
NG	NB	NN	NN	NN	NN	NN	NB	NG	⊖
005	001	028	024	020	007	025	002		
NG	NB	NN	NC	NN	NC	NN	NB	NG	CF
		003	006	005	001	003	017	004	003
NG	CIC	NN	NN	NN	NN	NN	PI	NG	⊖
007	002	008	015	004	003	012	005	009	
NG	NB	NN	NN	PI	NN	NN	NB	NG	⊖
006	009	011	014	004	010	002	010	014	
NG	NB	NN	NC	NN	NC	NN	NB	NG	⊖
		005	022	004	009	001	027	006	
NG	NB	NN	NN	NC	NN	NN	NB	NG	⊖
		007	023	019	007	016	026	008	
NG	NG	NG	NG	NG	NG	BCF	NG	NG	⊖
		010	008		028		023		
PI	NG	NG	⊖	NG	NG	NG	NG	CIC	⊖
006								002	
⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	CF	⊖
								001	

CONDUCTO TANGENCIAL

Figura 3. Disposición de CIC1 y CIC2 para las experiencias de Rod – Drop.

Se aclara que la barra de control BC1 se encuentra en la posición F3 alojado por el combustible NC003, la idea es observar la respuesta a diversas posiciones de la cámara CIC2.

Procedimiento para obtener la Reactividad del Banco de Barras y el FSR (Factor de Seguridad de Reactividad)

1. De la calibración de barras realizada con el FERCIN 1 (Método del Reactímetro Digital), se determina la reactividad en exceso a partir del valor de reactividad de las barras que quedan insertadas en el núcleo, ρ_{exc} .
2. Se determina la Reactividad de extinción a partir de la experiencia del Rod – Drop, el dato que se toma es el promedio de $\rho_{om}^{(ext)}$ de las dos cámaras CIC1 y CIC2.dando ρ_{ext}
3. Se determina la Reactividad del Banco de Barras, como:

$$\rho_{Bco} = \rho_{exc} + \rho_{ext}$$

4. El FSR es:

$$FSR = \frac{\rho_{Bco}}{\rho_{exc}}$$

y según normas este valor debe ser mayor o igual a 1.5.

3. Resultados

A continuación se presentan los resultados de las experiencias realizadas:

Por el método de reactímetro digital, empleando FERCIN 1.

Tabla 1. Calibración de BC1 y BC2 por Método del Reactímetro digital.

Barra	1ra Experienc (\$)	2da Experienc (\$)	3ra Experienc (\$)
BC1	3.81±0.001	3.7±0.001	3.65±0.001
BC2	3.61±0.001	3.6±0.001	3.4±0.001

Por el Método del Período Asintótico, empleando la instrumentación del Reactor, obtuvimos los siguientes resultados de la calibración de BC1 y BC2.

Tabla 2. Calibración de BC1 y BC2 por Método de Período Asintótico.

Barra	Única Experiencia (\$)
BC1	3.4 ± 0.0016
BC2	3.15 ± 0.0016

Para el cálculo de errores se empleó sólo el experimental, proveniente del parámetro directo para obtener la reactividad, que es el tiempo de doblaje, dado que se toman tres tiempos de doblaje, el error de la medición es:

$$\sigma_{\bar{t}} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^3 (\bar{t} - t_j)^2}{2}} \quad \sigma_{\bar{t}} = 2.3$$

Por teoría de errores se tiene la siguiente expresión para el cálculo de error de la reactividad:

$$\sigma_{\rho} = \frac{\partial \rho}{\partial T} * \frac{\partial T}{\partial \bar{t}} * \sigma_{\bar{t}}$$

Donde:

$$\rho = \frac{l}{\beta(l+T)} + \frac{T}{(l+T)} \left[\sum_{i=1}^6 \frac{b_i}{(1+\lambda_i T)} \right]$$

y;

$$T = \frac{t}{\ln 2}$$

El error sistemático que acompaña al error experimental para el cálculo del error de reactividad será discutido en el punto 4.

Por el Método de Rod – Drop y empleando el programa FERCIN2 se obtuvieron los siguientes resultados para BC1:

Tabla 3. Resultados de Rod-Drop para Scram BC1.

Estimac. de ρ en CEM y MRP	Exp 1		Exp 2	
	CIC 1 C1	CIC2 G1	CIC 1 C1	CIC2 B4
$\$_{om}$	4.153 ± 0.019	4.144 ± 0.016	4.342 ± 0.019	4.209 ± 0.016
$\$_{oi}$	4.89	6.03	4.89	4.47
$\$_{od}$	5.06	6.48	5.01	4.53
$\$_{op}$	4.8448 ± 0.0048	5.8856 ± 0.0073	4.8597 ± 0.0049	4.4573 ± 0.0049
Efecto Espacial	16.65 ± 0.54	42.01 ± 0.58	11.91 ± 0.50	5.91 ± 0.41

Tabla 4. Resultados de Rod-Drop para Scram BC1.

Estimac. de ρ en CEM y MRP	Exp 3		Exp 4	
	CIC 1 C1	CIC2 I9	CIC 1 C1	CIC2 I9
$\$_{om}$	4.378 ± 0.025	4.298 ± 0.016	4.451 ± 0.016	4.344 ± 0.015
$\$_{oi}$	4.89	4.39	4.91	4.39
$\$_{od}$	5.00	4.41	5.01	4.39
$\$_{op}$	4.8630 ± 0.0049	4.3866 ± 0.0044	4.8630 ± 0.0049	4.3813 ± 0.0044
Efecto Espacial	11.08 ± 0.64	2.06 ± 0.40	9.71 ± 0.40	0.87 ± 0.37

Tabla 5. Resultados de Rod-Drop para Scram Total.

Estimación de ρ en CEM y MRP	SCRAM TOTAL	
	CIC 1 C1	CIC2 I9
$\$_{om}$	9.691 ± 0.019	6.324 ± 0.108
$\$_{oi}$	14.16	16.17
$\$_{od}$	14.61	17.71
$\$_{op}$	14.0367 ± 0.0140	15.7404 ± 0.0248
Efecto Espacial	44.84 ± 2.39	148.91 ± 4.27

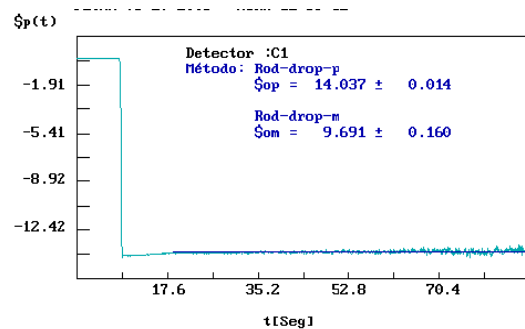


Figura 4. Rod – Drop de Bco. de Barras visto con CIC1 en C1.

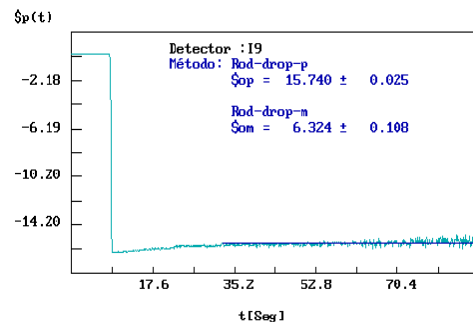


Figura 5. Rod – Drop de Bco. de Barras visto con CIC2 en I9.

Por re-cálculo con FERCIN4 y ESTADIST se obtienen nuevos valores para el CEM y

MRP. FERCIN4 es un programa de ajuste para los datos obtenidos por FERCIN2.

Tabla 6. Resultados de Rod-Drop para Scram Total corregida con FERCIN4 y ESTADIST.

Estimación de ρ en CEM y MRP	SCRAM TOTAL	
	CIC 1 C1	CIC2 I9
$\$_{om}$	9.72 ± 0.048	6.685 ± 0.040
$\$_{op}$	14.048 ± 0.0005	15.802 ± 0.009
Efecto Espacial	44.048 ± 0.713	122.122 ± 1.345

Con la información obtenida de la aproximación a crítico previo a las experiencias se obtuvo la siguiente posición de barras: BS1:BS2:BS3=100%, BC1=57.1% extraída, BC2= 0% extraída. De la calibración de barra se tomaron los valores respectivos a BC1 y BC2 y se obtuvo \$ 5.21, que sería la reactividad en exceso del núcleo.

$$\$_{exc} = 5.21 \pm 0.007 \text{ dólares}$$

La reactividad de extinción se toma de los datos de Rod – Drop del Banco de Barras (corregido),

$$\$_{ext} = 9.72 \pm 0.048 \text{ dólares}$$

La reactividad del Bco. de Barras es:

$$\$_{Bco} = \$_{exc} + \$_{ext}$$

$$\$_{Bco} = 14.93 \pm 0.004 \text{ dólares}$$

Por último el factor de seguridad de reactividad será:

$$FSR = 2.86 \pm 0.001$$

4. Discusión

Como se podrá observar de las experiencias de Calibración de Barras: Período Asintótico y Reactímetro Digital; este último método de calibración es más confiable, debido a que el proceso es directo, tanto en el control de posición de barras como de la información del cambio en la tasa de cuentas de neutrones. Considerando que el Método del reactímetro digital tiene también sus errores sistemáticos; sin embargo, estos son menores que los del método del período asintótico, donde no se consideran la toma de datos visual por parte del operador tanto en el cronómetro como en el medidor de corriente de cámara ($\phi M4$), como también

por la temperatura u otros fenómenos externos. Es por esta razón que si consideramos el método del R.D. como válido, tenemos que existe un error sistemático de un 6.8% para BC1 y de 7.35% para BC2, en el método del P.A., por lo tanto los valores de reactividad serían $\$_{BC1} = 3.4 \pm 0.068$ y $\$_{BC2} = 3.15 \pm 0.073$ respectivamente.

En el método de Rod – Drop, la efectividad de las barras expresada en dólares es mayor que el de una calibración normal, debido a que se considera tanto la evolución instantánea como retardada, como se explicó anteriormente, además es una medición de reactividad de toda la barra, y no por tramos como en los casos anteriores, es por esta razón que se hizo la prueba con BC1, que calibrada por Rod-Drop nos da $\$_{opBC1} = 4.863$ mientras que por R.D., se obtiene un valor de $\$_{pBC1} = 3.65$, si consideramos el efecto cinético espacial modal este valor resulta $\$_{omBC1} = 4.451$, con el cual se puede determinar el efecto espacial como:

$$E.E. = \frac{\$_{opBC1} - \$_{omBC1}}{\$_{omBC1}} * 100 = 9.71$$

Siempre el método de Rod-Drop dará un mayor valor de reactividad de la barra a estudiar. Sin embargo, este método se emplea mejor para determinar la efectividad del banco de barras, que sería la reactividad de extinción dado por $\$_{omBco}$.

Teniendo la reactividad de exceso del núcleo y la reactividad de extinción se calcula la reactividad del banco de barras, y luego el factor de seguridad de reactividad, que en nuestro caso es de 2.86, cumpliendo con las normas que establecen que este valor debe ser igual o superior a 1.5.

Una manera de verificar si estos resultados son confiables en el tiempo se realiza una comparación de reactividad de la misma configuración N° 24, pero de una fecha cercana al inicio del ciclo, en donde la reactividad en exceso debió ser mayor.

	Oct 2002		Mzo 2003	
	pcm	\$	pcm	\$
$\$_{Bco}$	15020.85	19.26	11645.4	14.93
$\$_{ext}$	10105.35	12.95	7581.6	9.72
$\$_{exc}$	4915.50	6.30	4063.8	5.21
FSR	3.056	3.056	2.87	2.87

Se observa coherencia en los resultados, la reactividad en exceso disminuye por el

quemado de combustible, la reactividad de extinción va acorde con el quemado y es por esa razón que el FSR también disminuye, pero manteniéndose en los límites.

5. Conclusiones

Se ha podido verificar que el empleo, tanto del FERCIN1 como FERCIN2, son más confiables y eficientes para la determinación de la efectividad de las barras de control, que el método del período asintótico. El tiempo de ejecución de las experiencias es menor y los resultados de calibración son inmediatos, quedando registrados en archivos creados por el mismo programa.

Los valores encontrados son confiables dado que han sido contrastados con otros datos. Se puede afirmar que tanto el sistema de medición de señales, su sistema de adquisición de datos y los programas FERCIN1 y FERCIN2 han sido validados satisfactoriamente y con márgenes de incertidumbres por debajo del 5%.

Bibliografía

1. Gómez, A. Manual de usuario. Documento Técnico CNEA, CNEA.C.RCN.MUS.021, Bs. As. Argentina, 1998.
2. Gómez, A. Medición de reactividad en el reactor RA-3. CNEA.C.RCN.INT.113, Bs. As. Argentina, 2002.
3. Gómez, A. Mediciones de parámetros neutrónicos del reactor RA-3 durante la puesta en marcha en mayo del año 2000. CNEA.C.RCN.ITE.136, Bs. As. Argentina, 2002.
4. Castro, J. Experiencias de calibración de barras empleando FERCIN 1 y 2. Informe interno CASE, Lima, Perú, 2003.

Cálculo de celda del elemento combustible normal

Alberto Gallardo⁽¹⁾ agallardo@ipen.gob.pe; José Castro⁽¹⁾ jcastro@ipen.gob.pe;
Carla Notari⁽²⁾ cnotari@cnea.gov.ar

(1) IPEN, Dirección General de Instalaciones, Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú
(2) Universidad Tecnológica de Buenos Aires, Argentina

Resumen

En este trabajo se muestra el modelado de la celda y el cálculo de celda para la obtención de las librerías de secciones eficaces macroscópicas para la celda del EECC normal del reactor RP-10, realizado con el código integrado MTR-PC, que incluye al código WIMS-D4 y post-procesadores.

1. Introducción

En los cálculos de física de reactores se necesitan como datos de entrada los valores de las secciones eficaces macroscópicas de los materiales que conforman el núcleo del reactor [1]. Uno de los elementos más importantes del reactor es el elemento combustible (EECC) que está formado por placas combustibles sujetadas mediante dos marcos y una base-boquilla. Dentro de las placas se encuentra el combustible nuclear (U3O8-Al) [2]. Los EECCs dentro del reactor se encuentran inundados de agua, que también forma parte de los materiales que conforman la celda del EECC.

La celda viene a ser aquella área rectangular de 77mm x 82mm en las que se puede dividir la superficie de la grilla que sostiene a todos los elementos que conforman el núcleo del reactor.

Las secciones eficaces macroscópicas son constantes, propiedades del material, relacionadas con la reacción con los neutrones. Para el cálculo de estas secciones eficaces utilizamos el código WIMS-D4 y post-procesadores del MTR-PC.

2. Modelo del EECC

El código WIMS resuelve la ecuación de transporte de los neutrones, en un modelo unidimensional. Por lo tanto, los volúmenes de los materiales que forman la celda del EECC, deberán uni-dimensionarse. El EECC tiene geometría tipo rectangular y en slabs. Asumiendo, sección constante, según Figura 1 y 2. El modelo 1-D se hará, normalizando las áreas al semi-espesor del combustible y y regionalizándolas de acuerdo a Figura 3 y 4.

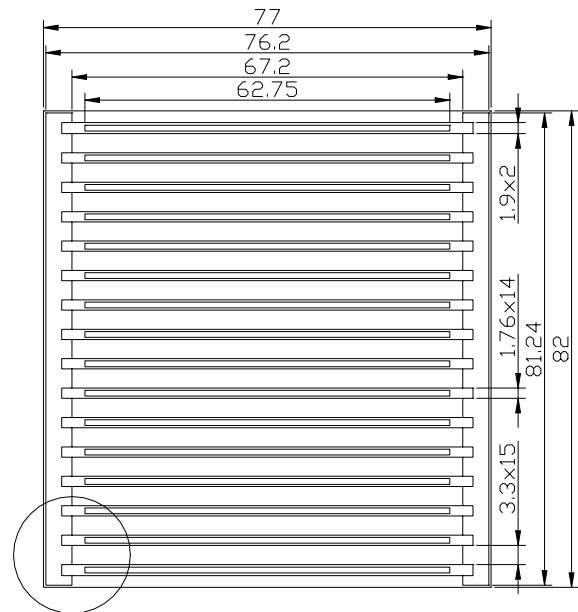


Figura 1. Sección del EECC Normal.

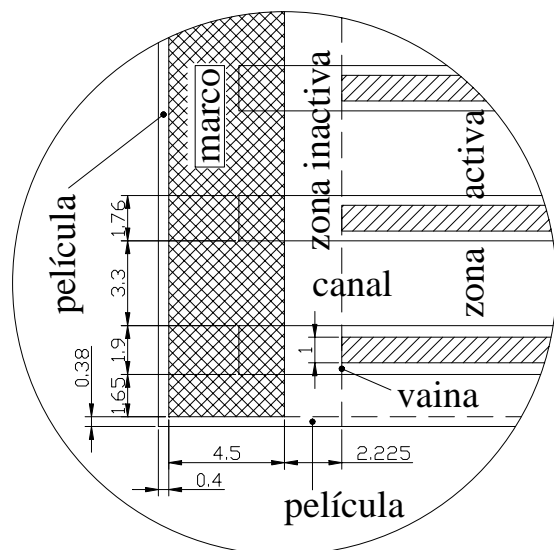


Figura 2. Detalle Sección del EECC Normal.

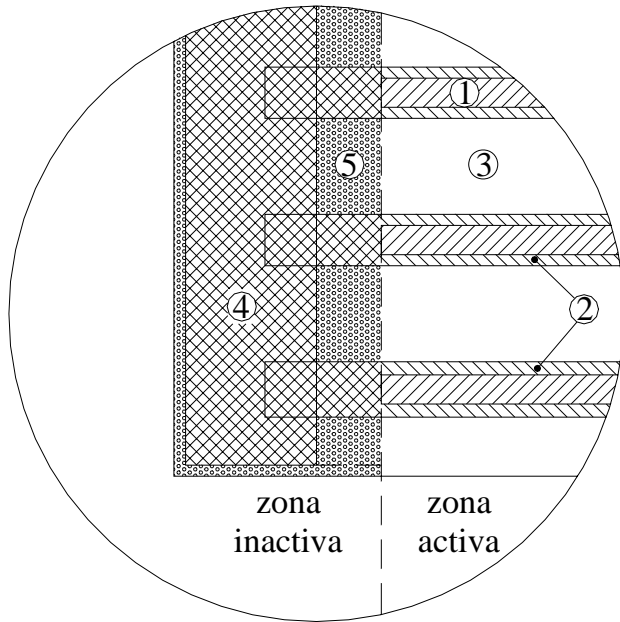


Figura 3. Regiones del EECC Normal para el Modelo 1-D WIMS.

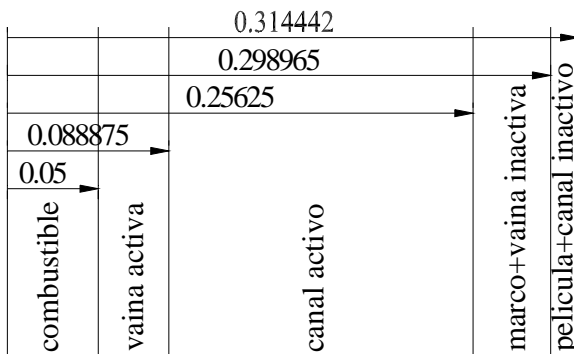


Figura 4. Slabs en el Modelo 1-D WIMS.

Una vez obtenido el modelo 1-D, con los datos nucleares de los materiales y otros datos [3] se construye el archivo de datos de entrada, para calcular las constantes nucleares de la celda (zona activa con EECC y zona inactiva).

3. Resultados

Tabla 1. Constantes Nucleares Zona Inactiva del EECC Normal.

0 Mwd/TonU	
1.8564E+00	6.1112E-01
5.4827E-04	1.1092E-02
2.3793E-04	1.2460E-02
0.0000E+00	0.0000E+00
0.0000E+00	0.0000E+00

Tabla 2. Constantes Nucleares Zona Activa del EECC Normal.

0 Mwd/TonU	
1.3652E+00	2.5820E-01
5.6510E-03	2.6691E-02
4.8936E-04	1.1226E-01
5.2662E-03	1.9332E-01
2.1316E-03	7.9540E-02
50000 Mwd/TonU	
1.3649E+00	2.5398E-01
5.5600E-03	2.7307E-02
4.1683E-04	9.5037E-02
3.9602E-03	1.5105E-01
1.5893E-03	6.1499E-02
100000 Mwd/TonU	
1.3639E+00	2.4899E-01
5.5049E-03	2.8120E-02
3.2430E-04	7.3357E-02
2.6718E-03	1.0328E-01
1.0575E-03	4.1526E-02

Los resultados mostrados son parte de los obtenidos para distintos grados de "quemado" (consumo del combustible nuclear U235). Sin embargo, para la zona inactiva se ha adoptado los resultados a quemado 0 Mwd/TonU.

Los valores corresponden a las siguientes variables y unidades:

Mwd/TonU	
D ₁ (cm)	D ₂ (cm)
Σ _{a1} (cm ⁻¹)	Σ ₁₋₂ (cm ⁻¹)
Σ ₂₋₁ (cm ⁻¹)	Σ _{a2} (cm ⁻¹)
vΣ _{f1} (cm ⁻¹)	vΣ _{f2} (cm ⁻¹)
Σ _{f1} (cm ⁻¹)	Σ _{f2} (cm ⁻¹)

4. Discusión

En la evolución de las constantes de celda de la zona activa, se observa que disminuye los valores excepto en Σ₁₋₂. La disminución es más importante en Σ_{a2}, esto es, la absorción en el rango térmico, lo cual es de esperar debido al "quemado" del U-235.

También, es importante señalar que el modelo adoptado de 5 slabs para el EECC, es un modelo clásico. Sin embargo, analizando la geometría, observamos que el marco del EECC está más alejado del combustible que la zona de agua inactiva en el canal, por lo que se podría plantear otros modelos.

5. Conclusiones

Se debe tener en cuenta que los resultados obtenidos son una primera aproximación de las constantes de celda, que serán empleados en los cálculos de reactor, cuyos resultados deberán contrastarse con los valores experimentales.

Referencias

1. Carla Notari; Curso I: Física de Reactores – Estática. Maestría en Reactores Nucleares, Comisión Nacional de Energía Atómica, Argentina.
2. Nukem GMBH; 32 Fuel Elements for the MTR Reactor RP 10 – No NN 001 to NN 032 – 5241/1, Alemania, 1984.
3. Alberto Gallardo; Determinación de las Temperaturas Promedio del Núcleo a Plena Potencia, Informe Interno IPEN, Perú, 11-11-2004.

III. Aplicaciones en la Industria y Medio Ambiente

Estudio de filtraciones de relaves mineros aplicando técnicas de trazadores en minas del Departamento de Cajamarca

Jacinto Valencia⁽¹⁾ jvalencia@ipen.gob.pe; Gerardo Maghella⁽¹⁾ gmaghella@ipen.gob.pe;
Enoc Mamani⁽¹⁾ emamani@ipen.gob.pe; Jorge Condori⁽¹⁾ jcondori@ipen.gob.pe

1) IPEN, Dirección General de Seguridad Radiológica, Dirección de Aplicaciones
Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

Resumen

El presente estudio tuvo como finalidad determinar la posible conexión entre agua de "bofedales" y filtraciones de agua de mina que afloran en el sector adyacente al bofedal, utilizando la técnica de trazadores radiactivos.

1. Introducción

A fin de mitigar el impacto del cierre de operaciones mineras en el medio ambiente, se requiere conocer la relación entre aguas de manantial con las filtraciones que ocurren generalmente en los depósitos de desmonte de mina. Para ello, la facilidad de detección y contaje de campo de las radiaciones hacen que éstas sean de uso muy frecuente en estudios de hidrología.

Existe una serie de radionucleidos utilizados en estudios de aguas subterráneas. Un factor importante en la selección de trazadores es que tengan alta movilidad al ser inyectados en un medio acuoso, lo cual suele conseguirse utilizándolos en forma neutra o aniónica; con ello se consigue que sean fácilmente detectables en cantidades muy pequeñas y que no perturben las características del flujo de agua subterránea, haciéndolos apropiados para su utilización en estudios hidráulicos locales. La observación del movimiento del trazador con detectores permite conocer in situ la relación y su distribución espacial en las cercanías del lugar de inyección.

La disminución de la radiactividad en función del caudal de agua en circulación hacia el interior del punto de inyección, permite hacer la estimación de la conductividad hidráulica local mediante la ecuación siguiente:

$$C_t / C_0 = e^{-Bt}$$

C_t = concentración de trazador en el punto de inyección en el tiempo t

C_0 = concentración inicial del trazador ($t = 0$)

B = factor, que es constante en condiciones de flujo en régimen permanente.

Para el presente estudio se tuvo en consideración que el movimiento de las aguas subterráneas se desarrolló en un ambiente que correspondió a un sistema fisurado en rocas volcánicas.

2. Ubicación y descripción del área de estudio

Las pruebas con trazadores radiactivos se efectuaron en la parte SE del actual tajo de mina donde hay presencia de afloramientos de agua que drenan de un bofedal que se ubica en la parte alta. Esta agua está expuesta en superficie debido al corte de carretera y la existencia de una cuneta de drenaje de aguas de lluvia que son vertidas a un canal adyacente al bofedal.

En la parte inferior a estos afloramientos de agua se observó material de relleno constituido por desmonte de mineral de baja ley que cubre un antiguo bofedal en media ladera de la vertiente que drena hacia la quebrada; en este sector existen dos filtraciones, una en la galería y otra en el canal adyacente al bofedal, los cuales son puntos de descarga de aguas de mina en los que se tiene como objetivo establecer su relación o no con agua de los bofedales antes citados. (Figura 1).

3. Metodología

La metodología de trabajo aplicada para el presente estudio fue la inyección de un trazador radiactivo en el punto donde se sospechaba que las aguas estaban en relación con las filtraciones cuya conexión se quería investigar y el monitoreo del trazador en los puntos de control (filtraciones) a través de un muestreo sistemático a intervalos de tiempo de 20 minutos la primera hora, luego de 30 y posteriormente cada 60 minutos.

Para el presente estudio, considerando la naturaleza del terreno, se utilizó como trazador Tritio (3H), emisor de radiación Beta y su medida se ha efectuado en laboratorio, debido a que se requiere para la lectura de un acondicionamiento previo de la muestra.

Asimismo, también se han utilizado trazadores fluorescentes a fin de tener un indicador visual de la presencia del trazador.

La zona en estudio está conformada por rocas volcánicas alteradas hidrotermalmente en diverso grado, con producción de arcillas y afectadas por un intenso fracturamiento – fallamiento.

3.1 Inyección del trazador

El lugar seleccionado para la inyección constituía un sector con fracturas que drenan aguas de un bofedal de la parte alta y una cuneta de drenaje de 90 m de longitud, 1 m. de ancho por 2 m. de altura. Por la naturaleza del suelo y tipo de estructuras se dividió el sector en dos tramos.

- **El Tramo-1**

De una extensión 30 m. constituido por rocas muy fracturadas que presentaban dos estructuras abiertas de un rumbo dominante de N 50° E y 85° SE, puntos que fueron utilizados principalmente para la inyección; inyección de 1 Ci de tritio y 250 gr. de rodamina disueltos en un volumen de 50 l. de agua, luego el paso de agua durante tres horas, a fin de inducir el desplazamiento del trazador.

- **El Tramo-2**

De una extensión de 40 m. aproximadamente, es un tramo integrado mayormente por rocas fracturadas y falladas, abundante presencia de material arcilloso, que recubren las paredes de la cuneta y fracturas en el

punto de inyección, se ha utilizado 40 mCi de I-131 y 250 gr. de uranina y luego el paso de agua durante 3 horas.

A fin de evitar posible una mezcla de trazadores en los puntos de inyección por efecto de la gradiente hidráulica, se procedió primero a aplicar el trazador en el tramo 2 y luego en el tramo 1.

3.2 Monitoreo del trazador

Los puntos de monitoreo fueron establecidos en los lugares de afloramientos de agua de mina: galería, zona adyacente al bofedal y la quebrada; el número de muestras tomadas durante el monitoreo y analizadas fueron en total 119.

El Punto 1 de monitoreo: galería, correspondía a una filtración de agua de mina que salía del interior de ésta, con un caudal de 100 ml/ s. aproximadamente.

Punto 2 de monitoreo, correspondía a un afloramiento de agua de mina, que surgía a partir de una fractura en roca volcánica. Durante la realización del monitoreo se observó un incremento de su caudal; se trataba de agua de mina muy dura y cargada de metales disueltos por la interacción agua-mineral (lixiviación) de Fe, Cu, Mn, que le conferían un color marrón oscuro.

Punto 3 de monitoreo, correspondía a la confluencia de aguas de los 2 puntos de muestreo.

3.3 Resultados del monitoreo

Los puntos de monitoreo registraron la salida del trazador inyectado en el tramo 1. Las muestras obtenidas en envases de 70 ml. Fueron analizadas en los laboratorios del Centro Nuclear del IPEN, en un equipo contador automático Beta, Marca: Packard, Modelo: 300C. Los valores de tritio encontrados en las muestras tomadas durante el monitoreo, se describen a continuación:

En el punto 1 de monitoreo, se registró la salida del trazador con valores de 78 cpm., continuando su paso con valores intermitentes hasta alcanzar el máximo valor de 8,877 cpm, para luego descender hasta valores de fondo 19 cpm.

En el punto de monitoreo 2, se registraron valores de 10 cpm y con un comportamiento irregular, alcanzando su valor más elevado de 108 cpm. a las 21:00 h para luego descender con valores fluctuantes hasta alcanzar el fondo de 7 cpm.

En el punto 3 de monitoreo, se registró el paso del trazador con valores de 30 cpm obteniéndose valores fluctuantes, alcanzándose el máximo valor luego de 9 horas de inyección (866 cpm), para luego descender hasta el valor de 57 cpm a las 15 horas de inyección.

De esto se interpreta, que el tiempo de salida del trazador en el 1er. punto de monitoreo fue de 20 minutos, en el 2do. punto de monitoreo 30 minutos y en el 3er. punto en 01 hr. y 5 minutos; explicable por el tipo de estructuras (sistemas fisurados) que se presentan en las rocas volcánicas de este sector, las que se comportan como zonas de conducción hidráulica preferencial.

Con relación al comportamiento y resultados de la inyección del tramo 2, por las características del terreno, como es abundante presencia de arcillas, posiblemente hacen muy difícil el paso del trazador por las estructuras (fracturas) y además por la adsorción y fijación por arcillas para los trazadores inyectados I-131 y uranina.

4. Conclusiones

- El trazador Tritio inyectado en la parte alta del sector y monitoreado en los 3 puntos de control reporta salida del trazador inyectado, lo que indica relación de conexión entre ambos puntos por movimiento de aguas en el subsuelo en sistema fisurado.
- Los valores mas altos del trazador se han registrado en muestras del punto de monitoreo del 1er. punto; esto indicaría su relación directa con aguas de "bofedal", mientras que en el 2do. punto los valores son mas bajos, lo que llevaría a postular la conexión indirecta entre ambos puntos, en consideración con la distancia y/o efecto de mezcla con otros cursos locales de aguas subterráneas.

5. Recomendaciones

- Hacer pruebas con trazadores en otros cursos de agua dentro del ámbito de la mina, sobre todo en la quebrada y establecer o descartar su relación de conexión con filtraciones.

- Investigar en las inmediaciones, otros cursos de aguas que pueden estar aportando al actual tajó y produciendo la interacción agua-mineral con la consiguiente lixiviación de minerales y generación de aguas ácidas de mina.

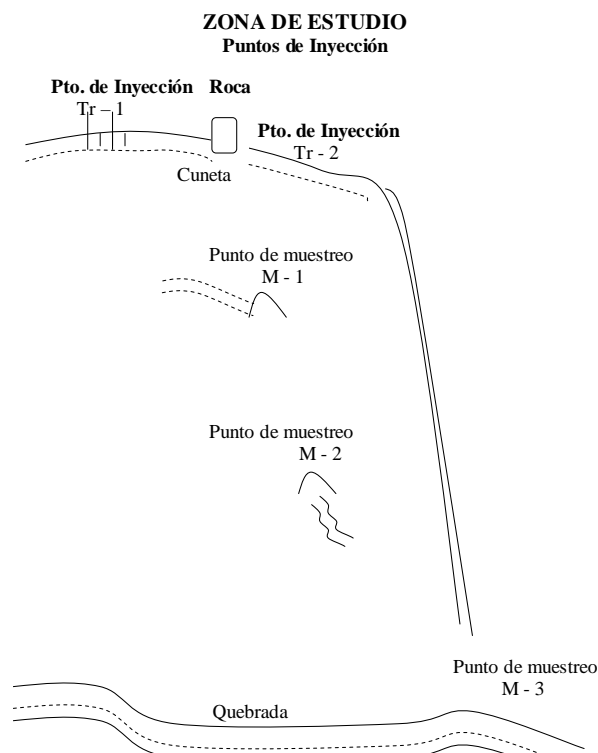


Figura 1. Zona de estudio.

Referencias

- 1) IPEN. Manual de Trazadores. Dirección de Aplicaciones. 2002.
- 2) MAKOEWSKI, P., ZUBER, A. Interpretation of artificial and environmental tracers in fissured rocks with a porous matrix. Isotope Hydrology 1983 (Proc. Symp. Vienna, 1983, IAEA, Vienna (1984).

Estudio de dinámica de aguas subterráneas en pozo utilizando radiotrazadores

Rubén Rojas⁽¹⁾ rrojas@ipen.gob.pe; Gerardo Maghella⁽¹⁾ gmaghella@ipen.gob.pe;
José Maguiña⁽¹⁾ jmaguiña@ipen.gob.pe; Jorge Condori⁽¹⁾ jcondori@ipen.gob.pe

(1) IPEN, Dirección General de Seguridad Radiológica. Dirección de Aplicaciones.
Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

Resumen

Se presenta los resultados del estudio de la dinámica de aguas subterráneas en pozo, utilizando para ello un trazador radiactivo.

1. Introducción

Las velocidades del flujo de aguas subterráneas relacionadas a las actividades mineras se determinan mediante la técnica de radiotrazadores, la cual consiste en inyectar un trazador a lo largo de una columna de agua de pozo, midiendo periódicamente su concentración; la cual es función del decaimiento de la actividad del trazador inyectado y de la disminución de su concentración por la dilución resultante del flujo de aguas subterráneas en la columna de agua.

Considerando los fenómenos hidrodinámicos en pilas de lixiviación, es una práctica común simular el comportamiento que se tendría al inyectar un trazador en un medio poroso que describa las propiedades del medio a estudiar. Para tal fin se han desarrollado modelos que se complementan con las ecuaciones que representan los fenómenos de transferencia de masa. Las constantes empleadas en los modelos son propiedades que se midan experimentalmente y son características de la naturaleza del mineral que se trate. Los resultados de los modelos son empleados para escalamiento, diseño y optimización del proceso para distintos minerales.

El uso de los trazadores con el objetivo de caracterizar el escurrimiento de la solución lixivante en una pila de mineral, se presenta como una herramienta importante para describir este comportamiento Hidrodinámico entregando datos experimentales a nivel industrial para la determinación de parámetros reales y la calibración o validación de los modelos en uso.

Objetivos

Establecer el comportamiento de un trazador en solución acuosa en contacto con la superficie interna de un pozo previamente acondicionado. Cabe destacarse que por efectos de la adsorción del trazador en el medio, parte de éste queda retenido, generándose un contaje en función del paso de trazador a través de las paredes del pozo.

Con estos datos se obtuvo:

- Relación cuentas del detector (cps) vs. profundidad.
- Distancia de inyección mínima desde el piezómetro que permitiera la detección evitando efecto de pared.
- Velocidad vertical del trazador

La ubicación del pozo fue el terreno libre adyacente a la trinchera de residuos líquidos de la Planta de Tratamiento de Residuos Radioactivos de Huarangal.

2. Procedimiento

- Se perforó un pozo de 2.5 metros de profundidad (Figura 1), en ella se introdujo un tubo de PVC de 6" de espesor, colocando en la parte exterior del tubo una filtro de arena y piedra de ¼" de pulgada.

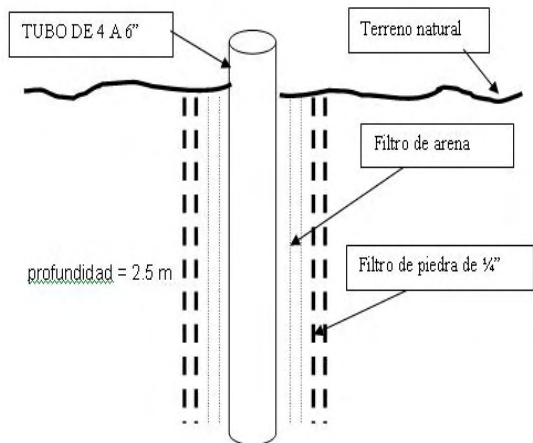


Figura 1. Diagrama del Pozo.

- Se roció agua en la periferia del pozo hasta saturar la arena con una manguera de plástico en forma de aro perforada, de 60 cm aprox. de diámetro.
- Se introdujo 01 detector de centelleo de Ioduro de Sodio a diferente profundidad; se instaló y programó el equipo de adquisición de datos C2MS para lecturas cada minuto.
- Se agregó el trazador (I-131, proporcionado por la Planta de Producción de Radioisótopos, PPR) con concentración aprox. de 50 mCi, disuelto en un balde de 20 litros de agua, en la periferia externa del tubo.
- Se agregó tierra con la finalidad de cubrir la superficie rociada con trazador y así evitar su evaporación.
- Se roció agua a un caudal aproximadamente de 20 litros/ min., durante aprox. 4 horas.
- Se observó el paso del trazador a través del detector.
- Se cambió la manguera de plástico en forma de aro con uno de 70 cm. de diámetro y se mantuvo el mismo caudal.
- Se registraron los datos adquiridos y se procesó la información.



Figura 2. Ubicación de la zona de ensayos.

3. Tabla de Resultados

Tabla 1. Contaje de fondo promedio en el pozo.

Fondo aire (c/s)	50	55	46	48	52	50
Fondo sonda entubada (c/s)	50	60	59	48	51	54

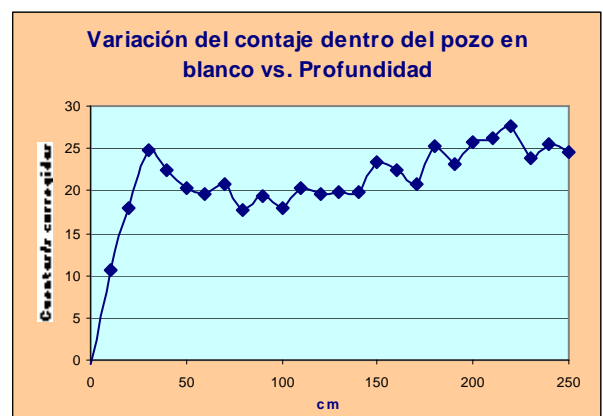


Figura 3. Variación del contaje en el pozo vs. Profundidad.

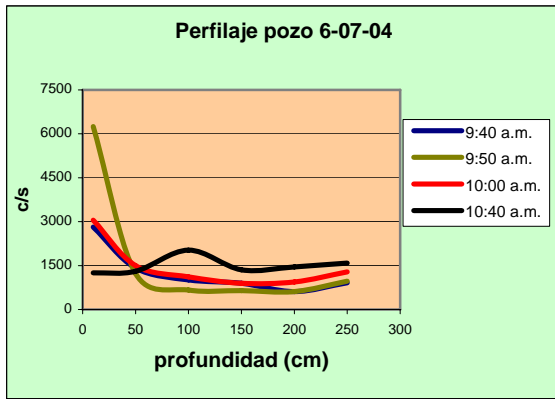


Figura 4. Perfilaje del pozo c/s vs. profundidad.

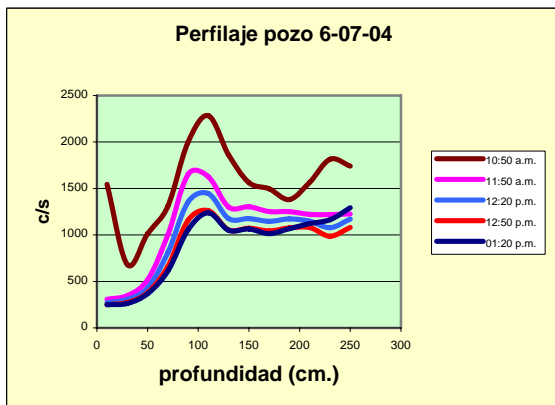


Figura 5. Perfilaje de pozo (continuación).

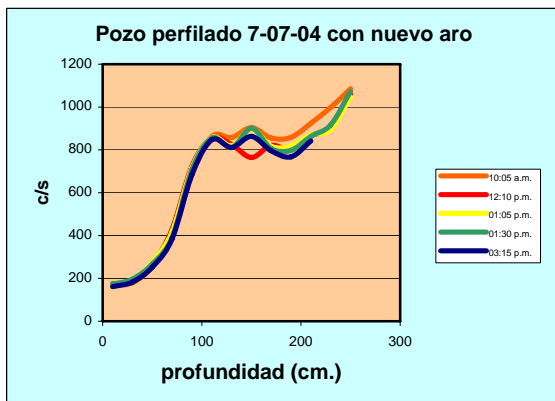


Figura 6. Pozo perfilado con nuevo anillo de riego.

4. Análisis

En las pruebas del perfilaje de fondo de la columna (sin trazador), se observa que existe un incremento en las cuentas hasta aprox. los 30 cm, a partir de lo cual éstas empiezan a decaer ligeramente, manteniéndose el conteo casi en un mismo rango entre los 50 y 140 cm., para luego incrementarse conforme aumenta la profundidad entre los 150 y 250 cm.

Para el caso del perfilaje con trazador, éste se realizó en dos días dado que en el primero (6-julio) se cortó el suministro de agua para el rociado del pozo, por lo que se tuvo que continuar al día siguiente (7 julio) en el cual se cambió el aro que rociaba al pozo.

Se observa que una vez rociado el trazador existe un incremento de conteo a los 10 cm (2815 cps). así como un aumento en el conteo a los 2:50 m, lo que implica un efecto probable de influencia alguna canalización presente en el pozo.

Para el segundo grupo de cuentas (10:50 am a 1:20 pm), se observa el paso del trazador a través de las diferentes profundidades, aunque con un marcado predominio de valores más altos a una profundidad de 1.10 m (2283, 1625, 1445, 1261 y 1239 cps, respectivamente), para luego decaer.

Los valores obtenidos al día siguiente, con el nuevo anillo, difieren con los obtenidos previamente (Figura 6). Se ve un crecimiento paulatino del conteo a medida que se aumenta la profundidad y en lo que concierne a valores de conteo dentro del mismo nivel a diferentes horas, el comportamiento no varía, debido a que ya se ha formado un canal de paso que facilita la percolación del trazador, lo que se demuestra con un ligero declive en la primera hora de conteaje.

Tanto en la Figura 5 como en la Figura 6 se presenta un quiebre después de alcanzar un conteo alto (2283 y 848 c/s) aproximadamente a partir de 1 m. hasta 1.5 m. Este comportamiento tendría que ver con la morfología del suelo a partir de ese punto que facilita o determina algún tipo de canalización o distribución homogénea de material compacto. Asimismo, la forma de las curvas a diferentes horas es prácticamente la misma en todos los casos.

Considerando el efecto que tiene el trazador al regarse sobre la superficie del pozo y su influencia en el tiempo a diferentes

profundidades por efecto de la atenuación de la capa de tierra existente hasta el final del pozo (2.5 m.). A partir de esta consideración, al corregirse los valores por la influencia de la radiación por efecto de la distancia utilizando la Tabla 1, y con los valores promedio de velocidad de cada curva se obtuvo una velocidad promedio de descenso para estas condiciones de trabajo de 1.85 cm./min.

5. Conclusiones

- La velocidad promedio de descenso para las condiciones de trabajo dadas fue de 1.85 cm/min.
- La morfología del suelo facilita o determina algún tipo de canalización o distribución homogénea de material compacto, lo cual se corrobora en el punto de quiebre que se presenta en las gráficas 5 y 6.
- La forma de las curvas a diferentes horas es la misma en todos los casos.
- Existe un marcado predominio de valores más altos a una profundidad de 1.10 m (2283, 1625, 1445, 1261 y 1239 cps, respectivamente), debido a la morfología de los estratos del pozo.

Referencia

1) IAEA. Isotopes Techniques in the Study of the Hydrology of Fractures and Fissured Rocks, Proceedings of an Advisory Group Meeting, Vienna, 17-21 November 1986.

Evaluación de filtraciones de depósito de relaves en una mina ubicada en el sur del Perú

Rubén Rojas⁽¹⁾ rrojas@ipen.gob.pe; Regulo Visurraga⁽¹⁾ rvisurraga@ipen.gob.pe;
José Maguiña⁽¹⁾ jmaguiña@ipen.gob.pe; Jorge Condori⁽¹⁾ jcondori@ipen.gob.pe

(1) IPEN, Dirección General de Seguridad Radiológica. Dirección de Aplicaciones,
Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

Resumen

El presente estudio tiene como finalidad evaluar la hidrodinámica de las filtraciones surgidas adyacentes al dique de relaves de una mina ubicada en el Sur del país, empleando para ello trazador orgánico (Uranina) y radiactivo (Yodo -131).

1. Introducción

La técnica de trazadores consiste en la introducción de una masa muy pequeña (denominada trazador) en un sistema dinámico cuyas características se desea determinar; el monitoreo del desplazamiento del trazador a través del sistema permite determinar estas características. El trazador debe ser fácilmente detectable y la masa del trazador introducido comparada con la masa que se mueve en el sistema, debe ser muy pequeña a fin que no distorsione la dinámica del sistema. Los trazadores se introducen o inyectan en el sistema mediante diversos dispositivos en función de las características del sistema.

Los trazadores radioactivos que emiten radiación gamma como el I-131 son los más fáciles y directos de detectar y tienen además la ventaja de extinguirse con el tiempo, asimismo, el trazador utilizado debe tener características que le permitan seguir la dinámica del sistema sin reaccionar químicamente con el medio o quedar adsorbidos en el camino, razón por la cual en muchos casos se utiliza más de un trazador al mismo tiempo.

Antecedentes

Información de estudios realizados en la zona, pero con técnicas convencionales empleando trazadores químicos (anilina), a

fin de determinar el origen de las filtraciones; indicaban que éstas provenían del depósito de relaves, razón por la que la empresa estaba interesada en determinar la trayectoria de las mismas.

En la inspección previa efectuada a la mina, se apreció la existencia de grietas de un ancho de un centímetro aproximadamente ubicadas muy cerca a la orilla de la margen izquierda del depósito de relaves, las grietas localizadas en un tramo de 20 y 30 metros aproximadamente del punto de contacto del dique con el terreno natural.

También se apreció la existencia de 4 puntos de filtraciones localizados al pie del dique, según se muestra en croquis adjunto, tres de ellas están ubicadas al fondo de una quebrada y cerca al área de contacto del dique con el terreno natural de la margen izquierda del depósito de relaves, y el cuarto punto de filtración se encuentra aproximadamente al pie del centro del dique, cerca al rebose de agua del depósito de relaves o "quena" actualmente en operación. De estas 4 filtraciones, fluye agua clara sin sedimentos, pero existen evidencias que al menos en la filtración F2, en algún momento, el agua salió con sólidos del depósito de relaves.

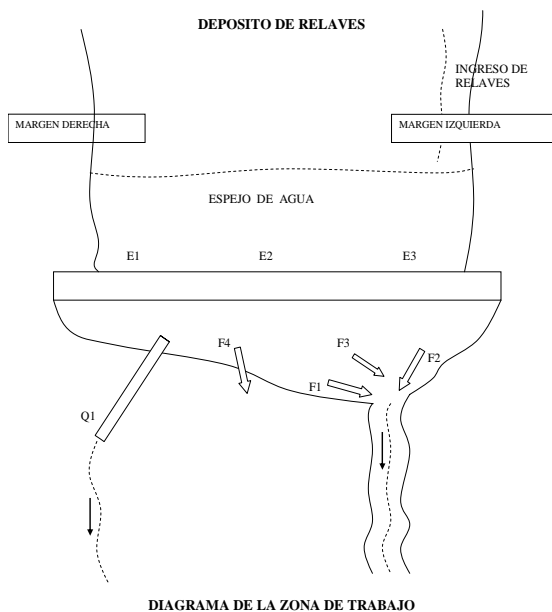


Figura 1. Zona de evaluación.

2. Metodología

La metodología establecida para determinar el origen de las filtraciones en el depósito de relaves de la mina consistió en dividir el perímetro del espejo de agua en 3 tramos mayores:

Frente al dique
Margen izquierda y
Margen derecha

Tramos donde se inyectaron los trazadores I-131 (radioactivo, proporcionado por la Planta de Producción de Radioisótopos, PPR) y Uranina (fluorescente), cuya presencia o ausencia se monitoreó en las 4 filtraciones arriba mencionadas y en la "quena". Dependiendo de los resultados, y en función de los requerimientos de la empresa se preveía repetir los estudios inyectando los trazadores en tramos de menor longitud a fin de determinar las zonas donde se originan las filtraciones con mayor precisión.

Como parte de los trabajos preliminares, en primer lugar se determinaron los valores ambientales o naturales de radioactividad y fluorescencia de las aguas del depósito de relaves, filtraciones y "quenas"; asimismo, se determinaron los valores de conductividad eléctrica y temperatura de estas masas de agua.

Finalmente, se inyectaron los trazadores I-131 y Uranina en los tres sectores del espejo

de agua arriba indicadas, y los detectores del trazador fueron ubicados en los 4 puntos de filtración referidas anteriormente y la "quena" en operación. Los sectores evaluados tuvieron una longitud total de 250 metros aproximadamente: 150 metros frente al dique, 50 metros en la orilla de la margen izquierda y 50 metros de la orilla de la margen derecha.

Trabajos de campo

Se empleó el trazador radioactivo emisor gamma I-131 ($t_{1/2}$ 8.3 días), y el trazador fluorescente Uranina, los que fueron inyectados en las siguientes zonas:

- Espejo de agua paralelo a 5 metros aproximadamente del dique de relaves, en una longitud de 150 metros aproximadamente
- Espejo de agua paralelo a 5 metros aproximadamente de la margen derecha del depósito de relaves, en una longitud de 50 metros aproximadamente
- Espejo de agua paralelo a 5 metros aproximadamente de la margen izquierda del depósito de relaves, en una longitud de 50 metros aproximadamente

La Uranina que le dio una coloración verdosa se utilizó básicamente para tener una información visual del desplazamiento del trazador radioactivo en el espejo de agua; al parecer, este trazador al atravesar las zonas con sedimentos quedó adherido a estos, razón por la cual no se registró su paso (al menos visualmente) en las filtraciones.

La inyección de los trazadores se efectuó mediante un dispositivo construido para tal fin, consistente en un depósito de 10 litros de capacidad con una salida graduada para el tiempo que tomaría la inyección, la inyección se efectuó a 15 centímetros aproximadamente por debajo del espejo de agua. El dispositivo de inyección se montó en un bote suministrado por la empresa y su desplazamiento para efectuar la inyección se efectuó mediante cables de nylon tirados desde tierra.

Monitoreo del paso de los trazadores

A modo de ilustración, se muestran los Gráficos 1 y 2, en el que se consideró el paso de trazador Yodo -131 cada 5 segundos.

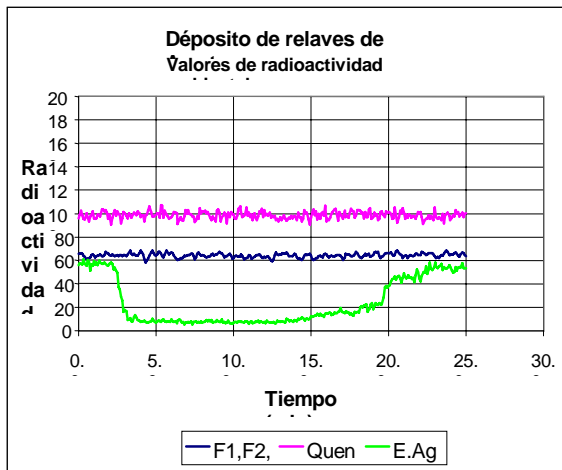


Gráfico 1. Valores de radioactividad ambiental en espejo de agua del depósito de relaves, "quena" y filtraciones al pie del dique.

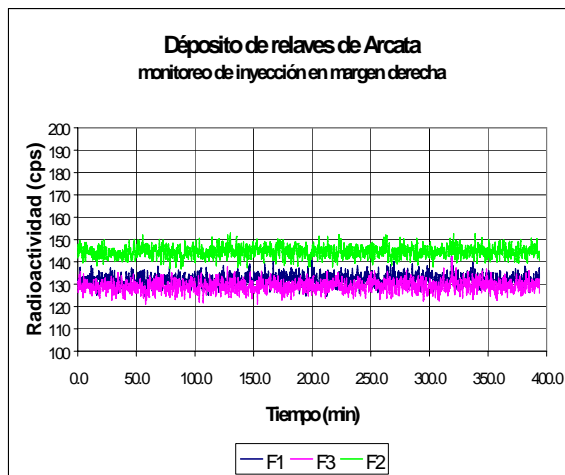


Gráfico 2. Monitoreo de inyección en espejo de agua frente al dique.

3. Discusión de Resultados

El Gráfico 1 muestra los valores ambientales de radioactividad registrados en aguas de filtraciones del conjunto F1, F2 y F3 (el detector se colocó en la confluencia de estas filtraciones) y "quena", los que arrojan valores promedio de 60 y 100 cps (cuentas por segundo), y del espejo de agua que varía entre 10 a 60 cps, en estos últimos resultados se pudo notar que la radioactividad se incrementa en aguas poco profundas, es decir cuando el detector se encuentra a menor distancia de los sólidos o relaves.

En general, de este gráfico se puede concluir que valores mayores a 100 cps podrían ser indicios de la presencia del trazador I-131.

En el Gráfico 2, que corresponde al monitoreo de la inyección del trazador en el espejo de agua frente al dique, muestra que los valores de actividad en las filtraciones del conjunto F1, F2 y F3 permanecieron constantes durante las casi 6 horas que duró el monitoreo, lo cual significa que estas filtraciones no tienen interconexión hidráulica con el espejo de agua frente al dique. Los valores de hasta 1800 cps (bastante mayor que los 100 cps ambientales arriba mencionadas) en la "quena" muestra el paso obligado del trazador a través de este punto en una secuencia de picos menores concordante con la observación visual del paso del trazador fluorescente, y tiene solo un valor referencial.

4. Conclusiones

- De las 4 filtraciones existentes al pie del dique, solo la filtración F2 que tiene un caudal estimado en 0.3 l/s, se pudo establecer proviene del depósito de relaves, las otras 3 cuyo caudal total estimado en 1.7 l/s se hasta donde se efectuaron los estudios su origen.
- Las filtraciones F1, F3 y F4 no provienen de la orilla de la margen derecha del depósito de relaves, al menos no hasta los 50 metros del dique donde termina el espejo de agua.
- Ninguna de las 4 filtraciones existentes proviene del espejo de agua frente al dique.

Referencia

- 1) Troisi, S., et.al. Aspects of hydrodynamics in fissured systems. A comparative study between laboratory and in situ tests. En: Isotope Techniques in the Study of the Hydrology of Fractured and Fissured Rocks. STI/PUB/790, IAEA, 1989.

Determinación de la dispersión de las aguas residuales vertidas al mar a través de un emisario submarino de 1500 metros en el Puerto de Chicama

Carlos Sebastián⁽¹⁾ csebastian@ipen.gob.pe; Gerardo Maghella⁽¹⁾ gmaghella@ipen.gob.pe;
Enoc Mamani⁽¹⁾ emamani@ipen.gob.pe; José Maguiña⁽¹⁾ jmaguiña@ipen.gob.pe;
Jorge Condori⁽¹⁾ jcondori@ipen.gob.pe

(1) IPEN, Dirección General de Seguridad Radiológica. Dirección de Aplicaciones
Av. Canadá 1470, Lima-41, Perú

Resumen

El presente estudio tuvo como finalidad la determinación de dispersión de las aguas residuales vertidas al mar, en el radio de influencia del emisario submarino de 1500 metros que descarga las aguas residuales del procesamiento de harina de pescado en el Puerto de Chicama, al norte del Perú.

1. Introducción

Una vez que las aguas residuales se descargan en el mar y se alcanza el equilibrio de densidad, la mezcla efluente – agua de mar empezará a dispersarse bajo la influencia de la difusión turbulenta a medida de la “pluma” es transportada por las corrientes. Este proceso resulta en un alargamiento del campo de agua residual y un incremento en la dilución del efluente, que se denomina dilución progresiva.

La dilución progresiva del campo de agua residual se puede modelar matemáticamente si se conocen las características de la mezcla en un área determinada y las mediciones con trazadores colorantes y radiactivas son muy utilizadas para determinar los coeficientes de dispersión de las aguas residuales contaminantes, con la ayuda de ecuaciones que permiten modelar la dilución progresiva.

Para llevar a cabo el presente estudio de dispersión, se estableció una ecuación diferencial parcial para dicha dispersión y soluciones generales para el caso de 2 dimensiones. Así se determinaron las formas y características de las curvas de dispersión del trazador así como la rapidez de disminución de los picos de concentración del trazador inyectado. Toda esta información sirvió para calcular los parámetros de dispersión que determinan la rapidez y el desplazamiento de los contaminantes.

2. Principios Teóricos

Análisis Bidimensional

Se consideran las ecuaciones derivadas de la solución de la ecuación diferencial que explica la dispersión en dos dimensiones, para obtener:

$$\sigma_x = \sqrt{2D_x t} \quad (1)$$

$$\sigma_y = \sqrt{2D_y t} \quad (2)$$

Las ecuaciones 1 y 2 muestran la variación de las desviaciones estándar en las direcciones longitudinal y transversal de la pluma contaminante, en función del tiempo. Por interacción del área total de difusión de un trazador, la masa total de trazador se obtiene mediante la utilización de la constante cinética K, de acuerdo a la ecuación 3.

$$M = K_{xy} 4\pi (D_x D_y)^{1/2} \quad (3)$$

$$y \quad K_{xy} = \frac{M}{4\pi (D_x D_y)^{1/2}} \quad (4)$$

La concentración máxima de trazador en el punto de simetría es igual a:

$$C_{\text{máx}} = \frac{M}{2\pi \sigma_x \sigma_y} \quad (5)$$

El modelo considera que para cada área de isoconcentración, hay una correspondiente elipsoide con eje mayor y menor iguales a a y b .

$$\log\left(\frac{C_{\text{máx}}}{C}\right)^2 = \frac{x'^2}{\sigma_x^2} + \frac{y'^2}{\sigma_y^2} \quad (6)$$

$$\text{Como } \frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1 \quad (7)$$

$$a^2 = \sigma_x^2 \ln\left(\frac{C_{\text{máx}}}{C}\right)^2 \quad (8)$$

$$b^2 = \sigma_y^2 \ln\left(\frac{C_{\text{máx}}}{C}\right)^2 \quad (9)$$

y como el área de una elipse es igual a πab :

$$A = \pi \sigma_x \sigma_y \ln\left(\frac{C_{\text{máx}}}{C}\right)^2 \quad (10)$$

Los coeficientes de dispersión se calculan a partir de la ecuación:

$$D_x = \frac{\sigma_x^2}{2t} \quad D_y = \frac{\sigma_y^2}{2t} \quad (11)$$

Igualmente, considerando la cantidad de trazador inyectado, se tendrá en cuenta que:

$$D_x D_y = \left(\frac{M}{C_{\text{máx}}} \cdot \frac{1}{2\pi}\right)^2 \frac{1}{2t} \quad (12)$$

y si hay información adicional sobre la relación entre σ_x y σ_y , D_x y D_y se puede obtener considerando que:

$$\frac{\sigma_x}{\sigma_y} = \frac{a}{b} \quad (13)$$

si las relaciones medias de los ejes mayor y menor de las elipses de concentración son medibles, se puede estimar la relación entre D_x y D_y .

3. Desarrollo Experimental

Dado que se realizaron dos campañas, es factible hacer una comparación de los resultados obtenidos en la primera campaña y en la segunda, considerando que en el primer caso se inyectó al inicio del emisario, en la misma Planta de procesamiento de la harina de pescado, mediante un sistema de bombeo, mientras que en la segunda

campaña la inyección se realizó en el mar a 4 metros de profundidad en el punto en el que descargaba el emisario ampliado.

Para ambos casos, se inyectó una mezcla de trazador radiactivo (680 y 800 mCi de I-131 con ácido oleico para simular la fase oleosa, respectivamente, proporcionado por la Planta de producción de Radioisótopos), y de un trazador orgánico (4 Kg. Y 3 Kg. de rodamina B, respectivamente). El monitoreo de la pluma creciente del trazador se realizó hasta unos 2,5 Km. contados a partir del punto de inyección (a través de contajes de radiación o concentración radiactiva, proporcional a la concentración del colorante mezclado con el radioisótopo) y el procesamiento de la información obtenida con las ecuaciones derivadas de la aplicación del modelo que explica la dilución progresiva.

En ambas campañas se emplearon dos embarcaciones: una de 12 toneladas en la que se instalaron las sondas, con el sistema de adquisición de datos y el personal del IPEN, y otra más pequeña (4 toneladas), para facilitar la inyección de trazador.

El monitoreo del trazador se realizó en forma continua, utilizando tres sondas de detección de radiación gamma. Se obtuvieron registros de contaje de radiación en cuentas por segundo (cps), en las tres sondas o detectores instalados. Para cada sonda de detección se obtuvieron registros y se identificaron los valores máximos de dichos registros, los que sirvieron para determinar los parámetros del transporte. Estos valores máximos y los datos restantes del monitoreo sirvieron para perfilar las curvas isorradas o de isoconcentración, las que se muestran en la gráfica.

Combinando las ecuaciones 5, 8 y 9 con la ecuación 11:

$$C_{\text{máx}} = \frac{M}{(4\pi t) \sqrt{D_x D_y}} \quad (14)$$

siendo M la masa inyectada de trazador por unidad de longitud. La masa inyectada se puede reemplazar por la actividad del trazador radiactivo (A), tendríamos:

$$C_{\text{máx}} = \frac{A}{(4\pi t) \sqrt{D_x D_y}} \quad (15)$$

, que es la ecuación que se empleó en nuestros cálculos para la concentración radiactiva máxima en el pico de la pluma trazadora.

Por otro lado, combinando las ecuaciones 11 y 13, se obtiene:

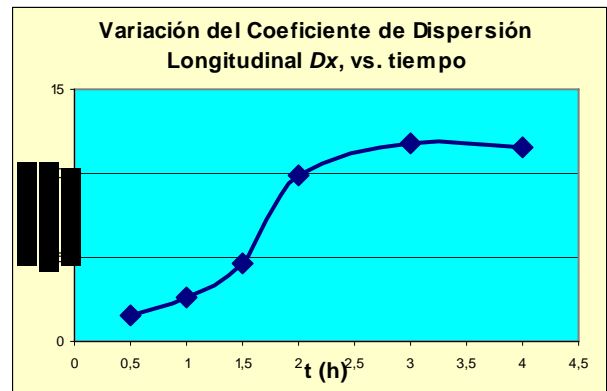
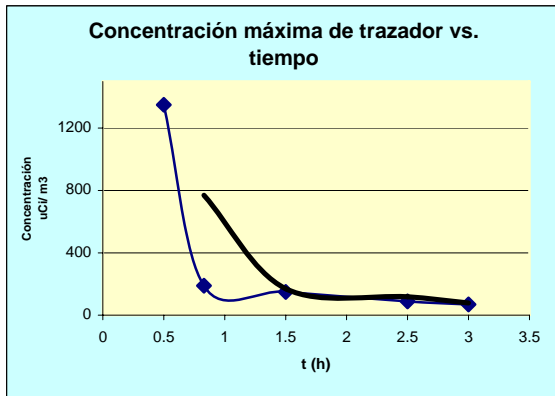
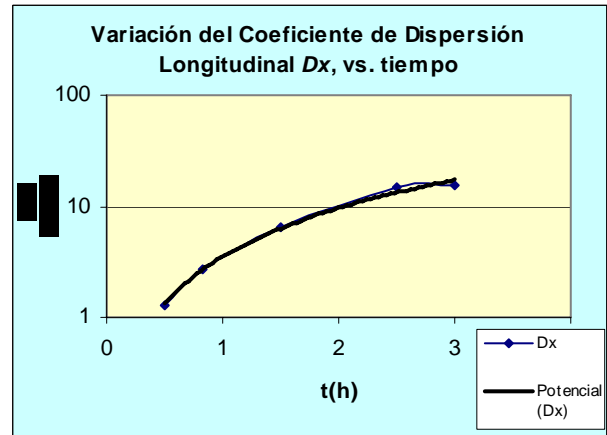
$$\frac{a}{b} = \frac{\sigma_x}{\sigma_y} \quad (16)$$

y entonces tendremos:

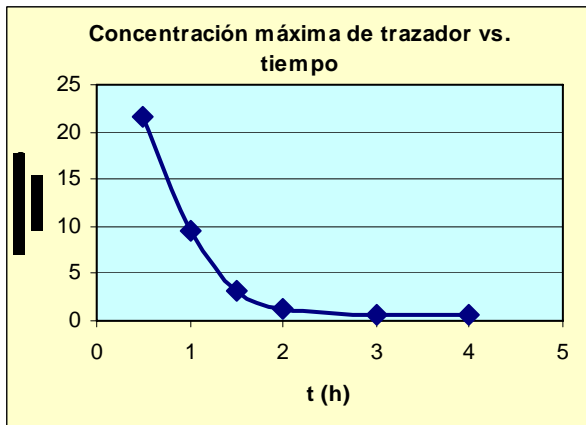
$$\frac{a^2}{b^2} = \frac{D_x}{D_y} \quad (17)$$

Estas tres últimas ecuaciones se utilizaron conjuntamente con la ecuación 15, para construir las figuras 1 a 4 que se aprecian a continuación.

ecuación que da una idea del volumen total dispersado en función del tiempo, tal como se observa en las Figura 5.



Figuras 3 y 4. Variación del Coeficiente de Dispersión Dx, en función del tiempo.



Figuras 1 y 2. Curva de concentración máxima de trazador en función del tiempo, 1ra. y 2da. Campañas.

Considerando la ecuación de la superficie de un elipsoide, se obtiene también:

$$A = \pi \sigma_x \sigma_y \ln \left(\frac{C_{\text{máx}}}{C} \right)^2 \quad (18)$$

Factores de dilución debido al difusor

Considerando que el difusor del emisario submarino, contribuye a mejorar las condiciones para una dispersión más efectiva, podemos aplicar la siguiente ecuación:

$$F_d = 10^{(t-t_0)m} \quad (19)$$

En donde:

- F_d = Factor de Dilución
- t_0 = tiempo base, hr.
- t = tiempo en el instante considerado
- $m = 4/3$, para el caso de un Coeficiente de Difusión variando de acuerdo a la Ley de los Cuatro –Tercios.

Tabla 1. Estimación de los Factores de Dilución, 1ra. y 2da. Campañas.

t_0 (h)	t (h)	$t - t_0$ (h)	F_d
0.17	0.50	0.33	3
0.17	0.83	0.67	8
0.17	1.50	1.33	60
0.17	2.50	2.33	1288
0.17	3.00	2.83	5934

t_0 (h)	t (h)	$t - t_0$ (h)	F_d
0.0	0.5	0.5	4.6
0.0	1.0	1.0	21.5
0.0	1.5	1.5	100
0.0	2.0	2.0	464.2
0.0	3.0	3.0	10000
0.0	4.0	4.0	215443

4. Análisis

En la 2da. Campaña se ha confirmado una mejora significativa, tanto a nivel de los coeficientes de dispersión como a nivel de desplazamiento del campo de agua residual; esta vez simulado desde el punto previsto de descarga del nuevo emisario. Los coeficientes de dispersión resultan mejorados con respecto a las mediciones de la primera campaña y las curvas de isoconcentración del desplazamiento de la pluma trazador conjuntamente con las mejoras operativas que tendría el nuevo difusor, confirman que se dan las condiciones para lograr una dilución muy grande de las descargas, sin comprometer al medio ambiente y a la población. La forma de esta pluma es muy similar a la que fue obtenida en la campaña anterior, dado que nuevamente predomina la dispersión longitudinal sobre la transversal. Esta característica se comprueba visualmente durante el barrido de la pluma, así como también en los cálculos y en el mapa de desplazamiento que se anexa.

5. Conclusión

La orientación promedio de la pluma trazadora desde el punto de descarga del emisario fue el Norte, con un ligero viraje de algunos grados en la dirección oeste después de cinco horas de mediciones, lo

que demuestra que no existe peligro de contaminación de las descargas hacia la zona costera.

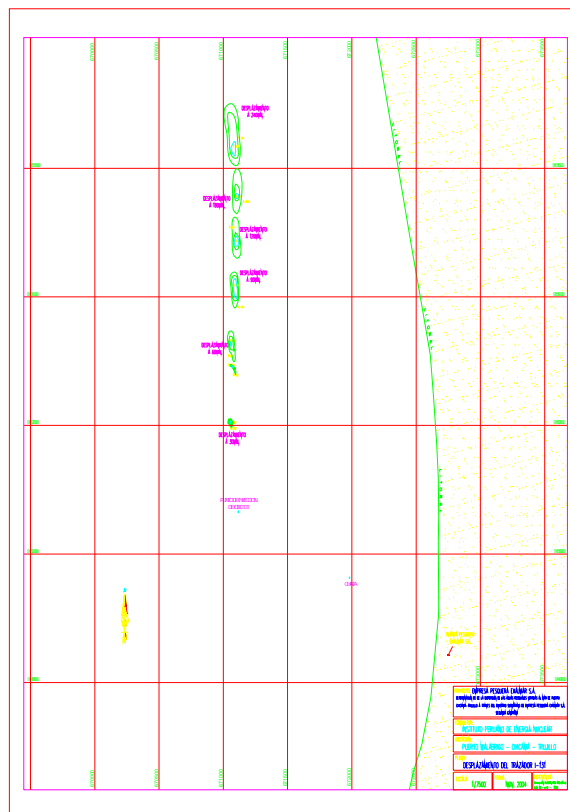


Figura 5. Desplazamiento del trazador.

Referencias

- 1) Instituto Peruano de Energía Nuclear. Determinación de la Dispersión de las Aguas Residuales Vertidas al Mar de Puerto Chicama - Trujillo a través del Emisario Submarino de la Empresa Pesquera Exalmar S.A.(2004).
- 2) Instituto Geográfico Nacional. Plano de Chocope, Perú 1055 (16-e). J 631 Edición 2 – IGN, actualizado en 1998.

Hidrodinámica de aguas subterráneas en medios fisurados

Jacinto Valencia⁽¹⁾ jvalencia@ipen.gob.pe

(1) IPEN, Dirección General de Seguridad Radiológica, Dirección de Aplicaciones
Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

Resumen

Los fluidos que circulan por medios fisurados pueden ser determinados con la aplicación de la Ley de Darcy utilizada para medios porosos, para el caso es necesario incorporar algunas variantes, facilitando de esta forma la interpretación de la técnica de isótopos ambientales para identificar el movimiento y origen de aguas de filtraciones en minas subterráneas.

1. Introducción

Los medios fisurados en aguas subterráneas constituyen sistemas de circulación de fluidos cuyos parámetros hidráulicos pueden ser determinados aplicando la Ley de Darcy que es útil para medios porosos; pero con algunas variantes, es posible ser utilizada en estudios prácticos. Se recomienda su aplicación para estudios de movimientos de agua en minas subterráneas para ayudar en la interpretación de la procedencia de flujos de agua en el subsuelo, como es el caso de filtraciones de agua en galerías de mina y que interfieren en la explotación mineral.

2. Método Experimental

Determinación flujos en medios fisurados

En los sistemas de aguas subterráneas, además de los medios porosos, existen los fisurados, que conforman un medio inhomogéneo donde circulan aguas subterráneas, medio muy poco estudiado. Como se sabe, el movimiento de fluidos en fisuras es similar al comportamiento de medios porosos, cuando la descarga específica q aumenta, la relación entre q y la gradiente hidráulica i , gradualmente se desvía de la relación lineal expresada por la Ley de Darcy (Fig. 01).

Las características geológicas y estructurales propias de rocas sedimentarias metamorizadas o cuerpos intrusivos, afectadas por varios sistemas de fallas y fracturas, conforman sistemas alineados, muchas veces controlados por fallamiento regional, los que son los responsables de transportar el fluido a los puntos de filtraciones. De esta manera, estos

movimientos de aguas subterráneas pueden ser determinados aplicando la Ley de Darcy, (transmisividad, permeabilidad, almacenamiento) a nivel unitario (estructura), de acuerdo al sistema estructural en estudio[1] que no sólo depende de la característica de la red de fracturas en el aspecto físico de interés, sino, como indican [2,3], hay menor dificultad en definir el equivalente de la permeabilidad que en el medio poroso.

3. Discusión

El criterio propuesto es el comúnmente utilizado para flujos de transición de régimen linear-laminar a turbulento (no lineal) para flujo de fluido en fractura simple, teniendo en consideración la correlación Número de Reynolds y el factor de fricción ($Re-Cf$), pudiéndose explicar así con la ecuación de Darcy el caudal y el grado de flujo por el ancho de la unidad de rocas fisuradas, dado que el flujo es laminar, K es la conductividad hidráulica de la fractura.

$$q = K \cdot i$$

Para flujos secundarios, debido a curvaturas o rugosidades antes de la turbulencia en la fractura, la ecuación es:

$$q = K [i - B(i - i_{lim})^n]$$

B y n son constantes determinadas empíricamente

i_{lim} , gradiente límite para flujo laminar-linear

Por su parte los isótopos ambientales nos dan información sobre el origen, tiempo de residencia, interconexiones hidráulicas, mezclas de masas de agua, con lo que se puede discriminar tipos de aguas de filtraciones y controlar el flujo de diversas masas de agua que circulan en el subsuelo,

creando problemas en la explotación mineral.

4. Conclusiones

Es posible incorporar la técnica propuesta para estudiar problemas de filtraciones de aguas subterráneas en medios fisurados; la técnica aportará elementos que permitan clarificar las interpretaciones sobre el comportamiento de la hidrodinámica que siguen las filtraciones de agua en las operaciones de explotación en minería subterránea.

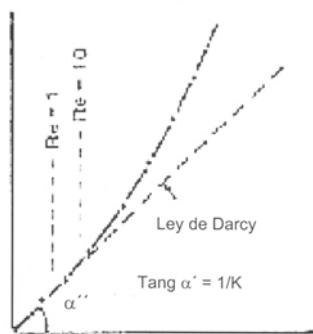


Fig. 01 Curva esquemática de la relación gradiente hidráulica y caudal

Referencias

- 1] Troist, S., et.al; Aspects of Hydrodynamics in Fissured Systems. En: STI/PUB/790, IAEA, Vienna 1989.
- 2] Lomize G.M, Filtration in fissures, Academy of sciences of the Armenian, SSR, 1947 (in Russian).
- 3] Lomize G.M, Water flow in jointed rocks, Gosenergoizdait, Moscow (1951).

Hidrodinámica de filtraciones en minas ubicadas en el SE del Perú

Jacinto Valencia⁽¹⁾ jvalencia@ipen.gob.pe; Rubén Rojas⁽¹⁾ rojas@ipen.gob.pe;
Enoc Mamani⁽¹⁾ emamani@ipen.gob.pe

(1) IPEN, Dirección General de Seguridad Radiológica, Dirección de Aplicaciones, Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

Resumen

Para el estudio de filtraciones en una mina subterránea se ha utilizado la técnica de isótopos ambientales O-18, Deuterio y Tritio, así como, en la interpretación de la química del agua para la determinación de su hidrodinámica y origen, a partir de muestras de agua de lagunas, ríos, agua de deshielos que puedan estar contribuyendo en las filtraciones en galería de mina. El agua de filtraciones indica un fenómeno de mezcla por efecto de su desplazamiento en medio fisurado.

1. Introducción

El presente estudio aborda la hidrodinámica de filtraciones en medios figurados de minas mediante la aplicación de técnicas isotópicas para el análisis de aguas subterráneas de una mina ubicada en el Sur-Este del país, con la cual se ha establecido tanto su dinámica como el origen de sus filtraciones en los niveles 4200 y 3800 de la mina.

2. Fundamentos de las técnicas utilizadas

Los átomos de Oxígeno e Hidrógeno que conforman la molécula de agua que existen en la naturaleza, contienen trazas de isótopos de estos elementos, siendo los más abundantes los isótopos no radioactivos o también denominados estables: Oxígeno-18 y el Hidrógeno-2 (denominado también Deuterio), y el isótopo radioactivo Hidrógeno-3 (denominado también Tritio).

El Tritio se forma en la alta atmósfera como producto de las reacciones nucleares entre los rayos cósmicos y los átomos de Nitrógeno contenidos en el aire, las mismas que en contacto con las nubes genera un intercambio isotópico con las moléculas del agua y llegan a la superficie de la Tierra formando parte de las aguas de lluvia. Teniendo en cuenta que el Tritio es un isótopo radioactivo (que tiene una vida media de 12.3 años), las concentraciones de este isótopo decaerán con el tiempo, característica que permite estimar la edad o el tiempo de residencia de las aguas subterráneas.

Además del origen natural del Tritio arriba descrito, hubo otro origen artificial y puntual muy importante que a pesar del tiempo transcurrido, aún se notan sus efectos:

durante los años 60 principalmente, los Estados Unidos y la ex Unión Soviética, desarrollaron numerosas pruebas nucleares en la atmósfera, lo cual trajo como consecuencia un incremento muy grande de las concentraciones de Tritio en las aguas de lluvias en todo el mundo, especialmente en el hemisferio norte de la Tierra, razón por la cual, actualmente aún es posible encontrar aguas subterráneas con concentraciones de Tritio mayores a las que tienen las lluvias, que revelan un origen posterior a la década de los años 60 .

Marco Hidrogeológico de la zona de estudio

Las características geológicas y estructurales de la zona de estudios indican un ambiente de rocas sedimentarias metamorfizada, con presencia de un cuerpo intrusivo las que han sido afectadas por varios sistemas de fallas y fracturas orientadas en la dirección NO-SE, las que estarían más directamente relacionadas con las filtraciones en referencia.

Movimiento de aguas subterráneas en medios fisurados

Tanto los principios básicos que rigen el movimiento de las aguas subterráneas, como los parámetros hidráulicos que caracterizan a estos flujos (transmisividad, permeabilidad, coeficiente de almacenamiento), y el comportamiento hidroquímico, se han referido prioritariamente a los medios con porosidad intergranular, dejando prácticamente en el olvido la caracterización y evaluación de los medios con porosidad por fisuras.

En la inspección previa efectuada, se apreció que las filtraciones del nivel 4200 en referencia se encuentran selladas con

bloques de concreto y acero donde se encuentran conectadas a tuberías de drenaje con válvulas para el control de la salida del agua. Sin embargo, aun persisten las filtraciones en los alrededores de los puntos de sellado a la roca de la galería, las que afloran a alta presión y temperatura con un caudal total estimado del orden de 30 l/s.

Al interior de las galerías se pudo apreciar la existencia de otros puntos de filtraciones de aguas termales y frías localizados en diversos niveles donde se efectuaron mediciones de los parámetros físico -químicos de campo y se obtuvieron muestras para los fines del estudio.

3. Metodología

Durante la explotación minera en una mina ubicada en la zona alta del Sur-Este se han presentado filtraciones de agua en su interior en los niveles 4200 y 3800 m.s.n.m., las mismas que han sido identificadas y muestreadas a fin de realizar el estudio de su hidrodinámica y para poder establecer su procedencia.

La toma de muestras se efectuó tanto en las filtraciones como en superficie, a fin de ser analizadas y relacionadas con las aguas de las filtraciones en interior mina; para cuyo efecto se han aplicado técnicas isotópicas y convencionales que permitan obtener la información del posible origen de las filtraciones.

4. Resultados de los Análisis

Análisis Químico

Los análisis se llevaron a cabo en los laboratorios del INGEMMET y del IPEN.

Análisis Isotópicos

Los análisis isotópicos por Deuterio y Oxígeno-18 se realizaron en los laboratorios de la Comisión Chilena de Energía Nuclear - Chile; en tanto que, los análisis por Tritio, fueron efectuados en el Instituto de Geocronología y Geología Isotópica de Argentina.

5. Discusión de los Resultados

Hidrogeoquímica

La hidrogeología en medios fracturados como el de la mina estudiada nos indica un

movimiento de aguas subterráneas en rocas cuya porosidad efectiva se debe sólo a fracturas y fallas. Las rocas por lo general no pueden formar acuíferos en el sentido estricto de la palabra, sus estructuras cumplen un doble rol: el de concentrar agua de infiltración proveniente de las lluvias y transportarla según la gradiente hidráulica.

El desarrollo de las labores de explotación que han cortado las estructuras, originan las filtraciones al interior de la mina, alteran la hidrodinámica e inducen el descenso del nivel freático (cono de depresión), también existen filtraciones de agua en un flujo importante que surgen a partir de perforaciones horizontales, que fueron selladas por la minera a fin de evitar el incremento del caudal de aguas de filtración en el frente de galerías en los Niveles 4200 y 3950-Sur. La dinámica del flujo de aguas en el sistema fisurado esta controlado por el diseño de la tectónica local y la gradiente hidráulica confinando el movimiento a las estructuras favorables a este, encontrándose a una profundidad y confinamiento de mas o menos 400 metros de la superficie, confiriéndole una alta presión de infiltración y coincidiendo espacialmente con los casquetes de nieve de los glaciares adyacentes, cuyos deshielos aportan agua a las lagunas de la zona.

Los parámetros físicos de campo registrados durante la toma de muestras han permitido evidenciar que todas las filtraciones de aguas en interior mina, en los frentes de galerías muestreadas, los Niveles 4200; 3950 y 3800, presentan diversos grados de termalismo.

Termalismo en las aguas de filtraciones

Los diferentes grados de temperatura observados en las filtraciones son originados por los mecanismos que actúan en profundidad sobre los cuerpos de agua y por los valores del grado geotérmico local. Así, la temperatura del agua de las filtraciones es más alta que el promedio anual de la temperatura local, lo que indica que el agua de filtraciones son de circulación mas o menos profunda y largo tiempo de residencia en un contexto de fuerte tectónica donde el calor es aportado por el intrusivo en profundidad, y tomando en consideración la clasificación de aguas termales según Schoeller, están clasificadas por su temperatura como aguas medianamente termales. Los elementos Na-K-Mg, utilizados para caracterizar aguas termales, indican aguas meteóricas recalentadas y de

composición diferente de las aguas geotérmicas o volcánicas.

Como característica hidrogeológica de las aguas subterráneas de las filtraciones en la mina, son en general del tipo sulfatada-cálcico-sódicas, y como resultado del enriquecimiento a partir de aguas de lluvias que se infiltran; mientras que las aguas superficiales de escorrentía (ríos) presentan valores ligeramente más altos en calcio que las de filtraciones, debido a su relación con el substrato por el que discurren las aguas de ríos.

En cuanto al origen del termalismo de las muestras de agua en las filtraciones del nivel 3800 especialmente las muestras (G-4 y G-5), el diagrama Sílice/temperatura (Fig. 1) nos indica un ligero incremento en el contenido de sílice con la temperatura, a partir de aguas meteóricas que se infiltran y, que al calentarse en profundidad por el gradiente geotérmico del agua confinada en las estructuras del propio intrusivo, se relacionan genéticamente con la mineralización estannífera.

Diagrama Sílice-Temperatura Filtraciones Mina San Rafael

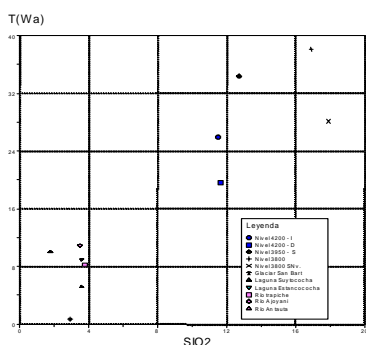


Figura 1. Diagrama Sílice/ Temperatura.

6. Interpretación

Las aguas de filtraciones en el interior de la mina son aguas subterráneas asociadas a sistemas fisurados. Su clasificación química corresponde al tipo sulfatadas-cálcico-sódicas, lo cual revela fenómenos de mezcla, tanto binaria como ternaria, de acuerdo al comportamiento de los cationes que evolucionan a partir de aguas de lluvias que se han infiltrado y se mueven a través de fallas y fracturas con largo tiempo de

residencia. La interacción agua-roca, favorecida por la termalidad y el pH, incrementan su carga química.

Los resultados de análisis de concentraciones de los isótopos Oxígeno 18 y Deuterio de las muestras de aguas superficiales y subterráneas de la mina, se encuentran ploteados en la Fig. 2

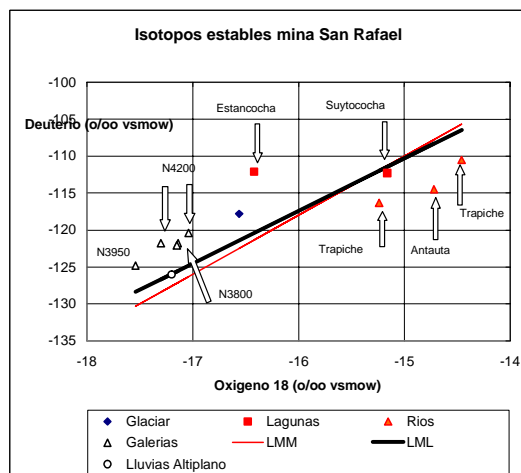


Figura 2. Diagrama Oxígeno18-Deuterio.

La termalidad (hasta 36°C), registrada en las filtraciones, es originada por el descenso de las aguas a profundidad a través de estructuras del stock de Monzo-granito que al ser recalentadas por este, incrementa su presión y vuelven a la superficie. Su composición química guarda relación con aguas de baja a mediana termalidad, y no se parecen a las aguas de filiación geotérmica o volcánica.

Tritio

Los valores de Tritio de las aguas de los niveles 4200 y 3950 de las galerías (0.2 ± 0.5 UT y 0.5 ± 0.5 UT respectivamente) son bastante bajos comparadas con los valores de Tritio de lluvias actuales que se puede estimar sea del orden de 2.3 ± 0.6 UT (en base datos de lluvias de años 1995 a 1996 de mas de 20 estaciones de la sierra central del Perú). Se evidencia que estas aguas de filtraciones tienen tiempos de residencia muy largos que se pueden estimar en el orden de cientos de años, descartando se trate de aguas fósiles (que se podría verificar por análisis de Carbono 14) y se estima que la cuenca de recarga de estas filtraciones sea bastante extensa.

Los valores de Tritio del nivel 3800 (2.0 ± 0.6 UT) revela que estas aguas tienen tiempos de

residencia más cortos y están más próximos a los valores de Tritio de aguas de lluvias recientes. Consecuentemente son aguas de carácter permanente mientras el régimen de lluvias de la zona no cambie.

Las aguas del río cercano a la mina que tiene un valor de Tritio de 1.7 ± 0.6 UT un poco menor a las aguas de lluvias actuales, lo cual nos indica un tiempo de residencia aun mayor que las aguas del nivel 3800. Esto se puede explicar porque en esta época del año, caracterizado por la ausencia de lluvias, las aguas de los ríos provienen del drenaje de aguas subterráneas y constituyen el flujo base de los ríos de la sierra.

Las aguas del glaciar y de la laguna cercana tienen concentraciones de Tritio de 5.2 ± 0.6 UT y 3.7 ± 0.6 UT, lo cual nos indica, tiempos de residencia menores y revela que provienen lluvias posteriores a la de los años 60 (década pico de altas concentraciones de Tritio como consecuencia de las numerosas pruebas nucleares atmosféricas llevadas a cabo durante aquel período). La mayor concentración de Tritio en la laguna comparado con el del glaciar se explica por la propiedad de los isótopos denominado fraccionamiento isotópico mediante el cual, las aguas sometidas a evaporación, concentran los isótopos mas pesados como el Tritio en la fase líquida.

7. Conclusiones

Las evidencias isotópicas y químicas revelan que aguas de las filtraciones de los niveles 4200 y 3800 provienen de la infiltración de lluvias producidas en las cuencas altas de los ríos aledaños a la mina. Estas aguas son transportadas a través del sistema de fallas existentes en la zona.

Las altas temperaturas de las aguas de filtraciones indican que la trayectoria del flujo de estas aguas llega a niveles suficientemente profundos donde se encuentran las rocas sometidas a altas temperatura, debido al geotermalismo relativamente superficial que caracteriza esta zona del Altiplano.

Las aguas del nivel 3950 también provienen de la infiltración de lluvias, pero tienen un menor tiempo de residencia comparado con las de los niveles 4200 y 3800.

Referencia

- 1) IAEA; Isotope Techniques in the Study of Fractured and Fissured Rocks. Vienna (1989).

Evaluación de un generador de vapor de la industria petroquímica utilizando radiotrazadores

Carlos Sebastián⁽¹⁾ csebastian@ipen.gob.pe; Gerardo Maghella⁽¹⁾ gmaghella@ipen.gob.pe;
Enoc Mamani⁽¹⁾ emamani@ipen.gob.pe; José Maguiña⁽¹⁾ jmaguiña@ipen.gob.pe;
Jorge Condori⁽¹⁾ jcondori@ipen.gob.pe

(1) IPEN, Dirección General de Seguridad Radiológica. Dirección de Aplicaciones, Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

Resumen

El presente estudio consistió en evaluar un generador de vapor de la industria petroquímica, utilizando ácido oleico marcado con Yodo-131 como radiotrazador para la fase hidrocarburo e Indio-113m para la fase acuosa, con la finalidad de determinar eventuales fugas durante el transporte de agua y de los fondos de la columna principal durante sus respectivos recorridos en el interior del sistema.

1. Introducción

Uno de los problemas que suelen presentarse en la industria petroquímica son las fugas de fluido térmico presentes en los generadores de vapor. Estas fugas generan caídas de presión que suelen influir en el rendimiento de la unidad al verse afectada la transferencia de masa y de energía. Generalmente esto ocurre porque se presentan incrustaciones o fallas dentro del banco de tubos producida por la alta presión del vapor, lo que acarrea un arrastre indeseado del fluido frío en el caliente.

A fin de solucionar estos problemas, es factible utilizar técnicas de radiotrazadores para analizar el comportamiento de la unidad de proceso, en este caso el generador de vapor. Estas evaluaciones involucran la determinación y análisis de las curvas de respuesta de un radiotrazador incorporado al generador de vapor, generalmente a través de la línea de fluido térmico (tubos). Esta técnica es muy útil para inspecciones en la industria química y petroquímica y, en general donde se involucran transferencias de calor en sistemas líquido-líquido.

El radiotrazador es inyectado en la línea que conduce a los tubos por donde circula el fluido térmico, mientras que el fluido a ser calentado circula en contra corriente ingresando por la coraza del intercambiador, saliendo por el extremo opuesto. Un primer detector (en rojo) es colocado justo a la entrada del generador en la línea de fluido térmico, mientras que un segundo detector (en verde) es colocado en la línea de salida de producto precalentado que sale por la coraza del intercambiador. (Fig. 1).

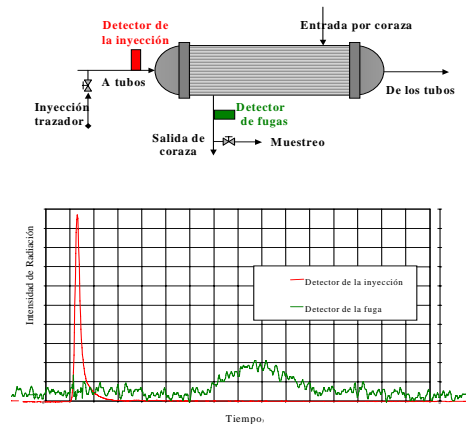


Figura 1. Esquema de respuesta del trazador a su paso a través de un generador de vapor.

De existir fugas de fluido térmico, estas se pueden identificar y cuantificar a través del análisis de las curvas de respuesta del radiotrazador utilizado. De sospecharse de fuga inversa (menos común), es decir de fluido a calentar hacia los tubos del intercambiador, será necesario colocar un tercer detector a la salida de la línea colectora de fluido térmico de los tubos.

2. Consideraciones teóricas

La distribución del tiempo de residencia o la frecuencia de la distribución de edades para una corriente de material que atraviesa un recipiente son dos nombres diferentes de la misma función $E(t)$. La función se normaliza de tal forma que:

$$\int_0^{\infty} E(t)dt = 1 \quad (1)$$

El tiempo de residencia se obtiene a partir de:

$$\bar{t} = \int_0^{\infty} t \cdot E(t) dt \quad (2)$$

siendo \bar{t} el tiempo medio de residencia

Asimismo, cuando la señal de entrada es un impulso instantáneo llamado Dirac, el tiempo medio se puede obtener a partir de la curva de concentración del trazador a la salida del proceso, obteniéndose en este caso:

$$\bar{t} = \frac{\int_0^{\infty} tC(t)dt}{\int_0^{\infty} C(t)dt} \quad (3)$$

Se sabe también que el tiempo de residencia promedio geométrico se puede determinar como el cociente de la masa m contenida en el sistema y el flujo volumétrico Q . Considerando que la densidad del material permanece prácticamente constante, es una alternativa posible tomar el cociente del volumen lleno V y el flujo volumétrico Q que atraviesa el medio, como se expresa en la ecuación 4.

$$\bar{t}_g = \frac{V}{Q} \quad (4)$$

siendo V/Q el llamado tiempo medio de permanencia o tiempo medio de residencia en el caso de sistemas ideales.

La Ecuación 4 rendirá los mismos resultados que la Ecuación 2 si la masa total m o el volumen total V del sistema, participan completamente en el proceso de mezcla. Si solamente una parte del sistema participa activamente (volumen efectivo), se obtiene un valor exacto para \bar{t} a partir de la Ecuación 2 mientras la Ecuación 4 lo sobreestima. Por lo tanto, con la ayuda de mediciones de los tiempos de residencia, será posible también determinar el volumen efectivo del sistema.

En el caso de un sistema operando normalmente con todo su volumen utilizado, no habría volúmenes muertos. Sin embargo, algunas regiones del sistema pueden presentar tiempos de tránsito de 5 a 10 veces el tiempo de retención del resto del material, pudiéndose considerar como inactivas o

muertas para los fines prácticos. El volumen muerto presente en el sistema se estima con la ecuación:

$$\%V_{muerto} = \left(1 - \frac{\bar{t}_{exp}}{\bar{t}_{teor}}\right) \cdot 100 = \left(1 - \frac{V_{efect}}{V}\right) \cdot 100 \quad (5)$$

;donde V_{efect} y V son los volúmenes efectivo y geométrico del sistema, \bar{t}_{exp} es el tiempo medio de residencia obtenido experimentalmente a partir de la curva de distribución del tiempo de residencia (DTR), con utilización de las ecuaciones 2 o 3 y \bar{t}_{teor} es el tiempo medio de residencia geométrico obtenido con la ecuación 4.

3. Metodología de trabajo

• 1ra. experiencia

Inyección de 10 ml de ácido oleico marcado con Yodo-131 como radiotrazador de la fase hidrocarburo, con una actividad total de 35 mCi. Se montó el sistema experimental graficado a continuación:

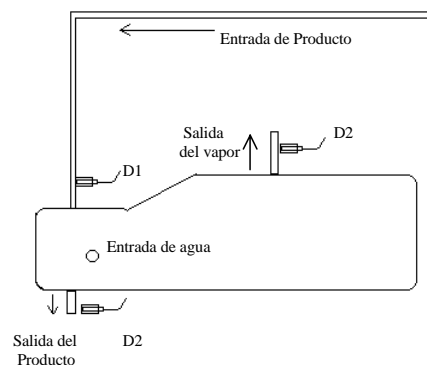


Figura 2. Esquema para la inyección de trazador, 1ra. Experiencia.

• 2da. Experiencia

Inyección de 10 ml de Indio-113m como radiotrazador de la fase acuosa, con una actividad total de 12 mCi.

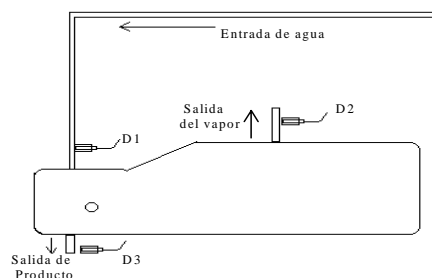


Figura 3. Esquema para la inyección de trazador, 2da. Experiencia.

4. Resultados Obtenidos

Los datos obtenidos de ambas experiencias se muestran en las Tablas 1 y 2. El procesamiento de la información obtenida se muestra en las Figuras 1 y 2.

1. Evaluación del Producto (fluido térmico)

Inyección de trazador en la línea de producto

Puntos de Detección	Centroide (s)	Tiempo de tránsito (s)	Observaciones
Ingreso de residual	16,70	-	Inyección instantánea
Salida de vapor	-	-	No hay fuga
Salida de residual	63,15	46,44	Presencia de trazador

2. Evaluación del Vapor

Inyección de trazador en la línea de agua de alimentación al generador de vapor

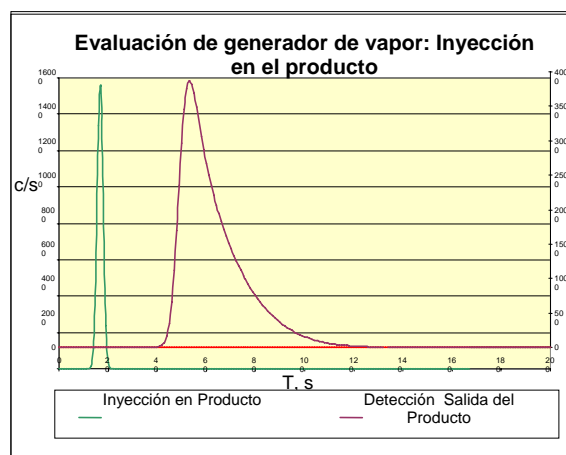
Puntos de Detección	Centroide (s)	Tiempo de tránsito (s)	Observaciones
Ingreso de agua	14,25	-	Inyección instantánea
Salida de vapor	2303	2288,75	No hay fuga
	1991,30 *		
Salida de residual	*aparición de 3 picos principales: 1771,81; 2341,72; 2654	1977,05	Presencia de vapor en residual en por lo menos 3 puntos

A continuación se muestra el resultado consolidado de las evaluaciones realizadas:

De la 1ra. experiencia se deduce que no existe incremento de conteo durante toda la duración de la experiencia (1 hora), lo que indica que no hay transporte de la fase hidrocarburo a la fase acuosa o vapor (fugas inexistentes).

A la salida del producto hidrocarbonado se observa incremento de conteo en el intervalo de tiempo, de 135 a 145 segundos, con un tiempo de residencia medio de 46.44 segundos contado a partir del ingreso de material al sistema.

La recuperación de trazador por la posición del detector en la posición número 3 es prácticamente el 100%, lo cual confirma la inexistencia de fugas en esta experiencia.



De la 2da. Experiencia, se realiza la inyección de trazador en punto de purga existente muy cerca de la entrada de agua al Generador, (inyección instantánea), se observa pulso de Dirac al tiempo de $t = 14.25$ s.

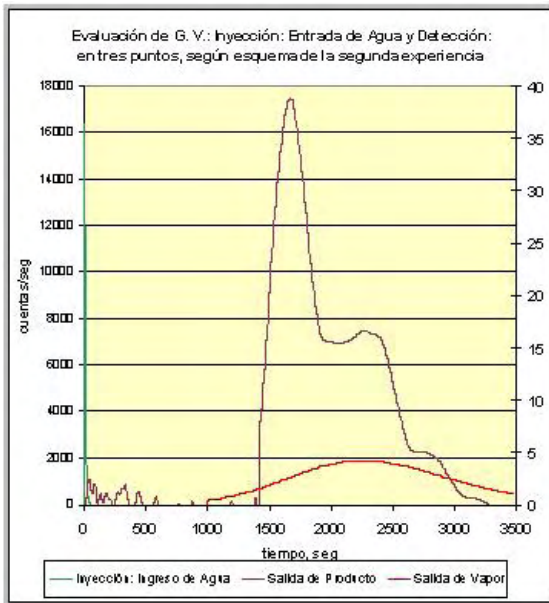
A la salida del vapor generado se observa un incremento de conteo durante toda la duración de la experiencia (1.15 horas). Dicho incremento integrado pone de manifiesto que no sale todo el trazador inyectado en la alimentación de agua, por la línea de salida del vapor, lo que hace suponer que una fracción de vapor se transporta a la fase hidrocarburo.

El tiempo de residencia medio de la fase acuosa (líquido o vapor) en el sistema es de 38.15 minutos, contados a partir del ingreso del material en el sistema.

Detección a la salida del producto hidrocarbonado.- Se observa incremento de conteo de radiación en el intervalo de tiempo de 1500 a 3200 segundos, con un tiempo de residencia medio de 32.95 minutos, contados a partir del ingreso de material al sistema.

Se observa además que la curva de distribución global que es el resultado de 4 curvas de distribución muy próximas unas a otras a intervalos aproximadamente regulares de unos 10 segundos. Observando la dinámica del vapor en el generador, se postula la hipótesis de la probable fuga a través del cabezal flotante del generador por debajo de la cual existen flujos de vapor intermitentes a intervalos también regulares.

La recuperación de trazador por la posición del detector en la posición número 3 es prácticamente el 10%, lo cual confirma la existencia de transporte de vapor hacia la línea de producto hidrocarbonado, en la citada proporción.



Referencias

- 1) Wuithier, Pierre. Petróleo, Refino y Tratamiento Químico. Vol. 1. Francia.
- 2) IAEA. Emerging New Applications on Radiotracers in Industry. Vienna.

5. Conclusiones

Existe transporte de vapor hacia la línea de hidrocarburo a través de una fuga existente en el cabezal flotante del generador. Se estima un 10% de este transporte anómalo.

Como recomendación principal, se sugiere realizar la inspección del generador y en especial el cabezal flotante por métodos no destructivos a fin de realizar las operaciones de remediación correspondientes.

Observación: Para los balances se han tomado en cuenta los datos suministrados por la empresa en relación a los flujos y condiciones de presión y temperatura tanto del lado casco como del lado tubos.

Aplicaciones de la radiación gamma en frutas y hortalizas. Perspectivas agroindustriales para el espárrago peruano

Johnny Vargas⁽¹⁾ jvargas@ipen.gob.pe; Mónica Vivanco⁽¹⁾ vilmvm@yahoo.com; Marisela Maldonado⁽²⁾ marisela@ipeh.org; Marco Linares⁽¹⁾ mlinaires@ipen.gob.pe; Paula Huamanlazo⁽¹⁾ phuamanlazo@ipen.gob.pe; Flor de María Quispe⁽³⁾ fquispe@digesa.minsa.gob.pe

(1) IPEN Dirección de Aplicaciones, Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

(2) IPEH-UNMSM, Av. Las Dalias 136, Lima 18, Perú

(3) DIGESA, Vigilancia y Fiscalización Sanitaria, Av. Las Amapolas 215, Lima, Perú

Resumen

Para la conservación y solución de problemas fitosanitarios en alimentos se utilizan aditivos y fumigantes químicos como métodos convencionales en su tratamiento. Sin embargo, estos son muy cuestionados por ser altamente tóxicos y perjudiciales para la salud y el medio ambiente. Presentamos algunos resultados de investigaciones realizadas por el IPEN en la conservación de frutas y hortalizas, eliminación de hongos causantes de la pudrición en fresas, retardo en la maduración y/o senescencia en mangos y espárragos, productos abanderados de la agro-exportación peruana. Se determinó que dosis de 0,75, 1,0 y 2,0 kGy permiten prolongar la vida útil en mangos, espárragos y fresas, respectivamente. También se explica los resultados y avances del uso de la radiación gamma como tratamiento cuarentenario, para solucionar problemas fitosanitarios en la exportación de mangos (variedad haden) y espárragos, en donde dosis de 0,15 kGy evita el desarrollo de larvas de la mosca de la fruta (*Ceratitis capitata*). Se resalta la perspectiva y aplicaciones de la irradiación realizadas en productos del espárrago garantizando su inocuidad. Se determinó que dosis de 3 kGy mejora la calidad higiénica en el espárrago liofilizado en trozos.

1. Introducción

En este trabajo se entregan los resultados de trabajos de investigación en frutas y hortalizas, principalmente en espárragos, realizados en el Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN).

La radiación gamma producido por una fuente de Cobalto 60, se emplea en la irradiación de alimentos con la finalidad de mejorar su calidad higiénica, reduciendo la población microbiana, hongos, eliminando microorganismos patógenos; es decir, microorganismos que pueden desarrollar enfermedades como la *Salmonella sp* que produce la tifoidea, el *Vibrio cholerae* (cólera) y otros que producen infecciones gastrointestinales como *Escherichia coli*, *Staphilococcus aureus*, *Bacillus cereus*, etc. También elimina parásitos patógenos como el Cisticercos principalmente en carne de cerdo, así como extender su período de comestibilidad, garantizando alimentos inocuos, desinfectándolo de insectos para su conservación y/o solución de problemas fitosanitarios.

Los rayos gamma son radiaciones electromagnéticas de una longitud de onda

muy corta, de la misma naturaleza que los rayos X, la luz ultravioleta, visible infrarroja, microondas y las ondas de telecomunicaciones. La irradiación de alimentos es un proceso en frío, no eleva la temperatura del producto es de alta penetrabilidad y no deja residuos. Este proceso reemplaza a los métodos químicos más tóxicos para combatir a las poblaciones microbianas e insectos.

La irradiación de alimentos ha sido estudiada más extensamente que cualquier otro proceso de preservación de alimentos, incluyendo enlatado, congelamiento, deshidratación y el uso de aditivos y fumigantes químicos

A través del tiempo se ha ido reduciendo o prohibiendo el uso de aditivos y fumigantes químicos, en los alimentos, tal es el caso en productos cárnicos curados, tratados con nitratos nitritos, cuyo uso se ha limitado por la presencia de nitrosaminas, con acción cancerígena demostrada.

En el Perú es reciente el caso del uso de bromato de potasio en la panificación, pero según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), el

Organismo Mundial de Salud (OMS) y el Comité de expertos en Aditivos Alimentarios, el Bromato de potasio es un carcinógeno genotóxico (causante de cáncer), entre otros aditivos cuestionados, también están los benzoatos y sorbatos este último prohibido en Alemania.

Para la lucha contra las plagas se han estado usando los fumigantes como el óxido de etileno, cuyo uso se limita a la esterilización de algunos materiales médicos. El óxido de etileno es irritante de ojos, piel, afecta el sistema nervioso y es carcinogénico.

El dibromuro de etileno, más conocido por sus siglas en inglés (EDB) fue usado para la eliminación de insectos en alimentos almacenados como cereales y en el tratamiento cuarentenario de frutas y vegetales, su uso fue prohibido entre los años de 1984 a 1985. Es potencialmente carcinógeno.

Actualmente, para superar los problemas fitosanitarios muchos vegetales son fumigados con bromuro de metilo (BrM). Estados Unidos es el mayor consumidor de este producto, ocupando cerca del 50% de la producción mundial. El BrM es un gas tóxico que puede provocar en el ser humano irritaciones pulmonares, tos, dificultad para respirar, afecciones en el sistema nervioso central e incluso la muerte. También se ha identificado al BrM como una de las sustancias que agota la capa de ozono.

En 1987, ciento treinta y ocho países firmaron un acuerdo internacional conocido como el Protocolo de Montreal, acuerdo internacional para la limitación en el uso, fabricación y venta de compuestos halogenados y bromados, cuya finalidad es eliminar el uso de las sustancias que agotan la capa de ozono.

Según el Protocolo de Montreal de 1995, 183 países llegaron a un acuerdo para reducir progresivamente el uso del BrM, hasta su prohibición total en el año 2005. Entre otras sustancias que también se prohibirán están los clorofluorocarbonos (CFCs).

La décima sexta reunión de las Partes del Protocolo de Montreal sobre las sustancias que agotan la capa de ozono se realizó en Praga en Noviembre del 2004. En ella se acordó que 11 naciones desarrolladas, incluyendo Estados Unidos, podrán seguir utilizando el BrM, puesto que no existen alternativas económicamente factibles que lo sustituyan. El protocolo ya

había otorgando una exención a los países en desarrollo.

Por consiguiente, se ha aplazado la fecha límite para la eliminación total del BrM debido a que no se han encontrado alternativas útiles que cuenten con toda la gama de características que se necesitan.

Las autoridades fitosanitarias de la North American Plant Protection Organization (NAPPO) han manifestado constantemente su preferencia, y han exhortado a los países con los cuales mantienen relaciones comerciales sobre el uso preferencial del tratamiento térmico sobre el de BrM.

Por otro lado, el estatus de "uso cuarentenario" permite que se utilice el BrM como una de las herramientas con que cuentan las Organizaciones Nacionales de Protección Fitosanitaria (ONPF) para controlar y prevenir las plagas invasoras, las cuales, si se dejaran sin control, también podrían ocasionar daños de grandes proporciones al medio ambiente, la economía y la salud. Asimismo, es necesario tener en cuenta que el comercio internacional de productos agrícolas, obliga al uso de tratamientos cuarentenarios para evitar el ingreso de plagas foráneas, práctica que es demandada por ciertos países importadores como EE.UU. y Japón, entre otros. Por ejemplo, el tratamiento fitosanitario cuarentenario obligatorio para el ingreso de espárrago peruano al mercado de los Estados Unidos es la fumigación con BrM en destino.

El Perú ha incrementado significativamente su volumen de agro exportación siendo actualmente el primer país exportador de espárragos en el mundo. La industria del espárrago alcanzó en el 2003 un valor de exportación de US\$ 206,69 millones, representando el 24,41% del total de las agro exportaciones peruanas y ha generando más de 50 mil puestos de trabajo descentralizado a lo largo de la costa peruana. Sin embargo, los Estados Unidos ha encontrado que los embarques de espárrago fresco peruano presentan un porcentaje de 98 - 95% de huevos y 2 - 5 % de larvas hasta el segundo estadio de *Copitarsia decolora*, ocasionando ciertas limitaciones fitosanitarias para su exportación por ser considerada una plaga cuarentenaria para el mercado norteamericano; por ello el 100% de los embarques de espárrago fresco deben ser fumigados con bromuro de metilo en destino antes de su comercialización, originando sobre costos, pérdidas de calidad, reducción

del tiempo de vida útil del producto, daño a la salud y agotamiento de la capa de ozono.

Ante esta situación, nuestras exportaciones de frutas y hortalizas de calidad se ven restringidas por problemas fitosanitarios.

Por esta razón, en el Perú la tecnología de irradiación surge como una alternativa viable, como un tratamiento cuarentenario para frutas y hortalizas de exportación, en reemplazo de métodos convencionales que utilizan fumigantes nocivos para la salud pública y el medio ambiente.

Los objetivos de la irradiación en los productos trabajados fueron:

Eliminación de los hongos causantes de la pudrición en fresas y el retardo de la maduración o senescencia en mangos y espárragos sin alterar significativamente sus propiedades nutritivas, físico-químicas y sensoriales.

Como tratamiento cuarentenario en mangos y espárragos el objetivo fué la determinación de la dosis mínima óptima que asegure la no emergencia de *Ceratitís capitata* del 3° estadio y *Copitarsia decolora* del 2° estadio, respectivamente, al estado adulto, manteniendo las características propias de los productos a la dosis mínima seleccionada.

Para el caso de espárragos liofilizados, el objetivo fué la reducción de la población microbiana, manteniendo sus propiedades intrínsecas.

1.1 Aplicaciones de la Radiación Gamma en los Alimentos

Para conseguir los objetivos deseados en los alimentos irradiados se aplican diferentes dosis.

La unidad de dosis absorbida es el gray (Gy), que viene a ser la energía absorbida de un Joule por Kg de materia irradiada:

$$\text{Gy} = \text{Joule/Kg}$$

1.1.1 Inhibición del Brotamiento en Tubérculos y bulbos, como papa, olluco cebolla.

1.1.2 Desinfestación de insectos en granos cereales menestras frutos secos harinas, etc.

1.1.3 Eliminación de parásitos patógenos como el Cisticercos principalmente en carne de cerdo.

1.1.4 Descontaminación de la población microbiana y eliminación de microorganismos patógenos en alimentos secos o vegetales deshidratados en polvo, como harinas de maca, espárrago, plátano, lúcuma; en plantas o hierbas medicinales (complementos nutricionales) por ejemplo la uña de gato, pasuchaca, muña, graviola, sangre de grado, yacón, manayupa, etc, hierbas aromáticas, especias y condimentos, colorantes orgánicos naturales como carmín, cúrcuma, achiote, antocianina, etc., además de productos frescos o congelados.



Figura 1. Símbolo de los alimentos irradiados.

1.2 En Frutas y Hortalizas

1.2.1. Retardo de la maduración y/o senescencia en mangos, plátanos, papaya, tomates, espárragos.

1.2.2. Eliminación de hongos causantes de las pudriciones post-cosecha, por ejemplo: fresas, tomates, higos.

1.2.3. Tratamiento Cuarentenario como medida fitosanitaria para las plagas reemplazando a fumigantes.

1.3 Control Autocida o Técnica del Insecto Estéril (TIE)

Consiste en traer del campo al laboratorio a una plaga y reproducirla en grandes cantidades en forma artificial, esterizarla mediante radiaciones gamma para que no se puedan reproducir, enviarlas de vuelta al campo y liberarlas en forma masiva, con la finalidad de que se crucen con las moscas nativas, de tal manera que mientras más cruzamientos haya entre ambas, se obtenga como resultado menor reproducción.

1.3.1 Lucha contra insectos y plagas

Esta técnica se ha usado en proyectos para erradicar exitosamente la mosca mediterránea de la fruta en México y contra varias plagas de mosca *tsé-tsé* en Nigeria y *ceratitís capitata* en Arica-Chile.

La campaña más exitosa de la TIE erradicó el gusano barrenador del ganado del Nuevo Mundo en el sur de los Estados Unidos, en la mayor parte del territorio de México y en las islas de Puerto Rico y Curazao. Esa erradicación exitosa permite a los ganaderos, si se cuenta solo a Estados Unidos, un ahorro anual de 378 millones de dólares de ese país.

La TIE constituye un componente para la erradicación de plagas que afectan no solamente las actividades agropecuarias, sino también la salud humana, pues las Naciones Unidas a través del Organismo Internacional de Energía Atómica, está iniciando un proyecto ambicioso, con muchos obstáculos que superar, se trata de eliminar los mosquitos cuya picadura transmite la malaria (*Anopheles sp. Díptera: Culicidae*), una enfermedad mortal que devastó el continente Africano.

1.4 Otras Aplicaciones en Espárragos

1.4.1 Harina de espárragos

Los espárragos por ser un producto de campo la contaminación se produce durante el cultivo, la cosecha y el procesamiento. Dependiendo del nivel de flora, el clima y de las prácticas agrícolas, puede encontrarse altos niveles de población microbiana de hasta 10^6 microorganismos.

El secado o tratamiento térmico disminuye la contaminación, las operaciones posteriores de molienda, mezcla, envasado y almacenamiento la aumentan nuevamente, a esto habría que agregar, que la alta humedad de la costa peruana, favorecería la aparición de hongos, adicionalmente -producto del manipuleo- se podrían incorporar microorganismos patógenos.

Dosis entre 5 y 8 kGy puede reducir hasta 3 ciclos logarítmicos la población microbiana de hongos y eliminar microorganismos patógenos. En la Planta de Irradiación de Santa Anita se han irradiado Harina de Espárragos, con esa finalidad.

1.4.2 Espárrago liofilizado en trozos

Uno de los procesos que garantiza la calidad microbiana es el liofilizado pero dependiendo de la población microbiana inicial, en otros casos de la población de hongos que ante el tratamiento de liofilizado, esporulan por lo que sobreviven en el producto final, siendo necesario la irradiación para su descontaminación.

1.4.3 Espárragos precocidos refrigerados

Empresarios peruanos desean exportar nuevos productos en espárragos, pero los países de destino tienen normas o especificaciones estrictas de calidad higiénica sanitaria.

Después de haber implementado un plan HACCP, siempre existe el riesgo o peligro de contaminación sobre todo por microorganismos patógenos, como *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, etc. principalmente debido al manipuleo.

Hipótesis planteada: Dosis bajas de irradiación eliminan los microorganismos patógenos en espárragos precocidos y refrigerados sin afectar significativamente sus características nutricionales y sensoriales.

Debido al interés existente, se está elaborando el proyecto o la verificación tecnológica que involucra varios análisis como: dosimetría, irradiación a diferentes dosis alternativas, análisis físico-químicos, microbiológicos, análisis sensorial, además de pruebas con simulación de transporte y almacenamiento refrigerado.

2. Método Experimental

Los productos fueron irradiados en el Equipo de Irradiación Gammacell 220 y Gammabeam. Se hicieron análisis dosimétricos para cada producto, que de acuerdo a la densidad y geometría nos permitió calcular los tiempos de exposición a la radiación gamma para administrar las diferentes dosis.

Para las dosimetrías se utilizó el método ASTM E 1026 (1995) Practice for Using the Fricke Reference Standard Dosimetry System.

Los métodos empleados en los análisis físico-químicos y las especificaciones para espárragos liofilizados fueron hechos de acuerdo a las Normas Técnicas Nacionales del ITINTEC.

Los métodos empleados en los análisis microbiológicos fueron desarrollados de acuerdo a la FDA, 6th edition (1984).

Para el tratamiento cuarentenario en mangos y espárragos los resultados sobre larvas fueron evaluados estadísticamente con el Probit 9.

Todos los controles de laboratorio se realizaron en los productos irradiados y sin irradiar.

3. Resultados

3.1 En Frutas y Hortalizas

3.1.1 Retardo de la maduración y/o senescencia en mangos y espárragos.

- Investigaciones realizadas en el IPEN en mangos haden irradiados (0,75 kGy) y almacenados en refrigeración (temperatura: 10° C y 85-90 % H.R), lograron extender su conservación hasta 42 días, comparados con los mangos no irradiados del control, que solo se conservaron por 24 días, bajo las mismas condiciones de almacenaje.

- En otros experimentos ejecutados en el IPEN, con dosis de radiación gamma a 1,0 kGy se logró extender considerablemente hasta un período de 20 días, espárragos verdes manteniendo su calidad a una temperatura de 1-2°C (90-95% de humedad relativa), mientras el control pudo conservarse 10 días.

3.1.2 Eliminación de hongos causantes de las pudriciones post-cosecha en fresas.

Experiencias realizadas en el IPEN, demuestran que a dosis de 2 kGy extienden la vida media de fresas almacenadas a 10°C por 23 días, comparado con las fresas no tratadas (Control) que logran conservarse solo por 7 días.

3.1.3. Tratamiento Cuarentenario como medida fitosanitaria para las plagas reemplazando a fumigantes perjudiciales para la salud y el medioambiente, por ejemplo *Ceratitis capitata* en mangos y *copitarsia decolora* en espárragos.

- En trabajos de investigación asesorados por el IPEN, concluyen que dosis entre 0,10 y 0,15 kGy aplicados a larvas de *Ceratitis capitata*, infestantes de mangos haden, previenen el desarrollo o emergencia de insectos al estado adulto, también se registraron datos de dosis letal larvaria (1 kGy), sin afectar significativamente la calidad sensorial y nutritiva de los frutos.



Figura 2. Mangos almacenados en crecimiento larvario.

- Mediante convenio de Cooperación Técnico - Científica entre el Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN) y el Instituto Peruano del Espárrago y Hortalizas (IPEH) se está ejecutando el proyecto de investigación: "Uso de la Irradiación como Tratamiento Cuarentenario contra *Copitarsia decolora* en el espárrago *Asparagus officinales*", cuyo objetivo es determinar la dosis mínima que asegure la no emergencia de *Copitarsia decolora* adulta a partir de larvas del segundo estadio, manteniendo las características propias del espárrago.

Actualmente, se ha determinado la dosis mínima óptima y la siguiente etapa será la prueba confirmatoria de no emergencia, irradiando a la dosis seleccionada 10 000 larvas para cumplir con los protocolos que exige el Servicio de Inspección y Salubridad de Plantas y Animales (APHIS) del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA).



Figura 3. Lepidóptero de *Copitarsia decolora*.

3.2 Espárrago Liofilizado en Trozos

3.2.1 Descontaminación Microbiana

Producto : Espárrago liofilizado en trozos
Cantidad : 5 Kg
Fuente : Cobalto 60
Tasa de dosis : 4,95 kGy/h
Dosis aplicadas: 3, 6 y 9 kGy
Análisis : físico-químicos y microbiológicos

Tabla 1. Análisis Físico-Químico en Espárrago Liofilizado en Trozos a Diferentes Dosis de Irradiación.

ANÁLISIS	CONTROL	3 kGy	6 kGy	9 kGy	LIMITE
Humedad (%)	2,83	3,04	1,79	2,86	Máximo 3,5 %
Cenizas (%)	6,81	7,02	7,13	7,24	(6,0 - 8,0) %
Fibra cruda (%)	11,31	12,69	12,86	13,56	(10,0 - 19,0)%
Almidón (%)	-	-	-	-	-

Tabla 2. Análisis Microbiológicos en Espárragos Liofilizados en Trozos a Diferentes Dosis de Irradiación.

DETERMINACIONES	CONTROL	3 kGy	6 kGy	9 kGy	LIMITE
Recuento total de microorganismos aerobios mesófilos (UFC/g)	$9,3 \times 10^2$	<10	<10	<10	5×10^2
Recuento de Hongos (UFC/g)	<10	<10	<10	<10	10^2
Recuento de levaduras (UFC/g)	<10	<10	<10	<10	10^2
Recuento de Coliformes totales (NMP/g)	0,36	<0,3	<0,3	<0,3	Ausencia

4. Conclusiones

- Dosis de 0,75; 1,0 y 2,0 kGy logran extender la conservación en mangos, espárragos y fresas respectivamente.
- Dosis entre 0,10 y 0,15 kGy previenen el desarrollo de larvas de *Ceratitis capitata* infestantes en mangos haden.
- Dosis de 3 kGy son suficiente para mejorar la calidad higiénica en espárragos liofilizados en trozos, sin alterar significativamente sus características físico-químicas.
- Debido a la gran producción, se podrá tratar la agroindustria del espárrago como harina de espárrago, espárrago liofilizado en trozos, y espárrago precocido, con la finalidad de mejorar su calidad higiénica.
- La radiación gamma garantiza la inocuidad de los espárragos y de sus productos tratados.
- La radiación gamma es una alternativa como tratamiento cuarentenario en el Perú, para la exportación de frutas y hortalizas.
- La Tecnología de Irradiación permitirá ampliar y mejorar el acceso de los productos peruanos a los mercados internacionales.
- Con el uso de la tecnología de Irradiación lograremos un desarrollo sostenible conservando la salud y el medio ambiente.

Referencias

- 1) Schwartz M., et al. (2000). Bromuro de Metilo: Sustitución o Disminución de su consumo. Facultad de Ciencias Agronómicas. Depto. de Agroindustria y Enología. Universidad de Chile; Fundación de Desarrollo Frutícola (FDF); Corporación de Investigación Tecnológica INTEC-CHILE Fuentes de financiamiento: Fundación para la Innovación Agraria (FIA/Ministerio de Agricultura). Asociación de Exportadores, A.G.
- 2) Cornejo M., et al. (1994). Utilización de la Energía Nuclear a través de la Tecnología Pico Onda en la Conservación de la calidad y Disminución de la carga microbiana del Espárrago verde fresco. Proyecto de Investigación. Lima-Perú.
- 3) IAEA (1997). Reglamento Modelo sobre Irradiación de Alimentos para América Latina y el Caribe.
- 4) León C. (1999). Irradiación Gamma (Co-60) como Alternativa de Tratamiento Cuarentenario en Mangos Haden Infestados con *Ceratitis capitata* Wiedemann. Tesis UNFV para optar título de Ingeniero en Industrias Alimentarias. Lima-Perú.
- 5) O' Briem T. y Díaz A. (2003). El Ejemplo del Espárrago Peruano. Reporte del Programa de Sanidad Agropecuaria e Inocuidad de Alimentos del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.
- 6) Paredes D. (1995). Conservación de la Fresa (*Fragaria vesca* L.) por Radiación Gamma Almacenados en Refrigeración. Tesis Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión. Para optar el título de Lic. en Bromatología y Nutrición. Huacho-Perú.
- 7) Quispe F. (1988). Estudio del Efecto de la Radiación Gamma en la Conservación del Mango (*Mangifera indica* L.) de la variedad Haden, almacenados en Refrigeración. Tesis UNA La Molina, Para optar el Título de Ingeniero en Industrias Alimentarias. Lima-Perú.

Evaluación de páprika en polvo irradiado

Mónica Vivanco⁽¹⁾ vilmvm@yahoo.com; Johnny Vargas⁽¹⁾ jvargas@ipen.gob.pe;
Marco Linares⁽¹⁾ mlinares@ipen.gob.pe; Paula Huamanlazo⁽¹⁾ phuamanlazo@ipen.gob.pe

(1) IPEN Dirección de Aplicaciones, Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

Resumen

Las especias generalmente se encuentran contaminadas por diversos microorganismos. Entre las que sufren mayor contaminación en microorganismos aerobios mesófilos, microorganismos patógenos y hongos, se encuentran la pimienta y páprika. Teniendo en cuenta que este producto ocupa el primer lugar en el ranking del sector agroexportador convirtiendolo a nuestro país en el primer exportador a nivel mundial, se plante el estudio del efecto de la radiación gamma en páprika en polvo irradiado a una dosis de 4 kGy, 8 kGy y 10 kGy sobre la contaminación microbiológica. La dosis de 8 kGy redujo la población microbiana a un nivel satisfactorio. A las dosis estudiadas se hicieron análisis físico-químico y análisis sensorial sin que sus características fueran alteradas significativamente.

1. Introducción

Las especias se incorporan a los alimentos en pequenas cantidades para agradar el paladar y el olfato.

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

Algunos de sus usos como es el caso de la páprika están dirigidos a la elaboración de embutidos, formulaciones a base de vegetales, pescado, productos de panadería, sopas y salsas preparadas. (2)

Se debe tener en cuenta que en algunos de sus usos la páprika en polvo es usada como tal sin ningún tratamiento térmico posterior, como en el caso de consumo de pizzas y productos de snack bar, lo cual es riesgoso para el consumidor.

En Alemania por ejemplo, alrededor de 1000 casos de salmonelosis están asociados con el consumo de páprika. El polvo de páprika fue responsable del mayor brote infeccioso por especias contaminadas documentado (OMS, 1997b).

Es importante la descontaminación de las especias, ya que muchos de sus usos están

dirigidos a la elaboración de los embutidos, para que contribuya en la duración y mejoramiento del sabor del producto final.

Por otro lado, las exportaciones de páprika se ha constituido por su volumen en el producto estrella de las agroexportaciones, registrando en el primer cuatrimestre del año 2005 ventas por un monto ascendente a US\$ 33 millones y un crecimiento del 127% respecto al mismo período del año pasado, ocupando el primer lugar en el ranking del sector agroexportador, convirtiendolo a nuestro país en el primer exportador a nivel mundial, desplazando a las partidas de espárragos y mangos que siempre encabezaron la lista.

Las especias, hierbas y otros sazonadores vegetales no tratados, cosechados y manipulados bajo adecuadas condiciones higiénicas deberán presentar:

- No más de 10 000 bacterias coliformes por g. (3)
- No más de 100 000 propágulos de mohos por g.

Los objetivos de la irradiación en páprika en polvo irradiado son:

Reducir la población microbiana y hongos al nivel de las especificaciones y eliminar microorganismos patógenos sin alterar significativamente sus características físico-químicas y sensoriales.

No se utiliza la irradiación para la preservación de estos productos. La

preservación se obtiene mediante el empaque, almacenamiento adecuado y secado apropiado.

Características del Producto a Irradiar

El proceso de irradiación se aplica a estos productos en las formas en las cuales normalmente se preparan para su uso y comercialización. Las consideraciones usuales 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. (3)



Figura 1. Páprika en Polvo.

Dosis

La unidad de dosis absorbida es el gray (Gy), que viene a ser la energía absorbida de un Joule por Kg de materia irradiada:

$$\text{Gy} = \text{Joule/Kg.}$$

2. Método Experimental

Las muestras corresponden a una Industria Nacional.

Los productos fueron irradiados en el equipo de irradiación Gammacell 220 previa dosimetría y de acuerdo a la densidad y geometría nos permitió calcular los tiempos de exposición a la radiación gamma, para evaluar las dosis seleccionadas.

Para la dosimetría se utilizó el método ASTM E 1026 – 1995 Practice for Using the Fricke Reference Standard Dosimetry System

Los métodos empleados en los análisis Físico-Químico y las especificaciones para paprika en polvo fueron consultados de las Normas Técnicas Nacionales del ITINTEC.

Los métodos empleados en los análisis microbiológicos fueron realizados de acuerdo a lo que señala la FDA (6ta Edición - 1992). 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

Tabla 1. Análisis microbiológico en páprika.

DETERMINACIONES	CONTROL	4 kGy	8 kGy	10 kGy
Aerobios mesófilos (UFC/g)	8,5x10 ⁵	3,3x10 ³	1,5x10	<10
Salmonella/shigella (en 25g)	ausente	ausente	ausente	ausente
Coliformes totales (NMP/g)	0,36	<0,30	<0,30	<0,30
Echericha Coli (en 25g)	ausente	ausente	ausente	ausente
Rect. Clostridium sulfito reduc.(c/g)	2,0x10	6,0	2,0x10	6,0
Hongos (UFC/g)	3,5x10 ³	3,0x10 ²	<10	<10
Levaduras (UFC/g)	<10	<10	<10	<10
Hifas (Met.Howard)	5,0	<10	2,0	<10

Tabla 2. Análisis sensorial en páprika.

ATRIBUTO	CONTROL	4 kGy	8 kGy	10 kGy
Color	Rojo oscuro	Rojo oscuro	Rojo oscuro	Rojo oscuro
Olor	Aromático característico	Aromático característico	Aromático característico	Aromático característico
Sabor	Picante Característico	Picante Característico	Picante Característico	Picante Característico
Calificativo	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno
Puntaje	4	4	4	4

Tabla 3. Análisis físico-químico en páprika.

	Control	4 kGy	8 kGy	10 kGy
Humedad (%)	14,71	14,33	15,23	14,94
Cenizas Totales (%)	6,12	6,25	6,09	6,18
Cenizas Insolubles HCL (%)	0,25	0,23	0,24	0,16
Extracto Etereo Total (%)	15,91	15,35	15,48	15,19
Almidón (%)	----	----	----	----
Fibra Cruda (%)	15,19	14,39	14,49	15,59
ndice de Iodo	36	43	44	43
Color Asta	152	149	158	154

4. Conclusiones

- La muestra usada presentó una calidad microbiológica deficiente con predominio de microorganismos aerobios mesófilos de $8,5 \times 10^5$ UFC/g y los recuentos de hongos fueron de $3,5 \times 10^3$.
- Se encontraron coliformes totales y Clostridium sulfito reductor.
- La dosis mínima óptima de irradiación seleccionada fue de 8 kGy.
- Dosis de 8 kGy en páprika molida reduce la población de microorganismos de aerobios mesófilos y hongos en 4 y 3 ciclos logarítmicos respectivamente, cumpliendo con las especificaciones más exigentes de calidad.
- Dosis de 8 kGy elimina los coliformes totales presentes en el producto.
- A dosis de 8 kGy las características físico-químicas y sensoriales no son afectadas significativamente.
- Los productos irradiados con una dosis de 8 kGy son garantía de inocuidad y calidad.

5. Recomendaciones

- Seguir un plan HACCP y las buenas prácticas de manufactura e higiene durante y después de elaborado el producto, para minimizar riesgos y peligros de contaminación microbiana con hongos. A menor contaminación, puede requerirse menor dosis para su descontaminación.
- Evitar el exceso de manipuleo del producto en las instalaciones para reducir la contaminación.

Referencias

- 1) Farkas, J.; Tratamiento de la Especies. La Irradiación de Alimentos en Latinoamérica IAEA TECDOC 331 Lima, Perú (1983).
- 2) Wittig de Penna; Evaluación sensorial de pimentón en polvo (Capsicum Annum) irradiado. Nucleotécnica, N (1989).
- 3) Documento GCIIA N 5 Código de las buenas prácticas de irradiación para el control de patógeno y otra microflora en especias, hierbas y otros sazonadores Vegetales. FAO/OIEA/OMS, Viena (1991).

Solar photocatalytic degradation of phenol using pyrolytic TiO₂ films deposited inside a tubing

Juan Rodríguez^(1,2) jrodriguez@ipen.gob.pe; José Díaz⁽²⁾; Silvia Ponce⁽²⁾; José Solís^(1,2) jsolis@ipen.gob.pe; Walter Estrada^(1,2) westrada@ipen.gob.pe

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

(2) Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de Ciencias
Av. Tupac Amaru 210, Lima 25, Perú

Abstract

Solar photocatalytic degradation of phenol was obtained using TiO₂ films deposited inside glass tubing. TiO₂ thin films inside tubing were obtained by spray-gel technique using a titanium isopropoxide solution conveniently diluted in ethanol. The gas carrier flux, air pressure and temperature were kept during deposition at 5 L/min, 200 kPa, and 200 °C, respectively. Experiments were performed using either the solar radiation or a 300 W lamp simulating the UVA solar radiation component. In order to concentrate the radiation a reflective surface was placed in the back part of the tube. The initial concentration of phenol solution was 20 ppm, and the phenol concentration during the experiment was followed using a standard colorimetric method when aminoantipyrine reacts in the sample giving a colored complex. The volume of the phenol solution was limited with a solid aluminum rod placed axially to the glass tube. The obtained TiO₂ films were amorphous, but after an annealing at 450°C for 1 h the films crystallize to anatase structure and present photocatalytic activity. The films morphology observed by scanning electron microscopy presented a uniform film and agglomerates of TiO₂, the size of the agglomerates increases as Ti isopropoxide/ethanol molar ratio of the starting solution decreases. The precursor concentration solution and film thickness of TiO₂ for phenol degradation was optimized.

1. Introduction

The degradation of organic pollutants in water by photocatalysis using TiO₂ has attracted extensive attention during recent 20 years and is an alternative to conventional water treatment technologies. This technology is very suitable for rural areas due to the low cost, easily in the implementation and the possibility of use the UV-A component of the solar radiation.

TiO₂ is a n-type wide gap semiconductor that can only be excited by high energy UV irradiation with a wavelength of no longer than 400 nm. Illumination of TiO₂ with photons of energies greater than the bandgap energy promotes electrons transitions from the valence band to the conduction band, leaving behind positive holes giving electron/hole pairs. The energy level of the lowest occupied state in the valence band potential is enough to promote the generation of hydroxyl radicals. The hydroxyl radical is a powerful oxidizing agent and attacks organic pollutants present at or near the surface of the photocatalyst, reaction are usually driving up to the complete mineralizing of the contaminant.

The use of TiO₂ nano-particles in suspension is efficient due to the large surface area of catalyst available to the reaction. But it has some drawbacks before its scaling up to industrial processes, as for example, the necessary additional filtration to remove the photocatalyst from the solution after the decontamination process, increasing cost and time of the cleaning process. It is also known that suspended particles agglomerates, then reducing its photocatalytic efficiency. Thus an alternative is immobilize the photocatalyst as a thin film onto a rigid substrate. Several alternatives have been implemented in this sense [1-5]. Direct impregnation of Degussa-P25 as a photocatalyst in the internal part of glass coils is mostly used [1,2]. Spray pyrolysis technique is a versatile and low cost technique that was also used to deposit specular catalyst inside glass tubing (internal diameter of 7 mm) [6]. In this work we perform TiO₂ thin films were obtained inside tubing by a spray-gel technique. The process basically consists in producing an aerosol from a gel, which is sprayed over a hot substrate, where the film will grow. Rough coatings were obtained inside glass tubing using a titanium isopropoxide solution conveniently diluted in ethanol. The influence

of an axial volume limitation device was analyzed, as well as the optimum film thickness necessary to drive photocatalytic reactions under a solar radiation was found.

2. Experimental

2.1 Film preparation. TiO₂ thin films were performed inside glass tubing which has an internal diameter of 47 mm, length of 300 mm and 5 mm thick. Before deposition the tubing was cleaned with n-hexane, sonicated for 1 h and dried at 70 °C. Treated tubes were placed in a home made spray pyrolysis system shown in Fig. 1. A medical nebulizer was used as an atomizer, which can move back and forth axially to the tube allowing a uniform film. Different amounts of titanium isopropoxide solution diluted in ethanol were used as spraying solution. The gas carrier flux, air pressure and temperature were kept during deposition at 5 L/min, 200 kPa, and 200 °C, respectively. Films were deposited using an ethanol to Ti isopropoxide molar ratio of 0.66, 0.19 and 0.026. The as deposited films were annealed in air at 450 °C for 1 h.

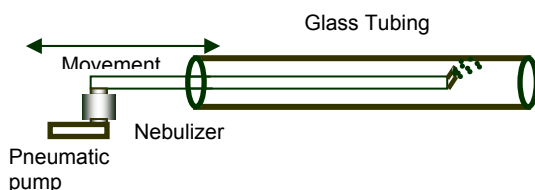


Figure 1. Spray pyrolysis deposition system for coating inside a glass tubing.

2.2 Film characterization. A rectangle sample of the film covered tubing was cut axially to characterized only one face of the film. X-ray diffraction experiments were performed using Phillips X-pert diffractometer operating with a CuK_α radiation (1.54 Å). The microstructure of the films was analyzed by a scanning electron microscope (SEM), a Phillips XL30 instrument provided with a energy dispersive x ray spectroscopy (EDS) micro-analyzer. The total optical transmittance was measured in the 200-800 nm wavelength range using a Perking Elmer Lambda 10 double beam spectrophotometer.

2.3 Photocatalytic activity measurements. Photocatalytic experiments were performed in TiO₂ coated tubing to photocatalytic degrade phenol. The coated glass tubing was filled up with phenol aqueous solution with a concentration of 20 ppm and closed

both ends. In order to concentrate the radiation a reflective surface was placed in the back part of the tube. Experiments were performed under solar radiation or a 300 W lamp simulating the UVA solar radiation component as it is shown in Fig. 2.

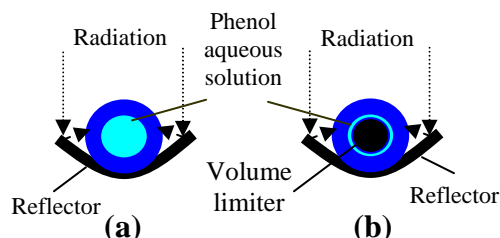


Figure 2. Irradiation scheme of the (a) TiO₂ coated glass tubing filled up with phenol aqueous solution with a concentration of 20 ppm, and (b) with volume limiter.

The global solar radiation and UV-A radiation was measured with a home made radiometer and a UDT radiometer with a 628UVA detector, respectively. Lamp intensity of 38 W/m² in the UV-A range was used, which is comparable of the UV-A radiation during a sunny day at Lima city. The volume of the phenol solution was limited with a solid aluminum rod placed axially to the glass tube (Fig. 2 b). Different volume of phenol aqueous solution was treated using a volume limiter with different diameter. The influence of TiO₂ film thickness in the photocatalytic degradation of phenol was study. The phenol concentration during the experiment was followed using a standard colorimetric method when aminoantipirine reacts in the sample giving a colored complex.

3. Results

3.1. X-ray diffraction. Fig. 3 shows the X-ray diffractograms for annealed films made from a solution with Ti isopropoxide/ethanol molar ratio of 0.026. The as deposited films are amorphous, however after an annealing at 450 °C for 1 h the films crystallize to anatasa TiO₂ phase with a grain size of 14 nm. The grain size was estimated from Scherrer's formula [7]. Similar behavior was observed for films made from solutions with Ti isopropoxide/ethanol molar ratio of 0.19 and 0.66.

3.2 Scanning electron microscopy. Morphology of annealed TiO₂ films deposited from solutions with Ti isopropoxide/ethanol molar ratio of 0.026, 0.19 and 0.66 are shown in Fig. 4

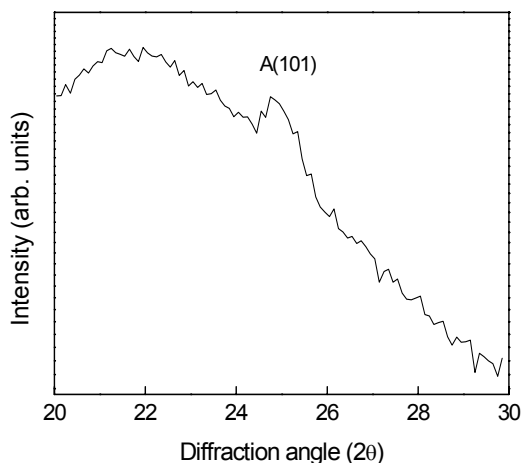


Figure 3. X-ray diffraction pattern for TiO_2 film deposited inside glass tubing after annealed at 450°C .

The morphology of the films indicates a uniform thin layer onto which agglomerates are formed. The uniform thin layers for films made with Ti isopropoxide/ethanol molar ratio of 0.66 and 0.19 are crack-free, whereas the film made with a Ti isopropoxide/ethanol molar ratio of 0.026 has cracks. The size of the agglomerates increases as Ti isopropoxide/ethanol molar ratio of the starting solution decreases. Fig. 5 shows the results obtained by EDS of the compositions in regions I and II (Fig. 4b) of a film deposited using a solution of Ti isopropoxide/ethanol molar ratio of 0.19. The composition of the region I is titanium, oxygen, aluminum, sodium and silicon; where Al, Na and Si are associated to the glass substrate. The agglomerates (region II) has a higher concentration of titanium and oxygen, and lower concentration of silicon. Si correspond to the glass substrate. The uniform film layer and agglomerates are TiO_2 . The film thickness was estimated from a cross section micrographs. The film thickness of the films was controlled depositing several layers. SEM micrographs of the cross-section of two representative annealed TiO_2 films obtained from solutions with Ti isopropoxide/ethanol molar ratio of 0.026 are shown in Fig. 6. It is noted that the film deposited with 4 and 10 layers has an approximately thickness of $\sim 1.6\ \mu\text{m}$, and $\sim 4.00\ \mu\text{m}$, respectively. The number of layer increases the film thickness. It is also observed that the films have very rough surface, characterized by agglomerates placed onto a continuous layer which is in agreement with the observed in Fig. 4.

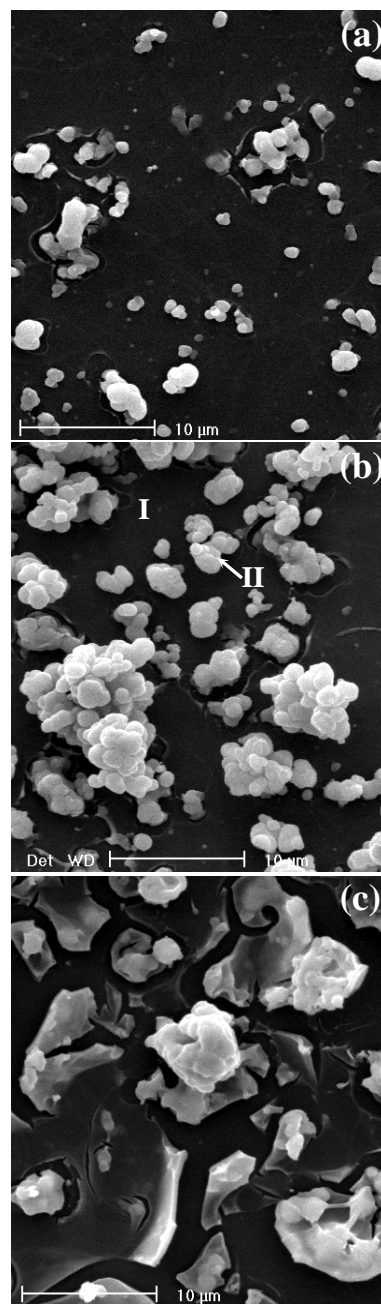


Figure 4. SEM Micrographs of annealed TiO_2 films obtained from solutions with Ti isopropoxide/ethanol molar ratio of (a) 0.66, (b) 0.19 and (c) 0.026.

3.3 Optical characterization. Figure 7 shows transmittance spectra for TiO_2 films deposited from solutions with Ti isopropoxide/ethanol molar ratio of 0.026 onto a plane glass substrate having four thickness. It is observed as a general trend that the transmittance decreases as the film thickness increases. It is well know that below 360 nm a strong absorption is expected due to the intrinsic absorption of the TiO_2 oxide, but in the visible range it is

due to light scattering due to its roughness, as it was observed by SEM micrographs (Fig. 4 and Fig. 6).

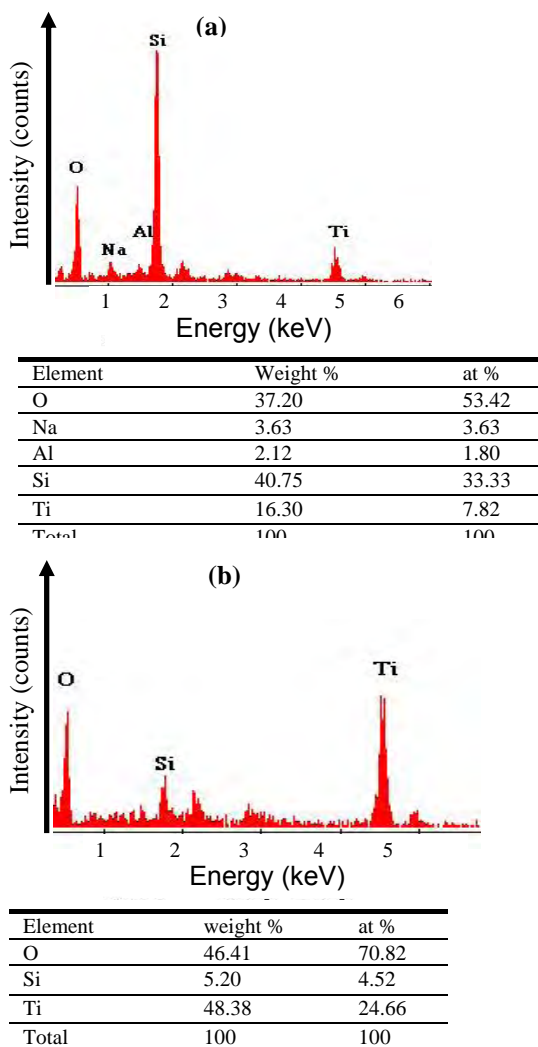


Figure 5. EDS analysis of annealed TiO₂ films obtained from solutions with Ti isopropoxide/ethanol molar ratio of 0.19 in regions (a) I and (b) II, which corresponds to Fig. 4b.

Figure 8 shows the UV-A transmittance as a function of film thickness of TiO₂ coated tubing measured inside and outside the tube. Film thickness equal to zero signifies uncovered tubing. The measured UV-A transmittance inside corresponds for a single wall covered tube and was fitted (full line in Fig. 8). The expected full coated tubing transmittance was calculated from the fitted curve considering two single wall covered tube and plotted in Fig. 8 (dotted line). Very well agreements between calculated and measured results were observed. In the irradiation scheme (Fig. 2) the light interact at least with four single wall covered tube. If we assume that the water, phenol or aluminum

did not absorb in the UV-range, we can calculate the UV-A transmittance in function of the number of single wall covered tube (interface).

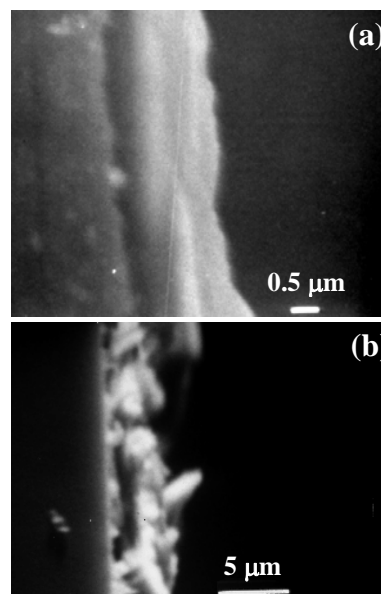


Figure 6. SEM micrographs of the cross-section of two typical Ti oxide films obtained from solutions with Ti isopropoxide/ethanol molar ratio of 0.026 with (a) 4 and (b) 10 layers.

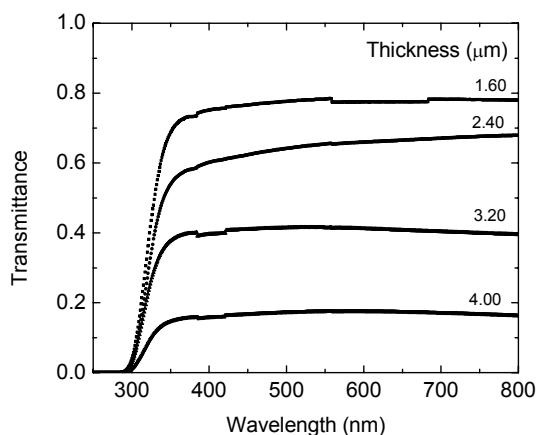


Figure 7. Spectral transmittance for TiO₂ films obtained from solutions with Ti isopropoxide/ethanol molar ratio of 0.026 and having the shown thickness.

3.4 Photocatalytic activity. TiO₂ coated tubing filled with phenol aqueous solution with a concentration of 20 ppm were irradiated for 4 h with lamp intensity of 38 W/m² in UV-A range. The volume of the phenol solution was varied using an aluminum rod placed axially inside the coated tubing (Fig. 2b). Aluminum rod of 1.2, 3.2 and 3.7 cm diameter was used as volume limiter. Table 1 shows the results of phenol photodegradation for different phenol volumes for TiO₂ films obtained from Ti

isopropoxide/ethanol molar ratio of 0.026. It can be seen that the phenol degradation depends of the relation of the available photocatalyst with the contaminant volume.

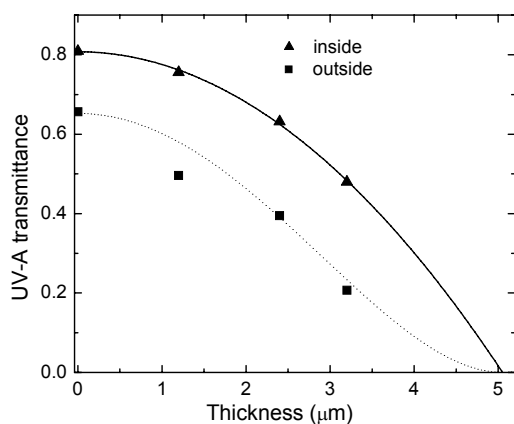


Figure 8. UV-A transmittance as a function of TiO_2 films thickness deposited with Ti isopropoxide/ethanol molar ratio of 0.026 measured inside (▲) and outside (■) the tubing. The full and dotted line is fitted and calculated, respectively.

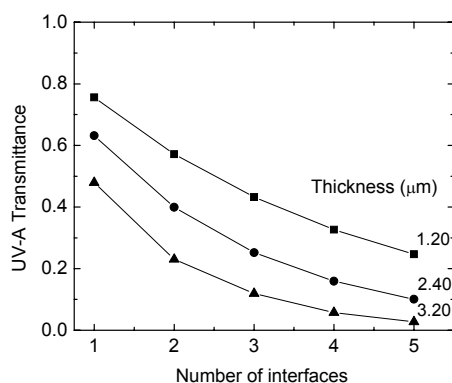


Figure 9. UV-A transmittance for TiO_2 films deposited with a Ti isopropoxide/ethanol molar ratio of 0.026 as a function of the number of interfaces that light pass through and having the shown thickness.

The influence of Ti isopropoxide/ethanol molar ratio in starting solution and the film thickness in the phenol photodegradation is shown in Fig. 10. The phenol volume treated is 400 and 200 mL in Fig 10a and 10b, respectively. The phenol photodegradation of 400 mL (Fig. 10a) increases with the film thickness. Slight difference has the TiO_2 films obtained with Ti isopropoxide/ethanol molar ratio of 0.66 and 0.19. When phenol volume treated is 200 mL (Fig. 10b), an increment in the phenol degradation is observed in all cases. TiO_2 films deposited with Ti isopropoxide/ethanol molar ratio of 0.66 and 0.19 has a similar behavior for 200 and 400

mL of phenol treated; only a larger difference for 1.2 μm film thickness is observed. The phenol degradation for TiO_2 films deposited with Ti isopropoxide/ethanol molar ratio of 0.026 has a maximum degradation when film thickness is between 1.2 to 2.4 μm, and diminished for thicker films.

Table 1. Phenol photodegradation after 4 h of irradiation for different phenol volume using TiO_2 coated tubing with Ti isopropoxide/ethanol molar ratio of 0.026. The initial concentration of phenol aqueous solution was 20 ppm.

Al rod diameter (cm)	Phenol degradation after 4 h (%)	volume (mL)
0	10	400
1.2	11.4	300
3.2	14.9	200
3.7	22.4	100

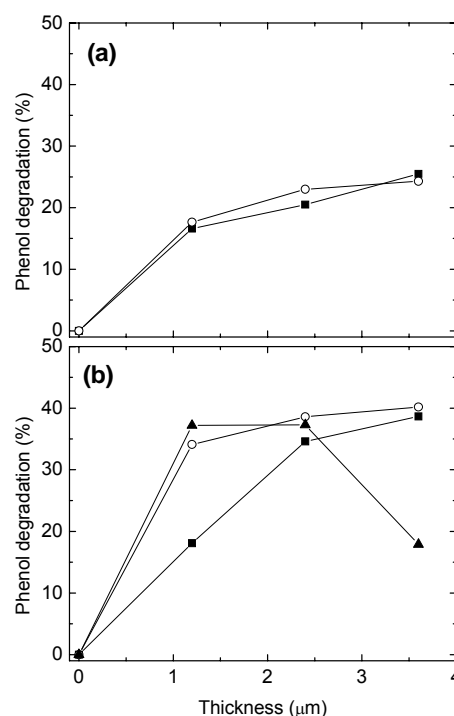


Figure 10. a) 400 and b) 200 mL phenol photodegradation as a function of film thickness for TiO_2 coated tubing obtained with Ti isopropoxide/ethanol molar ratio of (■) 0.66, (○) 0.19 and (▲) 0.026. The initial concentration of phenol aqueous solution was 20 ppm.

Phenol degradation with 2.4 μm thick TiO_2 coated tubing under solar radiation and a lamp intensity of 38 W/m^2 in the UV-A range was performed for 4 h. Fig. 11 shows the solar radiation of a typical summer day in Lima. After the irradiation time the phenol degradation in both experiments was similar.

A degradation of 31.6 and 34.4 % were obtained for the experiments performed under solar radiation and with UV-A lamp, respectively. The slight difference is attributed to the fact that the solar radiation is not constant during the experiment and the average was less than 34 W/m^2 .

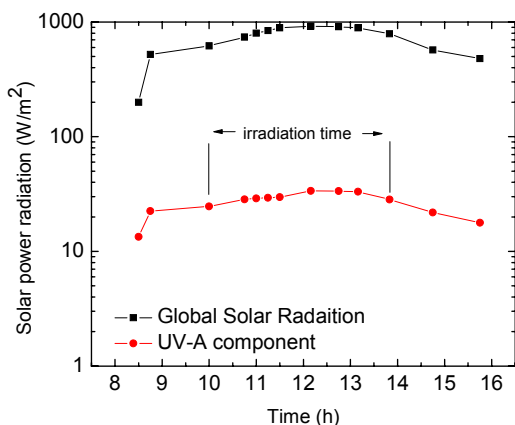


Figure 11. Global solar radiation and UV-A component during a typical sunny day in Lima. The irradiating time of the sample is shown.

4. Conclusions

Photocatalytic TiO_2 films were deposited inside glass tubing. As deposited films were amorphous, however after an annealing at 450°C for 1h the film crystallize to anatasa TiO_2 phase with a grain size of 14 nm. The film morphology of TiO_2 films depends of the Ti isopropoxide/ethanol molar ratio of the starting solution. The optimum volume for phenol degradation is 200 mL. TiO_2 film obtained with Ti isopropoxide/ethanol molar ratio of 0.026 with a film thickness between 1.2 to $2.4 \mu\text{m}$ showed the maximum phenol photodegradation.

Acknowledgements

This work was partially supported by SOLWATER project ICA4-CT-2002-10001, ASO Project AE 141/2001 and the International Science Programme of the Uppsala University. J. Nieto is thanked for preparation of some samples.

References

1. R.W. Mattwes, *Solar Energy*, 38 (1987) 405.
1. H. Al-Ekabi and N. Serpone, *J. Phys. Chem.* 92 (1988) 5726.
2. J. Rodriguez, M. Gomez, G.A. Niklasson, S.-E. Lindquist, and C.G. Granqvist, *J. Mater. Sci.* 36 (2001) 3699.
3. K. Sunada, Y. Kikuchi, K. Hashimoto, and A. Fujishima, *Environ. Sci. Technol.* 32 (1998) 726.
4. W.A. Jacoby, P. Ching Maness, E.J. Wolfrum, D.M. Blake, and J.A. Fennell, *Environ. Sci. Technol.* 32 (1998) 2650.
5. M. Miki-Yoshida, V. Collins-Martinez, P. Amezaga-Madrid, and A. Aguilar-Elguezabal, *Thin Solid Films* 419 (2002) 60.
6. B.D. Cullity, *Elements of X-ray Diffraction*. Addison Wesley, New York, 1978.

Uso del análisis multivariado de datos y espectrometría de absorción Uv-visible para la determinación simultánea de la concentración de Co, Cu y Ni en una solución: Reporte preliminar

Germán Comina⁽¹⁾ gcomina@uni.edu.pe; José Solís^(2,1) jsolis@ipen.gob.pe;
Walter Estrada^(2,1) westrada@ipen.gob.pe

(1) *Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de Ciencias, Av. Tupac Amaru 210, Lima 25, Perú*

(2) *Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN), Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú*

Resumen

Se ha determinado en forma simultánea la concentración de Co, Cu y Ni en soluciones con 8% de error promedio. Para lograrlo, se desarrolló un modelo lineal usando el método PLS (Partial Least Square Regression). Además, se usó el análisis de componentes principales (PCA, Principal Components Analysis) para clasificar a las muestras por su densidad óptica total en el rango de medida, encontrándose que la densidad óptica se encuentra distribuida sobre la primera componente principal.

1. Introducción

La espectrofotometría UV-visible, combinada con la ley de Lambert-Beer, permite determinar la concentración de un soluto en una solución [1]. Una curva de calibración se obtiene usando soluciones de concentración conocida, y la absorbancia se mide a una longitud de onda donde se tiene la banda de absorción correspondiente al complejo que esta relacionada con el elemento de análisis. Con éste método se puede determinar la concentración de un soluto en la solución. Si se desea determinar la concentración de otros solutos en la misma solución, se tiene que repetir el mismo proceso para cada uno de ellos. En el presente trabajo utilizando análisis multivariado se determina en forma simultánea, luego del desarrollo de un modelo lineal, la concentración de Co, Cu, y Ni en una solución.

El análisis multivariado consiste en observar o medir ciertas propiedades de un sistema a través de mediciones indirectas de las mismas.

Las aplicaciones del análisis de datos usando métodos multivariados son bastante amplias, como por ejemplo en análisis de olor y sabor en narices y lenguas electrónicas [2, 3], en la determinación de variables de control ambiental, como la demanda química de oxígeno (COD) [4], el reconocimiento automático de rostros [5], etc.

Los objetivos del análisis multivariado se pueden dividir en tres grupos [6]:

- Descripción de datos (modelos para la exploración de datos).
- Clasificación y discriminación (PCA).
- Predicción y regresión (PLS, PCR).

El análisis por componentes principales (PCA), es la técnica más utilizada del análisis multivariado [7]. Su objetivo es identificar las fuentes que producen la mayor variancia en un conjunto de datos. Las variancias máximas del sistema se encuentran distribuidas en las llamadas componentes principales.

La medición de j parámetros o "variables" de i muestras u "objetos", pueden representarse por la matriz: X_{ij} . Por tanto cada medición de una muestra, se expresa como un vector en el espacio j -dimensional. El PCA permite reducir las dimensiones de dicho espacio.

Usando PCA los datos del espacio j -dimensional, por lo general, se proyectan en el plano formado por la componente principal 1 (PC1, es la dirección en el espacio j -dimensional, donde está la mayor variancia de X) y la componente principal 2 (PC2, es la segunda dirección en importancia donde esta la variancia de X); pero también es posible proyectar los puntos sobre el volumen formado por las primeras tres componentes principales.

El PCA usa el algoritmo NIPALS (Non-linear Iterative Projections by Alternating Least-Squares), inventado por Herman Wold en 1966. El primer paso es centrar cada objeto de la matriz respecto de la media \bar{x}_j como se observa en la ecuación:

$$x_{ij} = x_{ij} - \bar{x}_j \quad (1)$$

Luego se crea un modelo lineal, el cual consta por un término llamado de estructura, formado por el producto de dos matrices (TP^T), y el término de error residual, E , o la parte de la matriz que no pudo ajustarse al término de estructura, como se observa en la ecuación:

$$X = TP^T + E \quad (2)$$

O en forma equivalente:

$$X = \sum_{w=1}^A t_w p_w^T + E \quad (3)$$

Donde A , es el número de componentes principales del modelo, t_w es el vector de "score" para la componente w y p_w es el vector de "loading" para la componente w . El algoritmo NIPALS calcula sucesivamente cada t_w , p_w y cada E_w que es la matriz de error para cada componente principal w . Los gráficos que se utilizan en el presente trabajo son los gráficos de "score" con dos componentes principales PC1 y PC2.

El método de regresión por mínimos cuadrados parciales (PLS, Partial Least-Square), ha ganado gran importancia en los campos de la química, física, medicina, economía y control de procesos industriales. El pionero en el uso de PLS en el campo de la economía fue Herman Wold a fines de los años sesenta. Los primeros en usar el método de PLS en aplicaciones químicas fueron S. Wold y H. Martens a fines de los años setenta luego de una aplicación hecha por Kowalski [8].

El método PLS crea un modelo lineal a partir del cual es posible predecir el valor de una o varias variables de un sistema. El método utiliza dos matrices X_{ij} y Y_{ik} . La matriz X , al igual que en el caso del PCA, representa a i objetos de j variables independientes. La matriz Y representa a i objetos o mediciones de k variables, para las cuales se desea construir un modelo, de tal manera se puede predecir los valores de las k variables, en mediciones futuras (para otras matrices X).

El proceso de calibración y predicción se observa en la Figura 1, el primer paso es la calibración, en este paso se establece un modelo a partir de las matrices conocidas X e Y . Luego teniendo el modelo, el segundo paso es usar el modelo para predecir valores de Y' a partir de los datos X' .

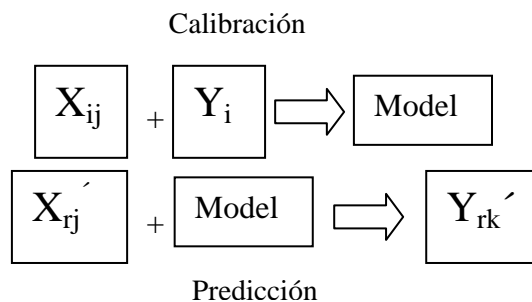


Figura 1. Procesos de calibración y predicción en el método PLS.

El modelo del PLS se basa en el algoritmo NIPALS. Se centran y redimensionan las matrices X e Y .

$$x_{ij} = x_{ij} - \bar{x}_j \quad (4)$$

$$y_{ik} = y_{ik} - \bar{y}_k \quad (5)$$

Luego se expresan independientemente como una suma de matrices, como en el caso del PCA.

$$X = \sum_{w=1}^A t_w p_w^T + E \quad (6)$$

$$Y = \sum_{w=1}^A u_w q_w^T + F^* \quad (7)$$

Luego los scores de cada uno de los modelos se relacionan en forma lineal, encontrando los llamados coeficientes de regresión, b_s :

$$b_s = \frac{u_s^* t_s}{t_s^* t_s} \quad (8)$$

La matriz Y puede entonces expresarse como:

$$Y = \sum_{w=1}^A t_w b_w q_w^* + F \quad (9)$$

Donde la condición para que el modelo sea aceptable es que $\|F\|$ sea lo suficientemente pequeño. Una medida utilizada para la aceptación de un modelo, es el error estándar de validación (SEV, Standard Error of Validation) el cual debe ser pequeño.

En el presente trabajo se determinaron las concentraciones de Co, Cu y Ni en tres soluciones problema diferentes, a partir de las medidas de sus espectros de absorción UV-visible. Se utilizaron 29 muestras de calibración, las cuales contenían Co, Cu, Ni, con concentraciones conocidas. Se usó el método PCA, con el cual se encontró una relación entre la primera componente principal y la densidad óptica espectral. Utilizando el análisis PLS de datos

multivariados se logro desarrollar un modelo con el cual se podrá predecir las concentración de Co, Cu y Ni en muestras.

2. Procedimiento Experimental

Se fabricaron tres soluciones base de Co, Cu, y Ni con una concentración de 1M, a partir de $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ y $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Se obtuvieron 29 soluciones de calibración con diferentes concentraciones de Co, Cu, Ni en cada una. En la Tabla 1, se muestran las concentraciones de Co, Cu y Ni presentes en las muestras de calibración.

Tabla 1. Concentración de Co, Cu, y Ni presentes en las muestras de calibración.

Muestra	Co (mM)	Cu (mM)	Ni (mM)	SUMA (mM)
1	30	10	15	56
2	35	15	15	67
3	20	35	25	83
4	25	5	5	39
5	5	5	5	20
6	5	35	45	91
7	30	50	35	122
8	25	15	45	93
9	50	25	5	89
10	20	5	50	85
11	15	5	40	71
12	50	10	30	102
13	5	25	50	93
14	15	40	10	79
15	15	25	30	85
16	45	45	30	136
17	25	50	25	117
18	45	35	40	138
19	25	15	10	69
20	10	20	10	60
21	45	35	10	111
22	25	50	5	102
23	10	10	45	88
24	30	20	35	109
25	25	25	50	125
26	40	25	10	101
27	20	50	30	127
28	50	50	50	178
29	10	10	5	25

Además se obtuvieron tres soluciones problema, las cuales poseen diferentes concentraciones de Co, Cu y Ni; como se observa en la Tabla 2.

Se midió la absorbancia espectral de todas las soluciones utilizando un

espectrofotómetro UV-Visible de absorción Hitachi U-2000, en el rango de la longitud de onda de 350 nm a 800 nm; en pasos de 10 nm.

3. Resultados

Las mediciones se realizaron en forma aleatoria y para las muestras problema, se midió tres veces y en forma aleatoria, cada espectro.

Tabla 2. Concentración de Co, Cu, y Ni presentes en las muestras problema.

Muestra	Co (mM)	Cu (mM)	Ni (mM)
MP1	34	13	17
MP2	15	7	5
MP3	0	40	10

En la Figura 2 se muestran los 29 espectros de absorción para las muestras de calibración. Se tiene que cada pico de absorción corresponde a cada metal, los cuales están alrededor de 400, 500 y 800 nm, y corresponden a Ni, Co y Cu, respectivamente.

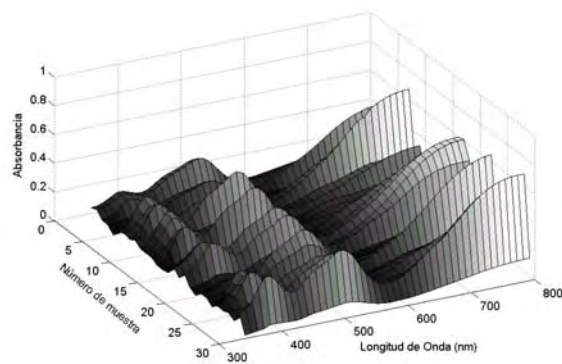


Figura 2. Espectros de absorbancia para las 29 muestras de calibración.

Los espectros de absorción para las tres muestras problemas se muestran en la Figura 3.

Observando la Figura 3 es posible ver que la forma de las curvas para las soluciones problema 1 y 2 son similares a las que se encuentran en la Figura 2, de tal manera que es posible decir que aquellas tienen disueltas los 3 metales, por que todas las soluciones de calibración tienen al menos 5 mM de cada metal. Para la solución problema 3, no presenta el pico de absorción que esta

alrededor de 500 nm. Por lo que se puede inferir que el Co no está presente en la solución. La absorbancia de cada muestra se midió 3 veces en diferente orden.

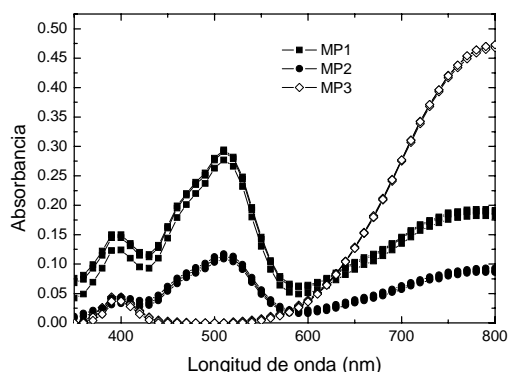


Figura 3. Absorbancia vs. longitud de onda para las 3 muestras problema.

Se utilizó el algoritmo NIPALS para determinar los scores y la gráfica PCI vs PC2 del método PCA. En la Figura 4 se muestra el gráfico de los Scores en las dos primeras componentes principales. Se observa el valor de la concentración total de las muestras de calibración, ver en la Tabla 1 la columna SUMA, están a la derecha del origen mientras que las que tienen menor concentración están a la izquierda en el gráfico PCA (Figura 4).

Por tanto, el valor de la suma de las concentraciones totales de las muestras (ver Tabla 1) están en relación directa con la primera componente principal del PCA. La concentración total va de mayor a menor cuando en el eje PC1 se va de izquierda a derecha.. O lo que es equivalente la concentración total está contenida en la primera componente.

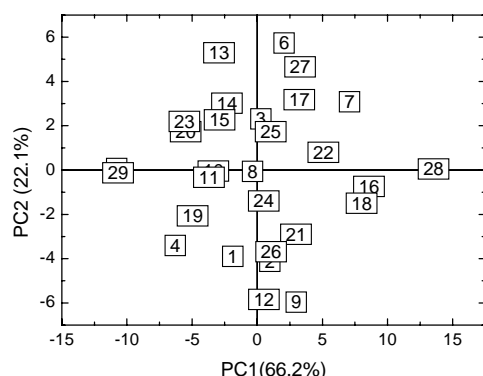


Figura 4. Gráfico PCA para las 29 muestras patrones.

La ley combinada de Lambert-Bear [9], indica que hay una proporción directa entre el valor de la concentración de un soluto en

una solución y el valor de su densidad óptica (Densidad Óptica = $\log(1/T)$, T: transmitancia).

Por tanto la densidad óptica total medida en el rango de medida está contenida en la primera componente principal PC1. (Figura 4 y Tabla 1).

4. Conclusiones

Usando el método PCA, se observó que para el sistema en estudio la densidad óptica total evaluada en todo el rango de medida se encuentra sobre la primera componente principal.

Bibliografía

1. R.A.Day, A.L Underwood. Química Analítica Cuantitativa, 5ª Ed. Prentice-Hall (1989).
2. E.L. Kalman, F. Winqvist and I. Lundström, Atmospheric Environment, Vol.31, Issue 11, pp.1715-1719,(1997).
3. F. Winqvist, S. Holmin, C. Krantz-Rülcker, P. Wide and I. Lundström, Analytica Chimica Acta Vol.406, Issue 2, pp 147-157,(2000).
4. G. Comina, S. Holmin, P. Ivarsson, F. Winqvist, C. Krantz-Rülcker, 2nd. SENSPOL Workshop: Response to New Pollution Challenges. ISBN: 1 871315 86 7,p.22,.Londres, UK; 4-7 Junio 2002.
5. Vytautas Perlibakas, Patten Recognition Letters, Vol.25 Issue 6 pp.711-724 (2004).
6. K. Esbensen. Multivariate Data Analysis in Practice. CAMO Process AS, (2001).
7. Karl S. Booksh: Encyclopedia of Analytical Chemistry, R.A. Meyers (Ed.), John Wiley & Sons Ltd, pp. 8145-8169, Chichester, (2000).
8. Paul Geladi and Bruce R.Kowalski, Analytica Chimica Acta, Vol.185, pp.1-17, (1986).
9. Douglas Skoog, Principles of instrumental analysis, Brooks Cole 5th edition (1997).

IV. Aplicaciones en Medicina y Biología

Utilidad de la gammagrafía con Galio 67 en el seguimiento de pacientes con linfoma: Reporte preliminar

Patricia Saavedra⁽¹⁾; Roque Cano⁽¹⁾ cmn@amauta.rcp.net.pe; Rossana Morales⁽¹⁾; Rolando Sánchez⁽²⁾; Luis Muñoz⁽¹⁾; Henry Gómez⁽²⁾; Carlos Carracedo⁽²⁾; Luis León⁽²⁾; Carlos Vallejos⁽²⁾; Luis Casanova⁽²⁾; Jorge Guerrero⁽²⁾; Félix Cisneros⁽²⁾

(1) IPEN, Centro de Medicina Nuclear

(2) Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas (INEN)

Resumen

El objetivo del estudio fue determinar la utilidad de la gammagrafía con galio 67 en la valoración de respuesta al tratamiento en pacientes con Enfermedad de Hodgkin o con Linfoma No Hodgkin. Entre marzo del 2003 y junio del 2004, se evaluaron a 21 pacientes entre 15 y 72 años con Linfoma no Hodgkin (08 pacientes) y Enfermedad de Hodgkin (13 pacientes). De los 21 rastreos corporales con galio 67 realizados, 14 fueron considerados negativos y 07 positivos, teniéndose un caso falso negativo y otro falso positivo. Se concluye que la gammagrafía con galio 67 es una herramienta útil para discriminar tejido tumoral viable.

PALABRAS CLAVE: Galio 67, Linfoma no Hodgkin, Enfermedad de Hodgkin.

1. Introducción

En el seguimiento a los pacientes diagnosticados de Linfoma Hodgkin o no Hodgkin es importante realizar la valoración de la respuesta al tratamiento, con la finalidad de determinar el pronóstico. Las evaluaciones convencionales se basan en la historia clínica, examen físico y estudios de imágenes anatómicas, como ecografía o tomografía computarizada (TAC). Las limitaciones que se han demostrado con esta última técnica se han presentado al momento de discernir si la presencia de adenomegalias indica existencia de tejido linfomatoso viable o lesiones cicatriciales (7).

Los estudios de imágenes funcionales han demostrado ser de gran utilidad para el seguimiento de estas enfermedades, ya que permiten diferenciar tejido benigno de maligno. En muchos centros, la gammagrafía con Galio 67 sirve como complemento de la TAC, en la evaluación de pacientes con linfoma, tanto en el estadiaje inicial como después del tratamiento (8).

El objetivo del estudio fue determinar la utilidad de la gammagrafía con galio 67 en pacientes con Enfermedad de Hodgkin o con Linfoma No Hodgkin, para evaluar la respuesta al tratamiento.

2. Método

Entre marzo de 2003 y junio de 2004, se estudiaron 21 pacientes (10 mujeres, 11 varones), entre 15 y 72 años (media = 35.3 años) con diagnóstico de Linfoma no Hodgkin (n=8) y Enfermedad de Hodgkin (n=13).

Tabla 1. Características clínicas.

		Nº
SEXO	MASCULINO	11 (53%)
	FEMENINO	10 (47%)
TIPO HISTOLOGICO		
ENF. DE HODGKIN		13 (62%)
LINFOMA NON HODGKIN		08 (38%)
EDAD	MEDIA: 35.3	
FOCO PRIMARIO		
MEDIASITAL		12
CERVICAL		04
AXILAR		02
OTROS		03

Todos los pacientes fueron evaluados luego de concluir el tratamiento con quimioterapia (QT) y/o radioterapia (RT). Dicha evaluación consistió en un examen físico, pruebas de laboratorio y estudios de imágenes, que incluyeron radiografías, ecografías y tomografías computarizadas, según correspondiera a criterio médico.

Los pacientes tuvieron seguimiento de 7 a 23 meses, luego de realizado el rastreo corporal con Galio 67.

ESTUDIOS DE IMAGENES

Rastreo Corporal con Galio 67

Se realizó administrando 06 mCi (222 MBq) de Galio 67 citrato por vía endovenosa. Se preparó al paciente con dieta rica en fibras y administrando laxantes la noche anterior a la toma de imágenes. La adquisición se realizó 96 horas luego de la administración del radiofármaco; se realizaron vistas de cuerpo entero en anterior y posterior y, cuando fue necesario, se adquirieron imágenes tomográficas (360° grados de rotación, 30 seg. por imagen), con una cámara SPECT modelo E. CAM marca Siemens.

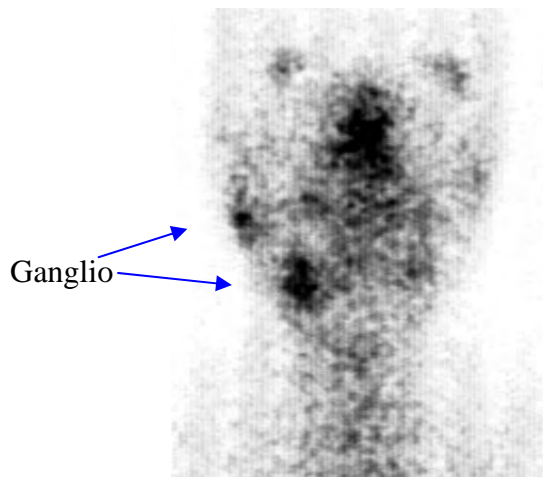
Se consideró como captación tumoral anormal cuando se observó un área de captación focal o difusa o incremento de la actividad en una ubicación incompatible con la distribución fisiológica del radiotrazador.

Los resultados de la gammagrafía con galio 67, tomografía computarizada y/o ecografía fueron comparados con el cuadro clínico.

3. Resultados

Se realizaron 21 rastreos corporales con Galio 67; 14 fueron considerados negativos y 07 positivos.

La figura muestra un rastreo con Galio 67, informado como persistencia de enfermedad (linfoma) en la región cervical



En el grupo de los rastreos negativos, 04 tuvieron además otros estudios de imágenes, informados como negativos o normales, y todos permanecían en remisión total de su enfermedad hasta el momento de realizado el seguimiento. En nueve pacientes, quienes tuvieron otros estudios de imágenes informados como positivos, por persistencia de adenomegalias y/o masas mediastinales y en quienes no se pudo identificar si correspondía a enfermedad activa o residual, se informó el rastreo con galio 67 como negativo; todos permanecieron en remisión total de la enfermedad hasta el momento de realizado el seguimiento. Sin embargo, en este grupo hubo un estudio falso negativo, con evidencia de tejido linfomatoso viable, confirmado por biopsia del ganglio comprometido.

Este caso se trató de una paciente mujer de 34 años con diagnóstico inicial de Linfoma non Hodgkin de Células Grandes B, de tipo difuso primario axilar izquierdo en quien, seis meses después de concluir la QT, se evidenció en la TAC de tórax la presencia de adenomegalias de 2 cm en la axila izquierda, por lo que se realizó rastreo con galio 67, el cual fue informado como negativo. Se realizó biopsia de un ganglio evidenciándose enfermedad viable por lo que reinició tratamiento con QT. Concluida la quimioterapia a la paciente se le realizó nuevamente rastreo con galio 67, el cual se volvió a reportar como negativo, y la TAC de tórax fue informada como persistencia de ganglios, pero con disminución de su tamaño en relación al estudio realizado previo al inicio de la QT. Se realizó nueva biopsia de ganglio axilar y se reportó como viraje a Linfoma Hodgkin predominantemente linfocítico-nodular. En la actualidad la paciente se encuentra recibiendo un nuevo curso de QT.

En el grupo de los pacientes con rastreo positivo, 01 paciente tuvo una TAC de tórax informada como negativa y marcador tumoral (B2M) elevado; se realizó una video-toracotomía con biopsia dirigida evidenciándose viabilidad de la enfermedad, por lo que tuvo tratamiento complementario. Cinco pacientes con otros estudios de imágenes informados como positivos, por persistencia de adenomegalias y/o masas mediastinales y en quienes no se pudo identificar si eran enfermedad activa o residual, se informó el rastreo con galio 67 positivo y todos recibieron tratamiento con QT y RT complementarios.

En este grupo se reportó un caso falso positivo. Se trató de un paciente varón de 21 años con diagnóstico de Enfermedad de Hodgkin variante celularidad mixta, primario mediastinal EC II B, al cual se le realizó un rastreo con galio 67, dos meses después de concluida la QT, observando captación anormal del radiotrazador en el mediastino. En la TAC de tórax se observó múltiples ganglios calcificados a nivel del mediastino de localización pre-vascular, por decisión de la junta de médicos tratantes, el paciente permaneció en observación, estando en remisión y sin evidencia de enfermedad luego de 16 meses de seguimiento.

4. Discusión

Los métodos de imágenes juegan un papel importante en la valoración no invasiva de pacientes con linfoma. La Tomografía computarizada (TAC), Resonancia magnética (RMN) y la ecografía permiten visualizar alteraciones anatómicas sugestivas de persistencia de enfermedad; sin embargo, los resultados de estos exámenes no siempre son concluyentes. La presencia de una masa residual en pacientes con buena respuesta al tratamiento, así como la presencia de adenomegalias pequeñas son un ejemplo de casos en los cuales la evaluación anatómica no es suficiente (1)

El uso de galio 67 en la valoración de linfomas fue descrito hace más de 30 años. Edwards y Hayes fueron los primeros que sugirieron, en 1969, la utilidad del galio-67 como un trazador para el seguimiento tumoral, describiendo la intensa captación del mismo por los ganglios en pacientes con diagnóstico de Linfoma de Hodgkin.

(2,5) En la actualidad se ha observado considerable desarrollo de las técnicas empleadas y mejores resultados con la optimización de las dosis y el empleo de las técnicas topográficas.

La sensibilidad de la prueba para detectar tejido linfomatoso depende del tipo histológico, del tamaño y la localización, así por ejemplo se ha demostrado que lesiones menores de 1 cm son muy difíciles de detectar, y aquellas localizadas en el abdomen y pelvis pueden tener problemas de identificación debido a la interferencia que produce la actividad existente en el hígado y colon (3).

Muchos estudios comparan el valor de la gammagrafía con Ga-67 en el seguimiento post-terapia de pacientes con diagnóstico de linfoma. Zinzani y colaboradores (4) estudiaron retrospectivamente a 37 pacientes con enfermedad de Hodgkin y compromiso mediastinal; ellos concluyeron que la gammagrafía con Ga-67 fue superior a la TAC en la discriminación de evidencia de viabilidad tumoral de otra patología, al hallarse masas persistentes por otros métodos, luego de concluir el tratamiento.

Front y colaboradores (6), en una serie de 86 pacientes con linfoma, demostraron la utilidad del rastreo con Ga-67, no sólo en el diagnóstico de persistencia de enfermedad, sino también como un factor para predecir el pronóstico de la enfermedad.

5. Conclusiones

En el presente estudio se concluye que la gammagrafía con galio 67 es una herramienta útil para discriminar tejido tumoral viable de tejido residual o fibrótico, como técnica complementaria a la TC.

Bibliografía

1. Sapienza M, Marone M, Chiattoni C. Contribucao da Medicina Nuclear para a avaliacao dos linfomas. Rev. Brás. Hematol. Hemoter 2001, 23(2): 79-92
2. Castellani M, Cefalo G, Terenziani M. Gallium scan in adolescents and children with Hodgkin disease (HD) QJ Nucl Med 2003; 47:22-30
3. Hervás I, Segura A, López Tendero P, Bello P, Gonzalez Cabezas P, Flores D. Hodgkin's

disease. Prognostic value of Gallium 67 scintigraphy. *QJ Nucl Med* 2003; 47:101-108

4. Zinzani PL, Maganoli M, Franchi R, Zompatori M, Frezza G, Galassi R et al. Diagnostic role of gallium scanning in the management of lymphoma with mediastinal involvement. *Haematologica* 1999; 84:604-7

5. Bruce D, Cheson, MD. What Is New in Lymphoma? *Cancer J Clin* 2004;54:260–272.

6. Front D, Bar-Shalom R, Mor M, Haim N, Epelbaum R, Frenkel A et al. Hodgkin

Disease: Prediction of Outcome with 67Ga Scintigraphy after One Cycle of Chemotherapy. *Radiology* 1999; 210:487–491

7. Wirth A, Seymour J, Hicks R, Ware R, Fisher R, Prince M et al. Fluorine-18 Fluorodeoxyglucose Positron Emission Tomography, Gallium-67 Scintigraphy, and Conventional Staging for Hodgkin's Disease and Non-Hodgkin's Lymphoma. *Am J Med.* 2002; 112:262–268

8. Zinzani P, Magagnoli M, Franchi R, Zompatori R, Frezza G et al. Diagnostic role of gallium scanning in the management of lymphoma with mediastinal involvement. *Haematologica* 1999; 84:604-607

Desarrollo de un kit liofilizado de anti-egf/r3 para ser marcado con Tc-99m obtenido por extracción, para uso potencial en inmunogammagrafia. Reporte preliminar

Guilmer Agurto⁽¹⁾ gagurto@ipen.gob.pe; Ingrid Petzoldt⁽¹⁾ ipetzoldt@ipen.gob.pe;
Anita Robles⁽¹⁾ arobles@ipen.gob.pe; Bertha Ramos⁽¹⁾ bramos@ipen.gob.pe;
Julia Ramirez⁽¹⁾ jramirez@ipen.gob.pe; Mario Morote⁽¹⁾ mmorote@ipen.gob.pe

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

Resumen

Este estudio reporta los primeros resultados preliminares de 03 lotes producidos en solución. Se utilizó 2-Mercapto Etanol en la reducción del anticuerpo (relación de 1:2000 de AcMn:2ME) con un tiempo de incubación de 30 minutos, la purificación se realizó en columna PD 10. Se probaron tres formulaciones usando como ligando el MDP, como anticuerpo el ior-EGF/ R3 y fluoruro estañoso. Las tres formulaciones tuvieron diferentes variaciones en las cantidades de AcMn y Fluoruro estañoso. Para la marcación se empleo Tc 99m con actividades de 2 y 28 mCi. La determinación de la pureza radioquímica (PRQ) se realizó en ITLC-SG con un resultado promedio de 95 % marcado a bajas actividades. El resultado de PRQ con altas actividades fue del 93%, con la finalidad de elevar este porcentaje se incrementó en 25 y 50 % la cantidad de fluoruro estañoso obteniendo como resultado 98.5% de PRQ. Los próximos lotes a producir servirán para confirmar estos resultados preliminares y en una segunda etapa producir lotes liofilizados, evaluar la determinación de grupos tioles, inmunoreactividad, desafío con cisteína, soporte de actividad, así como su estabilidad post-producción.

1. Introducción

El uso clínico de los anticuerpos monoclonales ha obtenido una gran importancia en los últimos cinco años.

El Anticuerpo Monoclonal (AcMn) anti receptor 3 del Factor de Crecimiento Epidérmico (EGF/R3) marcado con Tc 99m se utiliza en la medicina nuclear debido a su gran especificidad en la identificación del receptor EGF-R, el cual se expresa altamente en tumores de origen epitelial. Actualmente en nuestro país no se produce un kit liofilizado de Anti-egf/r3 para ser marcado con Tc 99m, por tal motivo el desarrollo este trabajo tiene como objetivo la estandarización del kit liofilizado para su disponibilidad en el mercado nacional.

En esta etapa preliminar la producción se realizó en solución, el método de marcación que se utilizó fue el método directo desarrollado por Schwarz y Steinstrasser y modificado posteriormente por Mather y Ellison el cual ha demostrado que es posible obtener una elevada eficiencia de marcación del AcMn.

2. Método Experimental

2.1 Anticuerpo Monoclonal a utilizar

El Anticuerpo Monoclonal (AcMn) que se está utilizando en este trabajo es el IOR-EGF/R3, anticuerpo murino que reconoce al receptor del factor de crecimiento epidérmico con alta afinidad. Este reactivo es donado por el OIEA, a través del proyecto ARCAL LII.

2.2 Reducción, Purificación y Formulación

Materiales:

10 mg de AcMn (ior EGF/R3), 10 uL de 2Mercapto Etanol, 11.9 mg SnF₂/50 mL H₂O, 8.0 mg MDP/4mL NaCl, PBS 0.1M, columna PD10.

Método:

Hacer reaccionar el AcMn con el 2ME por 30 minutos, purificar el AcMn reducido en una columna de PD10, verter PBS nitrogenado sobre el lecho de la columna PD10 y coleccionar fracciones de 1.0 mL hasta completar 10 fracciones. Tomar alícuotas de 100 uL de cada fracción diluir en 900 uL de PBS y determinar la concentración de proteína mediante espectrofotometría UV. Coleccionar en beaker las fracciones correspondientes a concentraciones mayores a 0.8mg/mL, fraccionar a razón de 1.0 mg del AcMn-EGF reducido y purificado en viales.

Preparar las soluciones de SnF₂ y MDP, mezclar 3 mL de cada solución y adicionar 50 uL de la solución resultante a cada vial del AcMn-EGF reducido y purificado. Precintar y mantener en refrigeración.

2.3 Control de la Pureza Radioquímica

Se realizaron controles a bajas y altas actividades (2 y 28 mCi).

Tomar aproximadamente en 1 mL de Tc 99m la actividad requerida y agregar en el vial que contiene el Anti EGF/R3, dejar reaccionar por 30 minutos a temperatura ambiente, sembrar una alícuota en tres tiras de ITLC-SG, previamente activadas a 70°C por 60 minutos aproximadamente, colocar cada tira en los siguientes solventes: NaCl 0.9%, Acetona y mezcla de etanol-amoniaco-agua (2;1:5), el conteo se realizó en el contador gamma automático Wizzard Wallac.

CROMATOGRAFÍA ASCENDENTE

Especie radioquímica	SF	Rf	
		Acetona o MEC	Etanol:amoniaco:H ₂ O
^{99m} Tc red. e hidrolizado	0,0	0,0	0,0
^{99m} Tc-AcM	0,0	0,0	0,7-0,8
^{99m} Tc-MDP	0,9 - 1,0	0,0	0,9 - 1,0
^{99m} TcO ₄ -	0,9 - 1,0	0,9 - 1,0	0,9 - 1,0

3. Resultados

En total se han realizado 03 lotes en solución obteniendo un porcentaje de pureza radioquímica (PRQ) de 95% marcado con 2 mCi y de 93% marcado con 28 mCi. Incrementando en 25 y 50 % la cantidad de fluoruro estaño se obtuvo como resultado promedio de 98.5% de PRQ (Tabla 1 y 2).

Tabla 1. Variación en la Cantidad de AcMn.

Actividad de marcación	Lote 01			Lote 02		
	28 mCi			2 mCi		
Cant. proteína por vial, mg	1	2	3	1	2	3
% ^{99m} Tc-AcMn	-	92.6	93.6	93.95	95.2	96.1
%TcO ₄	-	6.6	6.1	5.5	3.61	3.44

Tabla 2. Variación en cantidad de SnF₂

Resultados de PRQ	Cantidad aumentada de Estaño	
	+ 25%	+ 50%
^{99m} TcO ₄	0.50 %	1.8 %
^{99m} TcO ₂	0.2 %	0.31 %
^{99m} Tc-AcM	99.3 %	97.7 %

4. Discusiones

- La variación de la cantidad de AcMn se realizó para evaluar el comportamiento del Kit respecto a su PRQ, con lo cual el aumento desde 1 a 3 mg de AcMn indican que esta variación no tiene gran incidencia en los resultados de PRQ.
- La cantidad de SnF₂ se incremento en un 25 y 50% de su cantidad inicial de formulación con lo cual se mejoro el rendimiento de la PRQ (ver tabla N°2).

5. Conclusiones

- Los resultados de estos tres primeros lotes muestran que la cantidad de proteína por vial no tiene una significativa relevancia en los resultados de PRQ por lo tanto se continuará realizando los ensayos con 1 mg de AcMn.
- Aumentar la cantidad de fluoruro de estaño entre 25 y 50% en los próximos lotes.
- Continuar los ensayos con la última formulación a fin de determinar su reproducibilidad, soporte de actividad y estabilidad post- producción de lotes liofilizados.

Bibliografía

- [1] A. Morales, F. Zayas, G. Núñez, I. Escobar, N. Perez, I. Hernández. Technetium 99m Direct Radiolabeling of Monoclonal Antibody ior egf/r3. Nucl. Med. Vol.25, pp 25-30, 1998.
- [2] A. Morales, N. Pérez, G. Núñez, I. Caballero, J. Ducongé, E. Fernández, A. Veloso, A. Paz, N. Iznaga. Freeze-dried Formulation for the Direct ^{99m}Tc-labeling of ior egf/r3 Monoclonal Antibody: Equivalence Studies. Biotecnología Aplicada 2000; Vol. 17 No. 1, pp. 39-44.
- [3] Protocolo modelo para la preparación, control de calidad de radiofármacos basados en anticuerpos monoclonales. Proyecto ARCAL LII, 2002.

Producción de fuentes radiactivas selladas en miniatura de I-125 mediante el método de adsorción físico-química sobre alambres de plata recubiertas con paladio, para el uso en braquiterapia

María Benites⁽¹⁾ mбенитес@ipen.gob.pe; Jesús Miranda⁽¹⁾ jmiranda@ipen.gob.pe; Rosario Córdor⁽²⁾ rocosu4@hotmail.com; Ramos Martínez⁽¹⁾ rmartínez@ipen.gob.pe; Luis Caveró⁽¹⁾ lcavero@ipen.gob.pe; Andrés Corahua⁽¹⁾ acorahua@ipen.gob.pe; Manuel Castro⁽¹⁾ mcastro@ipen.gob.pe; Conrado Seminario⁽¹⁾ cseminario@ipen.gob.pe

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

(2) Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima 1, Perú

Resumen

La producción de fuentes radiactivas de ^{125}I , empleadas principalmente para la braquiterapia de cáncer de próstata y ocular, es un trabajo de investigación que se viene realizando en la Planta de Producción de Radioisótopos (PPR) del Centro Nuclear RACSO del Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN), mediante la participación en un CRP (Programa Coordinado de Investigación) del OIEA denominado "Development of Radioactive Source for Emerging Therapeutic and Industrial Applications" en el cual participan los siguientes países: Belarus, China, Estados Unidos, Hungría, India, Indonesia, Irán, Kazakhsan, Perú, Polonia y Rusia. La metodología empleada, se basa en la adsorción físico-química de ^{125}I sobre alambres de plata recubiertas con paladio. En la realización de las pruebas, se considera como base al procedimiento empleado por los países de la India e Irán. En la ejecución de este trabajo, se emplea el radioisótopo de ^{131}I , simulando al ^{125}I , debido a la disponibilidad de este radioisótopo en la PPR del Centro Nuclear RACSO del IPEN y además el comportamiento fisicoquímico de ambos radioisótopos es igual. En total se utilizan 45 muestras, divididas en 09 grupos de trabajo, compuesto cada uno de 5 alambres. En primer lugar se obtienen las condiciones óptimas de trabajo para el recubrimiento de los alambres de plata con paladio, siendo estas las siguientes: Método simple, empleando PdCl_2 0,03 M, a pH de 5,5 – 6,5 y una temperatura de 100 °C. Posteriormente, se realizan una serie de pruebas, para determinar los parámetros adecuados para la adsorción de ^{131}I en los alambres anteriormente tratados, siendo estas las siguientes: 80 μL de Na^{131}I (\approx 4 mCi aprox. 50 mCi/mL) y 200 μL de KI 0,03 M de KI como portador, tiempo de adsorción de 6 horas y temperatura de 70 °C. Finalmente, se obtiene un porcentaje de adsorción de ^{131}I de 98,24 % en los alambres de plata tratados previamente con cloruro de paladio. Se realiza el control de lixiviación, teniendo muy buenos resultados. Con estos resultados obtenidos, posteriormente se realizará la producción de estas fuentes radiactivas empleando como radioisótopo el ^{125}I y se espera hacer las coordinaciones necesarias para el sellado de éstas, mediante selladora tipo láser u otro método alternativo.

1. Introducción

Siendo el cáncer de próstata, uno de los de mayor incidencia a nivel mundial y en nuestra población en varones entre las edades de 65 a 84 años, es muy importante dar una alternativa al tratamiento de dicho mal, siendo una de ellas la braquiterapia intracavitárea.

Actualmente, el Perú no produce este tipo de fuentes radiactivas selladas para aplicaciones terapéuticas, por lo cual la implementación de su producción será un gran aporte económico y social a la nación, conllevando una enorme y significativa reducción en los costos de dichas

aplicaciones, eliminando la importación de dichas fuentes.

Aparte de su gran aporte social y económico, se tendrá un gran avance tecnológico, ya que se podrán producir en el Perú estas fuentes y se emplearán en los métodos terapéuticos existentes del tratamiento oncológico, poseído por otros países tecnológicamente avanzados.

En la parte médica, la utilización de fuentes radiactivas localizadas hará que la exposición a la radiación de los médicos, las enfermeras y los familiares del paciente sea despreciable.

Mediante la elaboración de este trabajo, el IPEN, podrá contar con grupo humano capacitado para poder producir este tipo de fuentes para uso en braquiterapia, esto con apoyo del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), mediante la capacitación y la transferencia de información y experiencia de los otros países participantes del Proyecto Coordinado de Investigación (CRP), El Perú, a través del IPEN viene participando de este CRP desde el 2002 hasta el 2005.

El objetivo de este CRP, en el IPEN, es la implementación de la producción en el Perú de fuentes radiactivas selladas en miniatura de ^{125}I , mediante el método de adsorción físico-química, para el uso en braquiterapia, para mejorar la calidad de vida y aumentar el índice de sobrevivencia en pacientes con enfermedades oncológicas. Uno de los principales usos de este tipo de fuentes es en el tratamiento de cáncer de próstata, pero además pueden ser empleadas en el tratamiento oncológico de cabeza, cuello, pulmón, páncreas y ojos, entre otros.

2. Método Experimental

Existen diversos métodos de producción de estas fuentes, pero en todas estas, la fuente radiactiva se encuentra herméticamente sellada en cápsulas de titanio con unas dimensiones de 0.8 mm diámetro x 4.5 mm largo.

La metodología empleada, se basa en la adsorción físico-química de ^{125}I sobre alambres de plata recubiertas con paladio. En total se utilizaron 45 muestras, divididas en 09 grupos de trabajo, para poder obtener las condiciones óptimas. En la primera etapa, se trabajó con 8 grupos, para determinar las condiciones óptimas de recubrimiento de los alambres de plata con cloruro de paladio. Una vez obtenido dichos parámetros, se empleó el grupo 9, para determinar el tiempo de adsorción de ^{131}I . En la ejecución de este trabajo, se empleó el radioisótopo de ^{131}I , simulando al ^{125}I , debido a la disponibilidad de este radioisótopo en la PPR del Centro Nuclear RACSO del IPEN y además el comportamiento fisicoquímico de ambos radioisótopos es igual.

Materiales y reactivos

- Alambre de Plata de 0.5 mm de diámetro de una pureza de 99,9985 % obtenida de la casa comercial Alfa Aesar.
- Na^{131}I , producido en la PPR- IPEN, Perú.
- Cloruro de paladio, con una pureza de 99,999 %, obtenido de la casa comercial Alfa Aesar.
- Los otros reactivos empleados fueron adquiridos en empresas de renombre.
- El calibrador de dosis empleado, fue de la marca CAPINTEC, con una calibración vigente.

2.1 Pre-tratamiento de los alambres de plata

Se cortaron los alambres de plata en 45 piezas de 4 mm c/u. Luego se hizo un tratamiento secuencial con varios solventes: acetona, HCl 3M, agua bidestilada caliente y fría. Se dejaron secar los alambres de plata, bajo una lámpara de IR. Finalmente, se pesaron cada grupo para obtener el peso promedio de los alambres.

2.2 Recubrimiento de los alambres de plata con paladio

Se empleó 2 métodos: un método simple y otro complejo.

2.2.1 Método Simple

Se sumergieron los alambres en una solución de cloruro de paladio 0.03M (0,0532 gr. PdCl_2 /10 mL H_2O), y a un pH 5.5-6.5. Se calentó la solución gradualmente hasta 100°C , se mantuvo a esta temperatura por 20 minutos y luego se enfrió a temperatura ambiente. Se lavaron los alambres con acetona y luego con agua bi-distilada caliente. Se secaron para obtener un peso constante con lámpara IR por 1 hora. Se pesaron los alambres recubiertos con cloruro de paladio, para obtener el peso promedio. Se realizó el mismo procedimiento empleando PdCl_2 0.1M para obtener la concentración óptima.

2.2.2 Método Complejo

Se sumergieron los alambres en una composición compleja de baño plateado y cloruro de paladio 0.1 mol/L (0.1773 g PdCl_2 /10 mL H_2O) previamente calentado aprox. 5 minutos hasta su completa disolución, formaldehído 2 mol/L, ácido nítrico 1 mol/L, ácido fórmico 0.4 mol/L. Todo como una mezcla compleja previamente preparada. Se calentó la solución a 30°C en baño maría y se mantuvo a esta temperatura

por 35 min. Y luego se enfriaron a temperatura ambiente.

Se lavaron los alambres con acetona (3 veces c/u 3 mL) y luego con agua bi-distilada caliente (5 veces c/u 10mL). Se dejaron secar los alambres para obtener un peso constante con lámpara IR por 1 hora. Finalmente se pesaron los alambres recubiertos, para obtener el peso promedio.

2.3 Adsorción de ^{131}I sobre los alambres de plata recubiertos con paladio

Se sumergieron cada uno de los grupos (5 alambres por grupo) de los alambres de plata en una solución de 80 μL de Na^{131}I (≈ 4 mCi aprox. 50 mCi/mL) y 200 μl de KI 0,03 M de KI como portador. Se llevó la adsorción a 70 °C por 1 a 6 horas.

Luego de cada hora, se retiraron los alambres con sumo cuidado, mediante una pinza de punta fina, se lavaron con agua bi-distilada fría y se procedió a calibrarlas cada una.



Grupo de alambres de plata recubiertas con paladio después del proceso de adsorción de ^{131}I durante 6 horas

2.4 Estudios de la lixiviabilidad de la actividad del ^{131}I adsorbida sobre los alambres de plata

Se sumergieron cada grupo de los alambres (G1 – G9) en aproximadamente 7 mL de agua bi-distilada (temperatura ambiente de 22 °C). Se dejaron por 72 horas. Posteriormente se midieron la actividad del agua para determinar la lixiviabilidad.

3. Resultados

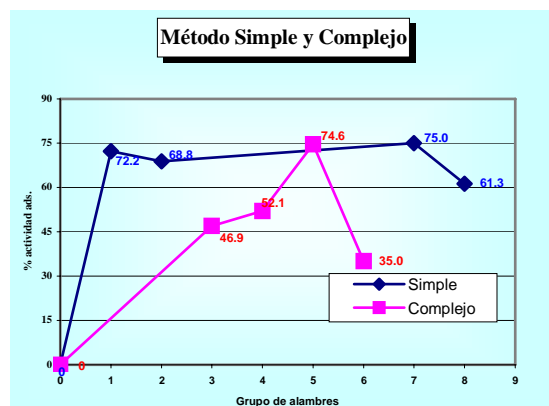


Gráfico 1. Estas pruebas se realizaron a un volumen 80 μL de ^{131}I y 200 de KI 0,03 M como portador empleando el Método Simple y Complejo. La adsorción fue realizada a 70 °C

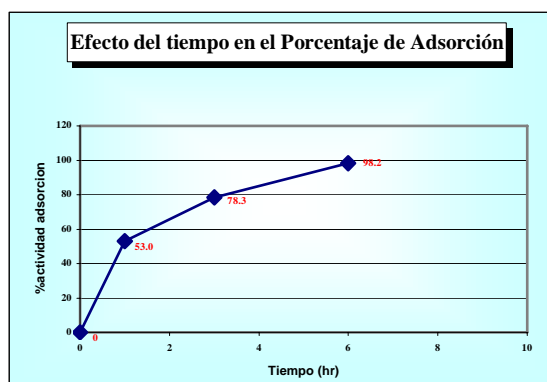


Gráfico 2. Efecto del tiempo en el porcentaje de adsorción, empleando el Método simple con PdCl_2 0.03 M

Tabla 1. Datos finales de las pruebas realizadas.

GRUPO	RECUBRIMIENTO DE ALAMBRES DE PLATA CON PALADIO				ADSORCIÓN DE ^{131}I	
	MÉTODO SIMPLE		MÉTODO COMPLEJO		KI 0,1 M	KI 0,03 M
	PdC I_2 0,1 M	PdC I_2 0,03 M	PdC I_2 0,1 M	PdC I_2 0,03 M		%
G1		X			X	72,2
G2		X			X	68,8
G3			X		X	46,9
G4			X		X	52,1
G5				X	X	74,6
G6				X	X	35,1
G7	X				X	75,1
G8	X				X	61,4

En la Tabla 1, se puede apreciar el resumen de todos los resultados obtenidos.

4. Discusiones

- En el recubrimiento de los alambres de plata con paladio empleando el método simple, se pudo observar que los alambres quedan cubiertos en forma uniforme de color oscuro (plomizo). Debido a que se obtuvieron buenos resultados, se procedió posteriormente a realizar nuevas pruebas, pero modificando la concentración de cloruro de paladio a 0,1 M, para obtener la concentración óptima.
- En el recubrimiento de los alambres de plata con paladio empleando el método complejo, se pudo observar que los alambres no quedan cubiertos uniforme y se puede ver desprendimiento de paladio al manipularlos. Hay algunos pegados y cuando se intenta separarlos se pierde la capa cubierta de paladio. Se realizó la misma metodología, pero modificando la concentración de cloruro de paladio a 0,03 M, obteniéndose resultados similares.
- En ambos métodos, es muy importante considerar los parámetros de concentración de los reactivos, por tal motivo, se trabajó con diferentes concentraciones de PdCl₂ y KI como portador en la adsorción del ¹³¹I. Así mismo se trabajó con diferentes tiempos de adsorción del ¹³¹I. Los resultados obtenidos de todas estas pruebas se pueden observar en los Gráficos N° 1 y 2 la Tabla N° 1.

5. Conclusiones

El método de adsorción físico-química de ¹³¹I sobre alambres de plata recubiertas con paladio, es un método sencillo, eficaz y sobre todo que en un solo proceso se puede producir un número grande de fuentes selladas radiactivas.

Es muy importante considerar varios factores que son críticos, como el tratamiento de recubrimiento previo a los alambres de plata, la concentración y el volumen del portador de KI, la temperatura de trabajo, y el tiempo de adsorción del ¹³¹I, entre otros. En nuestro caso, estos parámetros ideales encontrados fueron los siguientes:

- Recubrimiento de alambres de plata con paladio: Método simple, empleando una solución de PdCl₂ 0,03M, pH 5,5-6,5, temperatura de 100°C.
- Adsorción de ¹³¹I: Solución de 80 µL de Na¹³¹I (≈ 4 mCi aprox. 50 mCi/mL) y 200 µL de KI 0,03 M de KI como portador, temperatura de 70 °C y tiempo de 6 horas.

- Finalmente se obtuvo 98% de absorción de ¹³¹I y un porcentaje de lixiviabilidad máximo de 0,6%.

Con estos resultados obtenidos, posteriormente se realizará la producción de estas fuentes radiactivas empleando como radioisótopo el ¹²⁵I y se espera hacer las coordinaciones necesarias para el sellado de éstas, mediante selladora tipo láser, o se probará un método alternativo de sellado mediante un equipo de microplasma.

CÁPSULA DE TITANIO DE ¹²⁵I PARA RAQUITERAPIA



Diámetro: 0,8 mm
Largo: 4,5 mm

(comparable a un grano o semilla de arroz)

Bibliografía

1. C.Mathew, M.A.Majali, S.A.Balakrishnan A novel approach for the adsorption of ¹²⁵I on silver wire as matrix for brachytherapy source for the treatment of eye and prostate cancer. Appl Radiat and Isot 57 (2002) 359-367.
2. Alejandro Montesinos, Luis Caricote. La braquiterapia como alternativa terapéutica en el cáncer de próstata localizado. Hospital Vargas, Venezuela, 1999.
3. Fair, William y Col. Evaluation and follow-up of patients with urológic cancer. AUA Meeting 1998, 009864PG.
4. Radge H, Grado GI, Nadir B, Elgamal A. Modern Prostate Brachytherapy. CA: A Cancer Journal for Clinicians 50:380-393, 2000.
5. Walsh Patrik, Retik A. Campbell's Urology, Saunders Company, 7 edition, Vol 3, Pennsylvania 1998, 2478 – 2495.

Substanciación de la dosis de radioesterilización para aloinjertos de hueso: Reporte Preliminar

Enma Castro⁽¹⁾ ecastro@ipen.gob.pe; Kety León⁽¹⁾ kpleon@yahoo.com

(1) Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN). Dirección General de Promoción y Desarrollo Tecnológico - Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

Resumen

Las muestras de hueso se obtuvieron del Banco de Tejidos "Rosa Guerzoni Chambergó". El lote de procesamiento estuvo conformado por 35 unidades. Para validar la dosis de esterilización se seleccionó la norma ISO/TR 13409:1996. La irradiación se llevó a cabo en el equipo Gammacell-220. Los sistemas dosimétricos utilizados para entregar y medir las dosis suministradas fueron Fricke (ASTM E1026-95) y etanol clorobenceno (ASTM E1538-99). Las pruebas de esterilidad y de recuento total se realizaron de acuerdo a la norma ISO 11737- Parte 1 y Parte 2 (1995). La carga microbiana promedio encontrada a partir de los recuentos totales fue de 15 UFC/ítem. Se aislaron cocos Gram (+) de las muestras de hueso no tratadas. La dosis de verificación fue de 3.2927 kGy. Las pruebas de esterilidad arrojaron valores negativos para todas las muestras estudiadas. Los procedimientos del procesamiento de los aloinjertos de hueso permitieron obtener cargas microbianas < de 1000 UFC/ítem, que unido al número de unidades por lote de procesamiento permitieron la aplicación de la ISO/TR 13409:1996. La dosis de 25 kGy, fue substanciada como dosis esterilizante para aloinjertos de hueso.

1. Introducción

Desde 1998 el IPEN esteriliza por radiación gamma los aloinjertos de hueso que producen los bancos de tejidos en el Perú. Dichos materiales estériles, son muy útiles para la práctica médica ya que se utilizan como relleno para defectos óseos así como también para tratar enfermedades traumáticas o congénitas que comprometen el sistema esquelético, igualmente se utilizan en caso de defectos del maxilar o para tratar defectos periodontales, entre otros. Los aloinjertos óseos que se producen en nuestro país pueden ser liofilizados o congelados a muy baja temperatura (-80°C) y para su aplicación médica requieren estar estériles. El agente esterilizante utilizado es la radiación gamma, proveniente de una fuente de Co-60 y la dosis de esterilización que se ha venido aplicando es la universalmente aceptada de 25 kGy. Por otro lado, en la actualidad, se están implementando sistemas de la calidad tanto en IPEN como en los Bancos de Tejidos que aplican la radiación gamma para esterilizar los materiales que producen, con la finalidad de ofrecer a la población peruana materiales para injertos de calidad comprobada y clínicamente seguros. Para ello, los procesos que se llevan a cabo en los bancos de tejidos así como los que se realizan en IPEN, se enmarcan dentro de los lineamientos que establecen las Normas ISO

9001: 2000; ISO IEC 17025: 1999; Estándares Internacionales del OIEA para la Operación de Banco de Tejidos, 2002 (IAEA International Standards for Tissue Banking: 2002) y el Código de Práctica del OIEA para la Esterilización por Radiación de Aloinjertos, de Tejidos: Requerimientos para la Validación y Control de Rutina, 2002 (Code of Practice for the Radiation Sterilization of Tissue Allografts: Requirements for Validation and Routine Control). En la actualidad, en IPEN, se ha iniciado la aplicación de este último documento para radioesterilizar los aloinjertos de tejidos. Uno de los requisitos básicos del Código de Práctica del OIEA es la validación de la dosis de radioesterilización. Para ello se pueden elegir substanciar (validar) la dosis de esterilización de 25 kGy, según la norma ISO/TR 13409 Sterilization of Health care products- Radiation sterilization-Substantiation of 25 kGy as a sterilization dose for small or infrequent production batches. Los requisitos para aplicar esta norma establecen que el número de unidades en el lote de producción sea menor de 1000, que la población microbiana en los aloinjertos de hueso presente una Distribución Estándar de la Resistencia (SDR) y que los niveles de carga microbiana por aloinjerto no superen las 1000 UFC. Por otro lado, para aplicar esta norma se requiere: tener acceso a un laboratorio competente de microbiología, realizar las pruebas microbiológicas de acuerdo a la

norma ISO 11737 Part 1 and Part 2 "Sterilization of medical devices-Microbiological methods"; acceso a una fuente de irradiación de Co-60 capaz de entregar dosis precisas y exactas desde 1 kGy.

La presente investigación tiene por objetivo validar la dosis de 25 kGy, que actualmente se aplica para esterilizar los aloinjertos de tejidos, verificando la posibilidad de aplicar para este fin, la norma ISO TR 13409. Así, esta investigación forma parte de un trabajo más completo que implica la total aplicación del Código de Práctica del OIEA acorde con los lineamientos de la implementación de sistemas de la calidad para la esterilización de aloinjertos de tejidos.

2. Método Experimental

Los aloinjertos de hueso fueron proporcionados por el Banco de Tejidos "Rosa Guerzoni Chambergo" del Instituto de Salud del Niño. El tejido fue procurado de acuerdo a la norma "Estándares Internacionales del OIEA para la Operación de Banco de Tejidos: 2002" (IAEA International Standards for Tissue Banking: 2002). De un donante, varón de 22 años, se procuró parte de la cresta iliaca y columna vertebral. Las pruebas serológicas realizadas demostraron que el tejido estaba libre de HIV, Hepatitis C y B, y Sífilis. Luego del procesamiento, se obtuvieron 35 unidades entre chips y cuñas las cuales fueron liofilizadas. Posteriormente fueron empacadas individualmente al vacío con triple empaque y transportados al IPEN, al laboratorio de Irradiación de Productos Médicos (LIPM).

La aplicación de la norma ISO/TR 13409 se realizó en concordancia con las etapas que a continuación se enumeran:

- **Etapa 1:** Establecimiento del tamaño de la muestra para las pruebas
Siendo el tamaño del lote de producción 35 aloinjertos de hueso, de la norma, Tabla 1: Tamaños de la muestra de prueba para la realización de la determinación de la carga microbiana y el experimento de la dosis de verificación (Test sample sizes for performance of bioburden determination and verification dose experiment), se estableció trabajar con 10 muestras para la determinación de carga microbiana y 10 muestras para la dosis de verificación (DV)

- **Etapa 2:** Obtención de muestras de unidades del producto
Para esta investigación el banco de tejidos proporcionó 20 unidades de chips de 1cc
- **Etapa 3:** Determinación de la carga microbiana promedio

En esta parte de la investigación se realizaron recuentos totales (técnica de filtración por membrana) según la Norma ISO 11737-1 1995. Sterilization of Medical Devices – Microbiological Methods – Part 1: Estimation of populations of microorganisms on products. Los equipos que se utilizaron 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 Flujo Laminar Envair.

Se determinó, la Porción de Item de la Muestra (Sample Item Portion) SIP = 1 y luego se realizaron las 10 pruebas de recuento total establecidas en la etapa 1. Se emplearon membranas de acetato de celulosa, de 47 mm de diámetro y 0,45µm de poro. Las muestras se incubaron a 30°C durante 72 horas. Los medios de cultivo utilizados fueron Agar Plate Count, Merck y Caldo Casoy, Merck.

Se elaboraron registros de las pruebas realizadas.

- **Etapa 4:** Establecimiento de la dosis de verificación (DV)
Se estableció la dosis de verificación (DV) de acuerdo a la fórmula $DV = I + [S \times \log(\text{carga microbiana promedio del SIP})]$; donde I es el intercepto y S es la pendiente de la recta; (Norma ISO/TR 13409:Tabla 2: Valores I y S para el cálculo de la dosis de verificación).

- **Etapa 5:** Realización del experimento de la dosis de verificación
Se procedió a irradiar 10 aloinjertos a la DV encontrada. Las 10 muestras se incubaron durante 14 días a 37 °C. El medio de cultivo que se empleó fue caldo Casoy, Merck. Las irradiaciones se llevaron a cabo en el Gammacell 220, Nordion Canada, fuente de irradiación gamma con 24, 000 Ci de actividad.

Los dosímetros empleados fueron Fricke y Etanol clorobenceno, elaborados según las normas ASTM E1026-95 y ASTM E1538-99 respectivamente. La dosimetría Fricke se realizó en aire y en producto, utilizando un total de 35 dosímetros. El peso de los aloinjertos de hueso en la cámara de

irradiación fue de 500 g. Las lecturas de absorbancia de los dosímetros Fricke luego de irradiados se realizaron en el Espectrofotómetro Perkin Elmer, UV VIS, Lambda 2. A modo de control, se colocó un dosímetro de etanol clorobenceno al irradiarse los 10 aloinjertos de hueso a la dosis de verificación encontrada y la conductividad se midió en el oscilótulador OK-302/1 Radelkis. Se elaboraron registros de las pruebas realizadas

3. Resultados

Los resultados de los recuentos fueron los siguientes:

NUMERO DE UNIDADES DEL LOTE: 35	
TAMANO DE MUESTRA: 10	
SIP = 1	
RECuento DE AEROBIOS MESOFILOS	
Nº de Aloinjerto	Ufc
1	9
2	11
3	13
4	18
5	15
6	8
7	25
8	16
9	13
10	22
TOTAL	150

La dosis de verificación (DV) se determinó como sigue:

$$DV = 0,67 + (2.23 \times \log 15)$$

$$0.67 + (2.23 \times 1.1760)$$

$$DV = 3.2927 \text{ kGy}$$

Los resultados del experimento con la dosis de verificación arrojaron en las 10 pruebas de esterilidad negativo.

La lectura del dosímetro de etanol clorobenceno fue de 3.5 kGy, valor en el rango indicado por la norma DV \pm 10%

La dosimetría Fricke arroja los siguientes resultados: tasa de dosis en el irradiador en aire, 18,50 kGy/hr; densidad del producto en el irradiador, 0.141 g/cc. Tasa de dosis mínima y máxima en el producto 14.3089 kGy/hr y 23.0538 kGy/hr respectivamente. Asimismo, se generó documentación de la calidad, la misma que incluyó formatos, procedimientos normalizados de operación, instrucciones de trabajo y registros.

4. Discusión

Los resultados obtenidos, permiten aplicar la norma ISO TR 13409 para validar la dosis de esterilización de los aloinjertos de hueso del lote que se utilizó para realizar este trabajo ya que:

- El número de unidades del lote de producción fue de 35 < 1000 items.
- La carga microbiana promedio de 10 muestras estudiadas fue de 15 UFC/ item < 1000 UFC/ item.
- Los resultados de la prueba de esterilidad son adecuados, ya que las 10 muestras estudiadas arrojaron resultados negativos, cumpliendo la norma que permite como mínimo un resultado positivo de 10 muestras evaluadas.
- El valor práctico de la dosis de verificación se encuentra en el rango especificado por la norma, es decir, \pm 10% de la DV

5. Conclusiones

- La dosis de 25 kGy entregada a los aloinjertos de hueso se ha validado mediante la norma ISO 13409: 1996, tal como lo estipula el Código de Práctica del OIEA.
- Se ha ejecutado parte inicial del trabajo que involucra la aplicación total del Código de Práctica del OIEA para la esterilización de aloinjertos de hueso en IPEN.
- La documentación de la calidad generada, permite una mejor trazabilidad del producto mejorando su calidad.
- Se han fortalecido las acciones que permitirán implementar un sistema de la calidad para la irradiación de aloinjertos de hueso

Bibliografía

1. ISO/TR 13409. 1996. Sterilization of health care products – Radiation sterilization – Substantiation of 25 kGy as a sterilization dose for small or infrequent production batches.
2. Code of practice for the Radiation Sterilization of Tissue Allografts: Requirements for Validation and Routine Control. Boston USA 2002.
3. ISO 11737-1 1995. Sterilization of Medical Devices – Microbiological Methods – Part 1: Estimation of populations of microorganisms on products.

4. ISO 11737-2: 2000 Sterilization of medical devices- Microbiological methods- Part 2: Tests of sterility performed in the validation of a sterilization process.
5. ISO 11137- 1995. Sterilization of Health Care Products - Requirements for validation and routine control – Radiation Sterilization.
6. Nather, A. The Scientific Basis of Tissue Transplantation. Advances in Tissue Banking Vol 5, World Scientific, 2001.
7. Phillips, G. O. Radiación y Operación de Banco de Tejidos, 2001.

Validación de la dosis de esterilización de gasa parafinada

Emma Castro⁽¹⁾ ecastro@ipen.gob.pe; Kety León⁽¹⁾ ketyleonp@yahoo.com

(1) Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN). Dirección General de Promoción y Desarrollo Tecnológico, Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

Resumen

En la industria de manufactura de productos de uso médico, la esterilización de los materiales es una etapa crítica, cuya efectividad solo puede ser verificada a través de la validación del proceso en sí. El Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN) ofrece servicios de irradiación para esterilizar productos médicos a través de radiación gamma. En la actualidad, esta implementando un sistema de la calidad que prevé entre otros, la validación de los procesos implicados en los servicios que oferta. Igualmente, las empresas productoras de material médico que desean acreditar su sistema de la calidad ante las entidades nacionales pertinentes tienen interés en que el proceso de irradiación, que incluye la determinación de la dosis, esté validado mediante normas establecidas. La gasa parafinada es uno de los productos que se irradia rutinariamente a la dosis de 25 kGy. Esta dosis no ha sido validada. Así, el objetivo del presente trabajo es validar la dosis de esterilización entregada al producto gasa parafinada PARAFINET ESTERIL®. Con ese propósito se seleccionó la norma ISO 11137/1995 "Sterilization of health care products – Requirements for validation and routine control – Radiation sterilization". Los resultados de las diferentes pruebas contempladas por la norma fueron adecuados, obteniéndose una dosis validada de 14.0 kGy.

1. Introducción

En la industria de manufactura de productos de uso médico, la esterilización de los materiales es una etapa crítica, cuya efectividad no puede ser verificada mediante inspección o realización de pruebas de esterilidad rutinarias, sino a través de la validación del proceso en sí.

Dependiendo del tipo de producto, se pueden utilizar diversos métodos para su esterilización. La selección del método de esterilización tendrá en cuenta la naturaleza del producto, sus dimensiones y forma, el número y tipo de microorganismos presentes, su uso esperado, aplicación, así como el comportamiento de los materiales de que está compuesto el producto frente al agente esterilizante.

En la actualidad, el Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN) brinda servicios de esterilización por radiación gamma a empresas de productos de uso médico. Uno de los productos que se irradia rutinariamente es la gasa parafinada, que se utiliza como apósito para el tratamiento de lesiones a la piel, principalmente quemaduras. La dosis de irradiación que se ha venido aplicando es la de 25 kGy.

Por otro lado, IPEN se encuentra implementando una política de la calidad que

prevé entre otros, la validación de los procesos implicados en los servicios que ofrece. Esta tendencia coincide plenamente con la de la empresa productora de los apósitos de gasa parafinada.

Uno de los aspectos del proceso de radioesterilización que debe ser validado es la dosis entregada de radioesterilización. La validación de la dosis de esterilización implica determinar la dosis mínima de exposición del producto a la radiación gamma, para lograr los requerimientos del nivel de aseguramiento de la esterilidad (SAL) preseleccionado que permitan liberar el producto en base a datos dosimétricos y no en base a pruebas de esterilidad rutinarias. Esto permite también, entre otras cosas, disminuir la dosis de 25 kGy, optimizando así los tiempos de procesamiento de irradiación de productos.

Existen diversas normas para validar la dosis de radioesterilización de productos de uso médico. La elección del método dependerá del SAL preseleccionado, la carga microbiana del producto final, de las características de los microorganismos presentes, así como del número de ítems por lote de producción.

El objetivo de este trabajo es validar la dosis de esterilización entregada a los apósitos de gasa parafinada aplicando la Norma ISO

11137/1995 "Sterilization of health care products – Requirements for validation and routine control – Radiation sterilization, Método 1.

2. Método Experimental

El Método 1 de la norma ISO 11137, consiste en determinar la carga microbiana de 30 unidades de producto, tomadas de 3 lotes consecutivos de producción. Los resultados de las pruebas de carga microbiana se usan para calcular una dosis experimental de radiación, denominada dosis de verificación (DV) que se presupone corresponde a un SAL de 10^{-2} . Adicionalmente, 100 muestras de un único lote de producción se irradian a la DV encontrada. Luego, a las muestras irradiadas se les realiza la prueba de esterilidad. Si se encuentran no más de dos cultivos positivos (no estériles) en las 100 muestras examinadas, se considera que la validación ha sido exitosa y la dosis de esterilización de acuerdo al SAL requerido se calcula de acuerdo a la Norma ISO 11137: Tabla B1: *Radiation Dose (kGy) required to achieve given SAL for different bioburdens having standard distribution of resistances* para un SAL de 10^{-6} .

El trabajo se llevó a cabo en el Laboratorio de Irradiación de Productos Médicos (LIPM).

El producto, gasa parafinada en sobres, PARAFINET ESTERIL® fue proporcionado por la Empresa LAM MEDIC S.A.C. Este producto de uso médico, se describe como una pieza de gasa cuadrada de 10 cm x 10 cm, impregnada con petrolato, cubierta con papel satinado por ambos lados, empacada en un sobre aluminizado. Este producto se utiliza principalmente, en caso de quemaduras de segundo y tercer grado. También, para tratar úlceras varicosas, dedecubito y para tratar heridas superficiales que implican pérdida de piel.

Las muestras para realizar este estudio, se obtuvieron del muestreo individual de 3 lotes consecutivos de producción (10 unidades por lote), seleccionándose 30 unidades del producto para la realización de las pruebas para determinación de carga microbiana. Igualmente, la empresa proporcionó 100 unidades de producto de un único lote de producción para la realización de las pruebas de esterilidad.

Las pruebas microbiológicas realizadas se efectuaron de acuerdo a: las normas ISO 11737-1:1995 Sterilization of Medical Devices – Microbiological methods – Part 1 "Estimation of population of microorganisms on products" e ISO 11737-2:2000 Sterilization of Medical Devices – Microbiological methods – Part 2 : "Tests of sterility performed in the validation of a sterilization process"

Los equipos utilizados fueron: Flujo laminar Enviar, Estufa Incubadora, VWR Scientific; Agitador magnético, Stuart Scientific; Baño María, Tecam; Shaker orbital, Labline; agitador de tubos, Fisher; Autoclave, Raypa AES-75 y Balanza Mettler 682B.

Los medios de cultivo utilizados fueron: Caldo casoy polisorbato, agar sabouraud y agar casoy de MERCK.

Previo determinación de la carga microbiana se determinó el SAL requerido según el uso del producto y se definió la porción de muestra del ítem, SIP (Sample item portion). El experimento se realizó luego de verificar que a una dosis tan alta como 35 kGy, las propiedades del producto así como su empaque se mantenían de acuerdo a la norma técnica de fabricación.

Las irradiaciones se llevaron a cabo en el Gammacell 220, Nordion Canada, fuente de irradiación gamma con una actividad aproximada de 1 200 Ci. Los dosímetros empleados fueron Fricke y Etanol clorobenceno, elaborados según las normas ASTM E1026-95 y ASTM E1538-99 respectivamente. La dosimetría Fricke se realizó en aire y en producto, utilizando un total de 35 dosímetros. Las lecturas de absorbancia de los dosímetros Fricke luego de irradiados se realizaron en el Espectrofotómetro Perkin Elmer, UV VIS, Lambda 2. A modo de control, se colocó un dosímetro de etanol clorobenceno al irradiarse las 100 unidades del producto a la dosis de verificación encontrada y la conductividad se midió en el oscilótulador OK-302/1 Radelkis. Se elaboraron registros de las pruebas realizadas.

3. Resultados

A continuación se describen los resultados obtenidos:

SAL	10^{-6}
SIP	1
Carga Microbiana Promedio del SIP	0.83 UFC/item, resultado del análisis de 30 recuentos totales (aerobios mesófilos y hongos)
Carga Microbiana Promedio	0.83 UFC/item,
Dosis de verificación (Sub-Esterilizante) para SAL 10^{-2}	2.8 kGy
Resultados de Pruebas de Esterilidad	1 positivo de 100 pruebas
Dosis de Esterilización para SAL 10^{-6}	14,0 kGy

En lo que se refiere a las pruebas dosimétricas en aire y producto, los resultados obtenidos se detallan a continuación:

Cantidad de muestra en la cámara de irradiación	131 sobres
Tasa de dosis GC-220, Nordion	1.47090 kGy
Tasa de Dosis GC-220, IPEN	1.47783 kGy
Coefficiente de correlación	0.99992
% de error	0.46
Peso en la cámara de irradiación	1280.8g
Densidad	0.362 g/cc
Tasa de dosis Máxima	1.50610 kGy/hr
Tasa de dosis Mínima	1.06035 kGy/hr
Uniformidad de dosis	1.42038
Coefi. correlación D_{Max}	0.97485
Coef. de correlación D_{Min}	0.99761

La lectura del dosímetro de etanol clorobenceno fue de 3.0 kGy, valor en el rango indicado por la norma $DV \pm 10\%$

4. Discusión

La carga microbiana promedio por item fue de 0.83 UFC/item, valor que se encuentra en la tabla B1: *Radiation Dose (kGy) required to achieve given SAL for different bioburdens having standard distribution of resistances* de la Norma ISO 11137. Esto permitió hallar el

valor de 2.8 kGy como dosis de verificación para un SAL de 10^{-2} . El porcentaje de error obtenido al realizar las pruebas dosimétricas se encuentra en el rango normal, al igual que la uniformidad de dosis. Los resultados de la prueba de esterilidad son adecuados, ya que de 100 pruebas de esterilidad solo una, arrojó resultados positivos. El valor práctico de la dosis de verificación, medido a través de un dosímetro de etanol clorobenceno se encuentra en el rango especificado por la norma, es decir, $\pm 10\%$ de la DV

5. Conclusiones

- La dosis de esterilización entregada a la gasa parafinada ha sido validada obteniéndose un valor de 14,0 kGy
- Se ha logrado disminuir la dosis de 25 kGy, optimizando los tiempos de irradiación.
- La realización de este trabajo fortalece los sistemas de calidad que se están implantando en el IPEN.
- Este trabajo permitirá a la empresa productora de gasa parafinada complementar su sistema de la calidad.
- La documentación de la calidad generada, permite una mejor trazabilidad del producto mejorando la calidad del servicio.

6. Recomendaciones

Es recomendable elaborar un programa de auditorias de la dosis validada. El ensayo se debe repetir obligatoriamente cada vez que varíen las condiciones de fabricación del producto, que influyan en la carga microbiana final.

Bibliografía

- 1) ISO 11737-1 (1995) Sterilization of Medical Devices. Microbiological Methods – Part 1: Estimation of populations of microorganisms on products.
- 2) ISO 11737-2: (2000) Sterilization of medical devices- Microbiological methods-Part 2: Tests of sterility performed in the validation of a sterilization process.
- 3) ISO 11137 (1995) Sterilization of Health Care Products - Requirements for validation and routine control – Radiation Sterilization.
- 4) ISO/ASTM 51261 (2002) Guide for Selection and Calibration of Dosimetry Systems for Radiation Processing.
- 5) Leon E. Harris (Ed.) Sterilization of Medical Products. Volume III. Ethnor Pty.Limited, New South Wales, Australia, 1985.
- 6) Validating Radiation Sterilization in a Global Marketplace. Ed Arscott et al. Medical Device and Diagnostic Industry Magazine. February, 1999.
- 7) The use of 25 kGy as a Sterilizing Dose. Working Group on Microbiology. Panel on Gamma and Electron Irradiation – 1999.

Análisis de la biodiversidad genética del algodón peruano usando marcadores moleculares: Avances en el 2004

José Olórtegui⁽¹⁾ jaol_1@hotmail.com; Marco Espinoza⁽¹⁾ mespinoza@ipen.gob.pe; José Espinoza⁽¹⁾; Ysabel Montoya⁽¹⁾ ymontoya@ipen.gob.pe

(1) IPEN, PRDT, Dirección de Biología, Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

Resumen

Tres mini preparaciones de extracción de ADN de algodón fueron comparadas en términos de calidad y rendimiento. El método de extracción de ADN usando CTAB fue el más eficiente (30 ug) en comparación con un kit comercial de extracción (20 ug) a partir de 100 mg de hojas cotiledonarias. La óptima calidad del ADN fue evaluada con las enzimas de restricción *EcoRI* y *Msel*. El ADN preparado será usado para iniciar el análisis de la biodiversidad genética del algodón peruano, usando marcadores moleculares tales como Polimorfismo de Longitud de Fragmentos de Amplificación (AFLP) y el de Repeticiones de Secuencias Simples (SSR).

1. Introducción

Durante muchas décadas, el cultivo del algodón fue uno de los principales cultivos tradicionales de exportación del Perú; sin embargo, su importancia en la economía rural y como producto de exportación ha ido decreciendo en los últimos años. En el 2002, la producción de algodón se redujo considerablemente hasta tan sólo constituir el 3.5% de la superficie total sembrada en el país (Ministerio de Agricultura, 2005).

En nuestro país, el algodón se cultiva en la costa y en la selva. El algodón Tangüis es el responsable del 70% de la producción nacional, el algodón Pima del 20% y los otros algodones representan el 10%. El algodón Tangüis y Pima son reconocidos por la buena calidad de su fibra (Ministerio de Agricultura, 2005).

El algodón Tangüis (*Gossypium barbadense* L.) crece principalmente en la costa central y sur del país (desde Santa-Ancash a Acari–Arequipa), presenta fibras largas. El algodón Pima (*Gossypium barbadense* L.) se cultiva a lo largo de la costa norte del Perú, principalmente en Piura, el cual se distingue por su fibra extra larga.

En la literatura, existe un amplio número de metodologías para la extracción de algodón (Li et al. 2001, Chaudhry et al., 1999; & Permingeat, 1998). Algunos son métodos que pueden ser preparados en los laboratorios tal como el procedimiento basado en el uso de bromuro de cetil trimetil amonio descrito por Zhang &

Stewart., 2000. Otros laboratorios prefieren usar kits comerciales para la extracción de ADN de plantas; sin embargo, los costos son más altos. Los métodos de extracción de ADN para algodón varían en el uso de altas concentraciones de sales con el fin de remover los polisacáridos así como el uso de Polivinilpirrolidone (PVP) el cual se une a los polifenoles y los captura (Porebski et. al. 1997 & Lodhi, 1994). Además, otros autores incluyen el uso del β -mercaptoetanol como antioxidante (Patterson et al., 1993) y fenantrolina, como el agente caotrópico y quelante de metales que ayuda a reducir las uniones intermoleculares, el cual a su vez inhibe la degradación de ADN, protegiéndolo del efecto dañino de los iones hierro en suspensión (Wajahatallah et. al. 1997).

El objetivo del presente reporte es realizar un estudio comparativo de métodos de extracción de ADN de algodón.

El ADN preparado será usado para el análisis de la biodiversidad del algodón peruano usando los marcadores moleculares conocidos como Polimorfismo de Longitud de Fragmentos de Amplificación (AFLP) y Repeticiones de Secuencias Simples SSR o microsatélites.

2. Método Experimental

Material biológico

Semillas de algodón de la variedad Tangüis fueron proporcionadas gentilmente por la Estación Experimental de Cañete de la Asociación de Agricultura de Cañete. Las semillas fueron germinadas en almacigo de

arena de cuarzo, por un período de 10 días, y luego sometidas a un proceso de crecimiento de un día en un cuarto oscuro, con la finalidad de reducir la producción de carbohidratos, que alteren el proceso de extracción del ADN.

Extracción de ADN de algodón

Las extracciones de ADN de algodón fueron realizadas a partir de 100 mg de hojas cotiledonarias de algodón. Estas hojas fueron pulverizadas con nitrógeno líquido y posteriormente fueron colocados en microviales hasta su uso.

La extracción de ADN de las Muestras 1, 2, 3 & 4 fue realizada usando el Método de mini preparación usando CTAB reportado por Zhang & Stewart., 2000. Sin embargo, a la Muestra 3 y la Muestra 4 se le añadió el Buffer de Limpieza (0.05 M Tris HCl pH=8; 0.05 M EDTA pH=8; 2% CTAB; 2% NaCl y 0.02% de 1,10 Fenantrolina.

Simultáneamente, el ADN de la Muestra 5 fue extraído usando el kit de Qiagen siguiendo las instrucciones del proveedor.

Cuantificación de ADN

El ADN de algodón obtenido en cada una de las Muestras resuspendido en agua fue cuantificado por espectrofotometría a 260 nm.

Digestión de ADN con enzima de Restricción: *EcoRI* y *MseI*

250 ng de ADN de algodón de cada una de las Muestras que aparecen en la Tabla 1 fue digerido con 5U de la enzima *EcoRI*. Asimismo, en tubos separados fueron digeridos 250 ng de las muestras de la Tabla 1 con 5U de la enzima *MseI* respectivamente. Cada una de ellas fue digerida a 37°C durante 3 horas. Además, se incluyeron los controles respectivos del sistema.

Posteriormente, 5 ul de cada uno de los tubos fueron colocados en un gel de agarosa al 1%. Al final de la electroforesis, las bandas de ADN fueron visualizadas con luz ultravioleta previa tinción con bromuro de etidio.

3. Resultados

El método de extracción de ADN usando CTAB fue el más eficiente

El ADN de algodón obtenido de las cinco muestras biológicas fue de óptima calidad. Cada uno de los procedimientos usados brindo buen rendimiento de ADN.

El procedimiento que brindo el mejor rendimiento fue el método de CTAB sin necesidad inclusive de usar el Buffer de Limpieza reportado en la literatura.

En la Tabla 1 se muestra la cantidad de ADN obtenido a partir de 100 mg de tejido fresco. El método de extracción usando CTAB brindo un rendimiento de 20 a 30 ug de ADN (Muestra 1, 2, 3 & 4). El ADN obtenido usando el kit de extracción brindo 20 ug de ADN de algodón (Muestra 5).

EL ADN de algodón es de buena calidad

Todas las preparaciones de ADN fueron cortadas exitosamente con la enzima de restricción *EcoRI* y la enzima *MseI* respectivamente.

Tabla 1. Cantidad de ADN obtenido a partir de 100 mg de tejido fresco.

<i>Preparación de ADN</i>	<i>Método</i>	<i>Rendimiento</i>
Muestra 1	Método CTAB	40 ug
Muestra 2	Método CTAB	35 ug
Muestra 3	Método CTAB Con Buffer	30 ug
Muestra 4	Método CTAB Con Buffer	30 ug
Muestra 5	Kit Qiagen	30 ug

El método de extracción de algodón usando CTAB, sin incluir el Buffer de Limpieza, fue el más eficiente.

4. Discusión

En la actualidad, existe gran variedad de metodologías para la extracción del ADN en plantas. Las características especiales con las que cuenta los tejidos vegetales de donde se extrae el ADN han exigido que se realicen algunas modificaciones, con la finalidad de reducir la captación de polisacáridos y fenoles, compuestos que perturban el proceso de extracción. Estos compuestos impiden la digestión por enzimas de restricción y otras técnicas moleculares tales como AFLP (Vos, 1995) que será usada.

Esta mini preparación de ADN exitosa en términos de calidad y rendimiento usando el método de CTAB es un procedimiento muy económico y rápido, el cual permitirá realizar preparaciones de ADN inclusive a mayor escala. La presencia o ausencia de sustancia (s) que inactiven o disminuyan la actividad de las enzimas de restricción *EcoRI* y *MseI* fue usada como indicador de la calidad del ADN.

En el Perú, es muy importante conocer la biodiversidad de los algodones peruanos desde que los cultivos disponibles podrían tener una muy limitada base genética que restringiría la habilidad del algodón para realizar avances en fitomejoramiento. El fitomejoramiento exitoso de líneas genéticas de algodón es importante para asegurar el mantenimiento/incremento del germoplasma con el fin de lograr mejores resultados.

5. Conclusiones

Las condiciones para la extracción de ADN de algodón están optimizadas para proseguir con el análisis del algodón usando las técnicas de AFLP y el de SSR.

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto recibió financiamiento parcial del Concejo Nacional de Ciencias y Tecnología (CONCYTEC).

Bibliografía

1. Ministerio de Agricultura. 2005. www.minag.gob.pe/algodon.shtml
2. Li, H. Jlu, J. Hemphill, Jau-Tay Wan & J. Gould. 2001. A Rapid and High Yielding DNA Miniprep for Cotton (*Gossypium* spp.) Plant Mol. Biol. Report. 19: 1–5.
3. Chaudhry, B.; Afshan. Y., H. Tayyab & Riazuddin S. 1999. Mini-scale Genomic DNA Extraction from Cotton. Plant Mol. Biol. Reporter 17: 1–7.
4. Permingeat, H.; Romagnoli M. & R. Vallejos. 1998. Simple Method for Isolating High Yield and Quality DNA from Cotton (*Gossypium hirsutum* L.) Leaves. Plant Mol. Biol. Report 16: 1–6.
5. Zhang, J.; & J. McD. Stewart. 2000. J. Cotton Sci. Economical and Rapid Method for Extracting Cotton Genomic DNA. J. Cotton Sci. 2000. 4:193-201.
6. Porebski, S.; L. Bailey, and B. Baum. 1997. Modification of a CTAB DNA extraction protocol for plants containing high polysaccharide and polyphenol components. Plant Mol. Biol. Report. 15: 8-15.
7. Lodhi, M.; D. Ye, D.; Wwuden N.; and Reisch, B. 1994. A simple and efficient method for DNA extraction from grapevine cultivars and Vitis species. Plant Mol. Boil. Report. 12: 6-13.
8. Patterson A.H.; Brubaker C.L. & Wendel J.F. 1993. A rapid method for extraction of cotton (*Gossypium* ssp) genomic DNA suitable for RFLP or PCR analysis. Plant Mol. Biol. Rep. 11(2): 122-127.
9. Wajahatallah, M.; Khan M., Hoyt J., & McD. Steward J. 1997. A method of DNA isolation and purification from *Gossypium* species for molecular studies. P. 156-159. In Proc. Cotton research meeting and summaries of cotton research in progress. Spec. Rep. 193. Arkansas Agric. Exp. Station, Fayetteville.
10. Vos, P., Hogers R., Bleeker M., Reijans M., Van de Lee T., Hornes M., Fijters A., Pot J., Peleman J., Kuiper M. & Zabeau M.. 1995. AFLP: a new technique for DNA fingerprinting. Nucleic Acids Res. 23:4407-4414.

Avances en la caracterización molecular de los microorganismos biooxidantes en tanques industriales de biooxidación de arsenopirita para la recuperación de oro y en drenajes ácidos de minas: Reporte preliminar

Milagros Quintana^(1,2); Martha Ly⁽²⁾; José Bauer⁽²⁾; Marco Espinoza⁽¹⁾ mespinoza@ipen.gob.pe;
Ysabel Montoya⁽¹⁾; José Espinoza^(1,2)

(1) Instituto Peruano de Energía Nuclear. Departamento de Biología
(2) Universidad Peruana Cayetano Heredia, Unidad de Biotecnología Molecular.
Laboratorio de Biominería y Medio Ambiente Laboratorios de Investigación y Desarrollo (LID)

Resumen

La biooxidación en tanques industriales para la recuperación de oro refractario de la arsenopirita es un proceso eficiente aplicado en la industria minera por ser costo-efectiva y por tener un menor impacto ambiental que la extracción de oro por métodos convencionales. En este proceso los sulfuros metálicos insolubles son oxidados a sulfatos metálicos solubles facilitando la extracción del oro oculto en el mineral. Los microorganismos quimioautótrofos más importantes usadas en procesos de biooxidación son *Acidithiobacillus ferrooxidans*, *Acidithiobacillus thiooxidans*, *Leptospirillum ferrooxidans*, las cuales forman parte de la biodiversidad de microorganismos observados en los depósitos de minerales y efluentes ácidos ambientales. El presente estudio tiene como objetivo el aislamiento, la identificación y la caracterización molecular de las poblaciones de microorganismos actuantes en la biooxidación de arsenopirita para la recuperación de oro en los tanques industriales de la mina Tamboraque y en drenajes ácidos de la mina. Los resultados indican que la biooxidación en los reactores y en los drenajes ácidos de la mina es llevado a cabo por un consorcio de microorganismos entre los que se encuentran los géneros *Acidithiobacillus* y *Leptospirillum*, los cuales han sido cultivados en condiciones de laboratorio y caracterizados microbiológicamente por coloración gram y microscopía electrónica.

1. Introducción

Acidithiobacillus-ferrooxidans, *Acidithiobacillus thiooxidans*, *Leptospirillum ferrooxidans* y *Acidithiobacillus caldus* son los principales microorganismos usados en el proceso industrial de la biooxidación del oro en diferentes plantas industriales del mundo (Asmah et al., 2001). Estos organismos se hallan de modo natural en los depósitos de minerales y catalizan la solubilización de los sulfuros metálicos de minerales por reacciones de oxidación para utilizar la energía química liberada en su metabolismo; en acción conjunta, con otros organismos autótrofos y heterótrofos, están implicados en la generación de drenajes ácidos de las minas, el cual es un importante problema ambiental a nivel mundial (Rawlings and Silver, 1995).

La Biooxidación industrial llevado a cabo por estos microorganismos es un tratamiento alternativo a la tostación y a la lixiviación a presión para la extracción de metales y

constituye una de las alternativas probadas para el tratamiento de minerales refractarios sulfurados que contienen oro, denominación de los minerales que no pueden ser lixiviados directamente por el método convencional de cianuración. El proceso se realiza en biorreactores bajo control de la concentración de oxígeno, temperatura, pH, etc. La mayoría de yacimientos de oro contienen oro refractario lo cual evidencia importancia económica de la aplicación de la biooxidación, ya que se estima que actualmente la tercera parte de la producción de oro en el mundo proviene de dichos depósitos (Loayza y col, 1999).

Actualmente, se cuenta con la secuencia completa de los genomas de bacterias de aplicación industrial como *A. ferrooxidans*, *L. ferrooxidans*, *Shewanella oneidensis* – bacteria que tiene la capacidad de reducir una variedad de compuestos orgánicos, iones metálicos y radioactivos (Kolker y col, 2005), *Sulfolobus solfataricus*- crece a pH 2 y a temperaturas de 80°C y oxida Fe⁺² y

sulfuros, clave para el desarrollo de biooxidación industrial a altas temperaturas (She y col, 2001). Sin embargo, de modo similar que en otros organismos ~40% de las secuencias han sido anotadas como no-caracterizadas. Esto significa que un gran porcentaje de genes, en los que se cuentan los de importancia industrial, aun no han sido identificados.

El presente proyecto se dirige a la caracterización molecular de los microorganismos implicados en la oxidación de la arsenopirita en biorreactores industriales y en drenajes ácidos de Tamboraque con el objetivo de obtener información genómica que permita identificar los genes de estos microorganismos y modificarlos por ingeniería genética para hacer más eficiente el proceso de biooxidación industrial y posibilitar el desarrollo de tecnología de control de producción de drenajes ácidos en yacimientos mineros abandonados.

2. Materiales y Métodos

2.1. Microorganismos

2.1.a. Cepa de *A. ferrooxidans* ATCC 19859
La cepa de *A. ferrooxidans* ATCC 19859 fue obtenida del American Type Culture Collection (ATCC) tiene como características: Depositada como *Thiobacillus ferrooxidans* Temple and Colmer. Recomendada para uso en pruebas descritas en ASTM (Standard Test Method E1357-90) donde sólo la taxonomía es especificada. Remueve hierro de pirita en depósitos de minerales (Hoffmann, 1981). Sus aplicaciones: produce sulfuro de hidrógeno y oxidoreductasa ion férrico (Sugio, 1992); para probar la tasa de lixiviación de hierro desde pirita (ASTM International E1357-90).

2.1.b. Cultivo de drenaje ácido y del bioreactor

Microorganismos del drenaje ácido de la mina Tamboraque cultivada en medio 9K y mantenida en actividad con controles de temperatura, pH, oxígeno disuelto y recambio de sales nutritivas. El primer cultivo secundario de drenaje ácido en medio 9K a condiciones de laboratorio fue relación 1/10 (10 ml de muestra en 100 ml de medio fresco). Los microorganismos provenientes de los tanques de biooxidación de arsenopirita de la mina de Tamboraque fueron colectados durante la fase de crecimiento logarítmico. Los microorganismos

fueron cultivados y mantenidos en el laboratorio de modo similar a los microorganismos provenientes de los drenajes ácidos.

2.2. Medios de Cultivo

2.2.a. Medios líquidos

El medio 9 K fue preparado con 3.00 g de sulfato de amonio, 0.05g de fosfato de potasio dibásico, 0.5.g de sulfato de magnesio, 0.1g de cloruro de potasio, 0.012g de nitrato de calcio, 10 ml de ácido sulfúrico en 700 ml de agua destilada. Se esterilizó en autoclave a 121°C x 15 min. Se añade una solución estéril de sulfato ferroso que contiene 30 g de sulfato ferroso en 300 ml de agua destilada a pH a 1.8 con ácido sulfúrico. 0.5 ml del cultivo de *A. ferrooxidans* se inocula en 5 ml de medio 9K fresco. Se dejó en incubación a temperatura ambiente por 10 días. De este nuevo subcultivo se tomaron 2.5 ml y se inocula en 100 ml de medio 9K fresco. Se dejó en incubación a temperatura ambiente con agitación de 200rpm hasta que el medio cambió a un color naranja intenso.

2.2.b. Medios sólidos

Los microorganismos fueron cultivados en placas de agarosa libre de sustancias orgánicas que inhiban el crecimiento bacteriano ya que son bacterias quimiolitotróficas obligadas (Johnson, 2001). Se agregó 10 g de agarosa en 25 ml de alcohol y 50 ml de agua destilada y se mantuvo en agitación por 5 minutos. Se dejó decantar y se descartó el sobrenadante (fase alcohólica). Se repitió el lavado con alcohol 2 veces más y luego solo con agua destilada hasta eliminar cualquier resto de alcohol. Se completó a 50 ml de agua destilada y se esterilizó en autoclave a 121°C x 15 min. Para la solución de Holmes se agregó 35 ml de medio 9K 10X, 7.5 ml de solución de sulfato ferroso heptahidrato pH 2 y 407.5 ml de agua destilada ácida (pH 3). Solución de sulfato ferroso: 5g de sulfato ferroso en 15 ml de agua destilada (pH 2) y esterilizada por filtración. Se mezcló la solución de Holmes con la solución de agarosa a 55°C aprox. El medio fue distribuido en placas e incubadas a 37°C por 24 horas. Se sembró con ayuda de un asa de vidrio y las placas se dejaron en incubación a temperatura ambiente por 2 semanas.

3. Análisis Microbiológico

3.a. Examen microscópico directo

Todas las muestras fueron examinadas con un microscopio de contraste de fases. En una gota de cada muestra, en fase exponencial, se pudo observar poblaciones bacterianas mixtas orden 10^9 microorganismos/ml. Para aumentar la población de bacterias oxidantes de hierro y/o sulfato así como para adaptar dichos microorganismos a condiciones de laboratorio, se sembró 10 ml de la muestra de drenaje ácido en 100 ml de medio 9K y se incubó a temperatura ambiente con agitación (200 rpm) hasta observar el cambio de color de verde claro a naranja intenso por efecto de la oxidación bacteriana del sulfato ferroso (Bond y col, 2000) (4 días aprox.).

3.b. Coloración Gram

Cada cultivo fue filtrado a través de filtros (0.45 μm de diámetro de poro) y el sedimento se suspendió en 1 ml de agua ácida. Una gota de la muestra fijada en una lámina portaobjetos fue sometida a coloración Gram y observada en microscopio óptico (1000x).

3.c. Microscopía electrónica de barrido (MEB)

La observación por microscopía electrónica de los subcultivos de drenaje ácido de la mina Tamboraque y el cultivo de la cepa *A. ferrooxidans* ATCC 19859 fueron realizados a partir de las muestras fijadas de la misma manera como se describe anteriormente para la coloración Gram y luego fueron recubiertas por la técnica de sputtering con Oro-Paladium; para ello se utilizó el equipo "Magnetron Sputtering" del Laboratorio de Microscopía Electrónica de la Universidad Nacional de Ingeniería.

4. Resultados y Discusión

4.a. Cultivos de los Microorganismos

Se ajustaron las condiciones óptimas para el cultivo de microorganismos biooxidantes provenientes del biorreactor y de drenajes ácidos. Para los cultivos secundarios a partir del cultivo de drenaje ácido del tanque del proceso a escala de laboratorio de la mina Tamboraque se inoculó 10 ml de dicha muestra en 100 ml del medio sintético 9K (pH 1.8) por duplicado. Al comienzo los cultivos se incubaron a 37°C sin agitación demorando aproximadamente 14 días para el crecimiento bacteriano (Figura 1). Cuando los cultivos se dejaron en incubación a temperatura ambiente (26 a 28 °C aproximadamente) con agitación (200 rpm), el tiempo de crecimiento se redujo a 6 días. La cepa de *A. ferrooxidans* ATCC se adaptó bien a las

condiciones de cultivo en el laboratorio, creciendo en 5 días aproximadamente en medio 9K con agitación (200 rpm), a temperatura ambiente. Respecto al cultivo mixto del biorreactor, no se realizaron subcultivos.



Figura 1. Cultivo de microorganismos biooxidantes de hierro.

Donde 1. Control 2. Cultivo de 4 días 3. Cultivo de 8 días 4. Cultivo de 11 días 5 Cultivo de 14 días **N.B.** la coloración naranja es debida a la oxidación del ion ferroso a férrico.

En las placas sembradas con cultivos y subcultivos del drenaje ácido solo se noto la presencia de colonias pertenecientes a *A. Ferrooxidans* (Fig. 2). Este medio sólido no permite el crecimiento de la biodiversidad de microorganismos biooxidantes presentes tanto en el biorreactor, como en los drenajes ácidos. Por lo tanto el cultivo en placa no constituye el medio adecuado para el aislamiento de microorganismos biooxidantes proveniente de muestras ambientales.

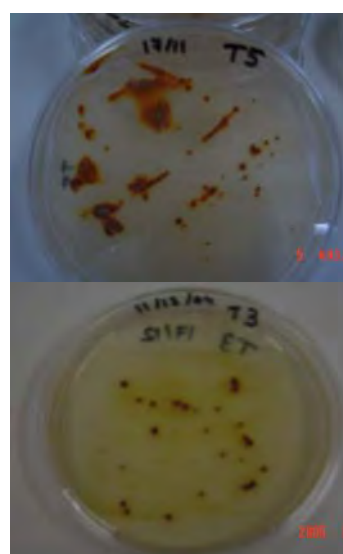


Figura 2. Colonias de *Acidithiobacillus ferrooxidans* en placa.

4.b. Microscopia óptica

Los microorganismos acidófilos, quimilitotróficos biooxidantes de hierro y sulfuros que crecieron en los cultivos líquidos fueron teñidos con la coloración Gram,

observándose una variedad de bacilos Gram negativos con morfología correspondiente a los géneros *Acidithiobacillus* y *Leptospirillum* (Johnson, 2001) observados en el microscopio óptico a 1000X (Fig. 3).

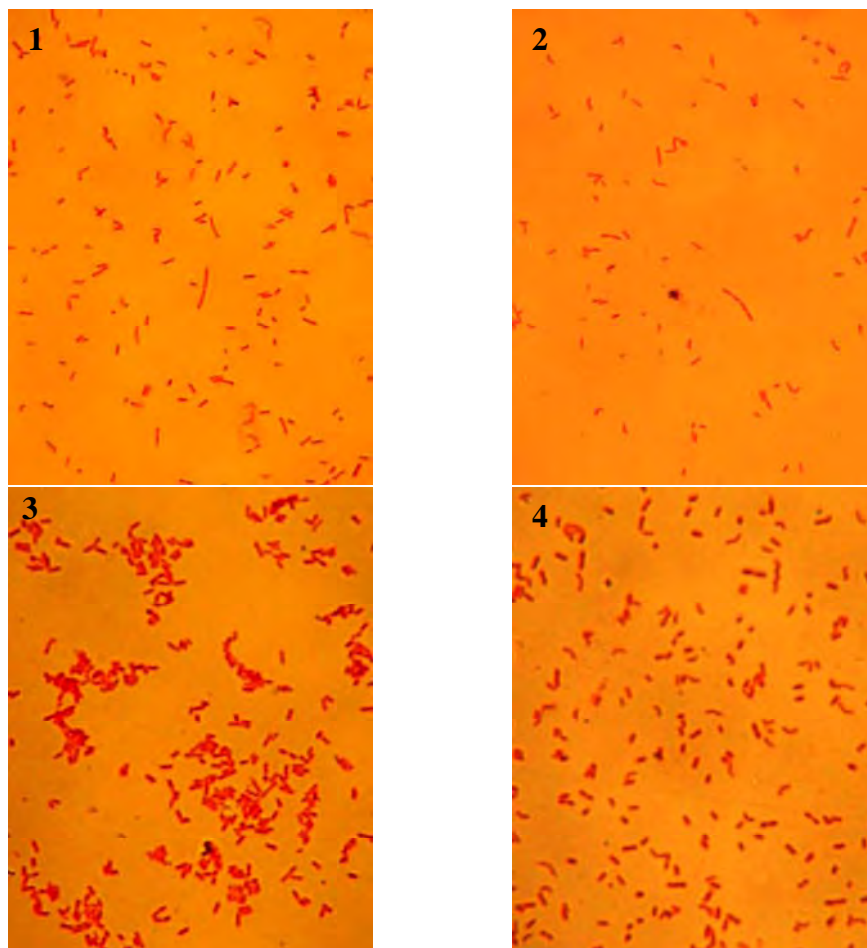


Figura 3. Fotografías de microorganismos Gram negativos presentes en cultivos de drenaje ácido de mina. Aumento 1000X. 1 y 2. Cultivos secundarios (subcultivos) de drenaje ácido de mina Tamboraque 3. Cultivo de cepa de *A. ferrooxidans* 4. Cultivo de drenaje ácido de mina Tamboraque.

4.c. Microscopia Electrónica de microorganismos biooxidantes

La fotografía (Fig. 4) demuestra la biodiversidad de microorganismos presentes en la muestras con morfología correspondientes *Acidithiobacillus* y *Leptospirillum* (Johnson, 2001). También se pueden observar microorganismos adheridos a rastros del mineral.

Figura 4. Fotografías en microscopía electrónica de barrido de un cultivo secundario de drenaje ácido de la mina Tamboraque.



5. Conclusiones

Se han establecido las condiciones óptimas para el cultivo y el aislamiento de microorganismos biooxidantes provenientes de tanques industriales de biooxidación de arsenopirita y de muestras de drenajes ácidos ambientales.

El proceso de biooxidación en los tanques industriales y drenajes ácidos es llevado a cabo por una biodiversidad de microorganismos entre los que se cuentan los géneros *Acidithiobacillus* y *Leptospirillum* entre otros.

Referencias

- 1) Asmah, R.H., Clement, C., Bosompem, K.M., Wilson, M.D., Brown, C.A., Osei, Y.D. and Addy, M.E. (2001) Molecular characterization of mineral leaching bacteria from a gold mine in Ghana using PCR and RFLP. En V.S.T. Ciminelli and O. García Jr. (editors) Proceedings of the international biohydrometallurgy symposium IBS 2001: Fundamentals, Technology and sustainable development, Part A 317-323.
- 2) ASTM International. Standard test method for determining the rate of bioleaching of iron from pyrite by *Thiobacillus ferrooxidans*. West Conshohocken, PA: ASTM International; ASTM Standard Test Method E1357-90.
- 3) Barns, S.M.; Fundyga, R.E.; Jefferies, M.W. and Pace, N.R (1994) remarkable diversity detected in a yellowstone National Park hot spring environment. *Proceedings of the national Academy of Sciences U.S.A.* **91**:1609-1613.
- 4) Bond, P.; Smeriga, S. And Banfield J. (2000) Phylogeny of microorganisms populating a thick, subaerial, predominantly lithotrophic biofilm at an extreme acid mine drainage site. *Applied and Environmental Microbiology.* **66**(9): 3842-3849.
- 5) Coram and Rawlings (2002) Molecular relationship between two groups of the genus *Leptospirillum* and the finding that *Leptospirillum ferriphilum* sp. nov. dominates South African commercial biooxidation tanks that operate at 40°C. *Applied and Environmental Microbiology.* **60**(2): 838-845.
- 6) Hoffmann MR (1981) Kinetics of the removal of iron pyrite from coal by microbial catalysis. *Applied and Environmental Microbiology* **42**: 259-271.
- 7) Johnson, D. (2001) Genus II *Leptospirillum* Hippe 2000 (ex Markosyan 1972, 26) pp. 453-457. En G. Garrity (ed.) *Bergey's manual of systematic bacteriology*, 2nd ed., vol I. Springer-Verlag, Berlin, Germany.
- 8) Lane, D.J (1991) 16S/23S rRNA sequencing, pp 115-175 En E. Stackebrand y M. Goodfellow (ed), *Nucleic Acid Techniques in Bacterial Systematics*. Wiley, New York.
- 9) Loayza, C., Ly, M.E., Yupanqui, R. and Roman, G. 1999. Laboratory biooxidation tests of arsenopyrite concentrate for industrial plant Tamboraque. In R. Amils, and A. Ballester. (Editors), *Proceedings of the International Biohydrometallurgy Symposium IBS 1999: Biohydrometallurgy and the environment toward the mining of the 21st century*, Part A. 405-410.
- 10) Don, R.H; Cox, P.T. Wainwright, B.J.; Baker, K. y Mattick, J.S. (1991) Touchdown PCR to circumvent spurious priming during gene amplification. *Nucleic Acids Research* **19**:4008-4008.
- 11) Kolker E, Picone AF, Galperin MY, Romine MF, Higdon R, Makarova KS, Kolker N, Anderson GA, Qiu X, Auberry KJ, Babnigg G, Beliaev AS, Edlefsen P, Elias DA, Gorby YA, Holzman T, Klappenbach JA, Konstantinidis KT, Land ML, Lipton MS, McCue LA, Monroe M, Pasa-Tolic L, Pinchuk G, Purvine S, Serres MH, Tsapin S, Zakrajsek BA, Zhu W, Zhou J, Larimer FW, Lawrence CE, Riley M, Collart FR, Yates JR 3rd, Smith RD, Giometti CS, Nealson KH, Fredrickson JK, Tiedje JM. (2005) Global profiling of *Shewanella oneidensis* MR-1: expression of hypothetical genes and improved functional annotations. *Proc Natl Acad Sci U S A.*; **102**(6):2099-104.
- 12) Rawlings D.E., Tributsch H. & Hansford G.S. (1999). Reasons why *Leptospirillum*-like species rather than *Thiobacillus ferrooxidans* are the dominant iron-oxidizing bacteria in many commercial processes for the biooxidation of pyrite and related ores. *Microbiology.* **145**: 5-13.
- 13) Rawlings, D. and Silver, S. (1995) Mining with microbes. *Bio/Technology* **13**:773-778.
- 14) She Q, Singh RK, Confalonieri F, Zivanovic Y, Allard G, Awayez MJ, Chan-

Weiherr CC, Clausen IG, Curtis BA, De Moors A, Erauso G, Fletcher C, Gordon PM, Heikamp-de Jong I, Jeffries AC, Kozera CJ, Medina N, Peng X, Thi-Ngoc HP, Redder P, Schenk ME, Theriault C, Tolstrup N, Charlebois RL, Doolittle WF, Duguet M, Gaasterland T, Garrett RA, Ragan MA, Sensen CW, Van der Oost J. (2001) The complete genome of the crenarchaeon *Sulfolobus solfataricus* P2. *Proc Natl Acad Sci U S A.* **98**: 7835-40.

- 15) Sugio T (1992) Existence of a hydrogen sulfide: Ferric ion oxidoreductase in iron-oxidizing bacteria. *Applied and Environmental Microbiology* **58**: 431-433.

Immune response in alpacas against *Fasciola hepatica* cysteine proteinases Fas1 and Fas2*

Olga Timoteo⁽¹⁾; José Espinoza^(1,2)

(1) *Molecular Biotechnology Unit, Laboratories for Research and Development, Universidad Peruana Cayetano Heredia and Department of Biology*
(2) *Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN)*

Corresponding author:

Jose R. Espinoza PhD

E-mail: jespinoza@ipen.gob.pe; jrbespinoza@yahoo.com

Keywords: Alpacas; *Fasciola hepatica*; Immunodiagnosis; Fas2-ELISA, experimental infection

* A full version of this paper is published *Veterinary Immunology & Immunopathology* (2005) Jun 15;106(1-2):77-86.

Abstract

A characterization of the humoral immune response of alpacas to *Fasciola hepatica* Fas1 and Fas2 antigens cysteine proteinases was performed over the course of 6 months of experimental infection. Six adult alpacas aged 1 to 2 years old received a single dose of 200 *F. hepatica* metacercariae, 2 non-infected alpacas were kept as control group. Peripheral eosinophilia in infected animals was greatly enhanced 6 weeks PI and later. A single peak of alanine aminotransferase (SGPT) was observed 4 week PI and aspartate aminotransferase (SGOT) elevated 3 weeks PI and later. All infected animals shed eggs 8 week PI and the number of flukes recovered at necropsy averaged 41 ± 4 . Circulating IgG Abs against Fas1 and Fas2 were measured by ELISA. Fas2-ELISA detected the infection 10 days PI reaching to highest titer on 7-8 week PI and kept elevated until the end of infection. Fas1-ELISA detected the infection 2 weeks PI and followed the same pattern as Fas2-ELISA. Anti Fas2 IgG Abs were in higher titers and showed stronger avidity than anti Fas1 IgG Abs. In the present study we have established a *F. hepatica* experimental infection of alpacas that might be employed as a model to search for genes involved in the susceptibility to helminth infection in alpacas.

1. Introduction

Fasciola hepatica infection is a serious problem to the alpaca farming by the losses caused by the pathogen in animal productivity and mortality (Leguía and Casas, 1999). The disease is highly prevalent along the high steppes of the Andes, where the majority of alpaca farms in Peru are found. The transmission of the infection is facilitated by the heavy contamination of the pastures with the infective form, the climate condition that favors the parasite cycle and the lack of control programs against the fluke. The prevalence of *F. hepatica* infection in alpacas in these locations is 65% by serology with a high rate of re-infection (Neyra et al., 2002). Alpacas are highly susceptible to fasciolosis

and causes mortality if not treated with flucicide (Leguía, 1991), however, there is a lack of information of the liver pathology and the immune response induced in alpacas by this trematode, even more no information is available of the genes associated to.

Production traits in alpacas include fibre characteristics, host resistance to infections, - particularly to sarcocystiosis, fasciolosis in adult animals and to *Clostridium perfringens* type A enterotoxemia in young animals, reproductive and metabolic traits. Fibre diameter and fleece weight are by far the major contributors to the economic value to the alpaca farming and to the associated textile industry. In addition the alpaca population is disease-ridden with parasitic infection the have a negative impact in the production of fibre and meat. This situation is jeopardising the resource by the loss of animals with fine fibre and by the increased morbidity/mortality and decreased fertility of alpacas infected with parasites. Host resistance to parasitic infections is QTL

(quantitative trait loci) determined by the action of few genes and the environment. A pivotal component to accelerate the understanding of the genetics of these traits is to establish a genomic information database for alpacas as it is already implemented for sheep and other domestic animals. Genome scanning to map QTLs involved in wool characteristics and host resistance to parasite infections are in progress in sheep.

In the present study, we report an evaluation humoral immune response against antigens Fas1 and Fas2 in alpacas experimentally infected with *F. hepatica* that might be used as a model to map the alpaca genes associated to resistance against helminth infections.

2. Materials and Methods

Experimental infection

Alpacas were obtained from SAIS Pachacutec, Junin and transported to Lima, where they were kept 2 months for adaptation to the housing conditions. Animals were checked for helminth infection by stool inspection and received a single dose of triclabendazole and closantel prior the experimental infection. Animals were housed in an uncovered pen and fed with dry hay and water *ad libitum*. The experimental infection was made by a single oral administration of 200 *F. hepatica* metacercariae to six adult alpacas 1 to 2 years old and 2 non-infected alpacas were kept as control group.

Parasitological studies

Stool samples were weekly collected and examined by rapid sedimentation procedure (Lumbreras et al., 1962), the parasitological inspection was performed under light microscopy. All animal were slaughtered 24 weeks PI, the liver and the gallbladder were thoroughly inspected for flukes.

Hepatic enzymes and serum proteins

Serum glutamic oxalacetic transaminase (SGOT) and glutamic piruvic transaminase (SGPT) activity was estimated using a SERA-PAK kit from Bayern (New York, USA). Enzymatic activity was expressed in International Units per Liter (IU/L). Alkaline phosphatase (ALP)-AMP, total and direct bilirubin, albumin and total proteins were measured using kits from Biosystems (Barcelona, Spain).

Enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA)

Fas1 (1.5 µg/ml) and Fas2 (1 µg/ml) were bound to microtiter plates IMMULON[®]4HBX (Dynex Technologies, INC, USA) by incubation o/n at 4°C. Plates were washed five times in PBS with 0.05% Tween 20 and then incubated with 1% BSA in PBS with 0.05% Tween 20 for 1 h at 37°C. 100 µl of serum previously diluted 1/100 (Fas1) and 1/200 (for Fas2) in PBS with 0.05% Tween 20 and 2% BSA, was added to the plates and incubated for 1 h at 37°C. Plates were thoroughly washed four times as described above. 100 µl of protein A conjugated to horse radish peroxidase, previously diluted to 1/400 in PBS with 0.05% Tween 20 and 2% BSA, was added to each well and incubated for 1 h at 37°C. A color reaction was observed by incorporating TMB (3, 3', 5, 5'-tetramethyl-benzidine) into the reaction, which was stopped by adding 50 µl of 2M H₂SO₄. The optical density was measured at 450 nm (OD₄₅₀) in a microplate reader (Benchmark Bio-Rad).

Avidity of IgG against Fas1 and Fas2

Avidity index of IgGs against Fas1 and Fas2 was determined by the potassium isocyanate dilution method (Pullen et al., 1986). The index is estimated as the KSCN concentration needed to decrease by 50% the total bound of IgG to the antigen.

Statistical analysis

Data statistical analysis was done using GraphPad Prism[™]. Fas1- and Fas2-ELISA cut off values were estimated as previously described (Neyra et al., 2002).

3. Results

Experimental infection and blood cell count

All infected alpacas shed *F. hepatica* eggs 8 weeks PI remaining positive until the end of the experimental infection. Mature flukes were recovered from the livers of infected animals at necropsy; the parasite load averaged 41± 4 (Table 1). Infected animals haematocrit decreased 4 weeks PI onwards (Figure 1a). No difference was observed in the leukocyte population in infected and controls, however leukocytes transiently increased 4, 8 and 18 weeks PI (Figure 1b). Eosinophils increased 6 weeks PI to a maximum value on the 8th week and remained elevated during the rest of the infection (Figure 1c).

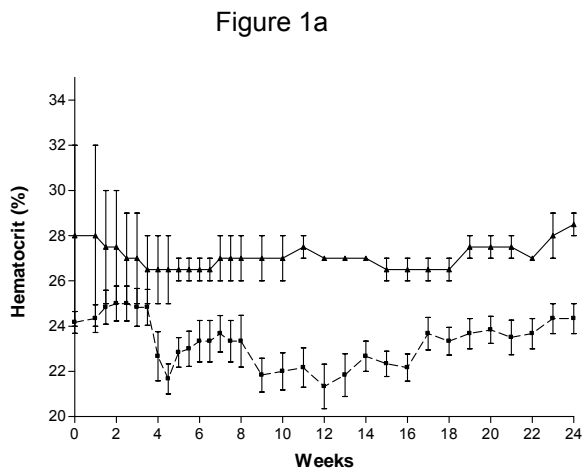


Figure 1b

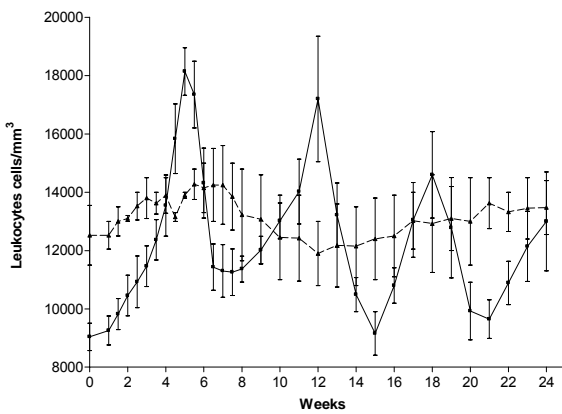


Figure 1c

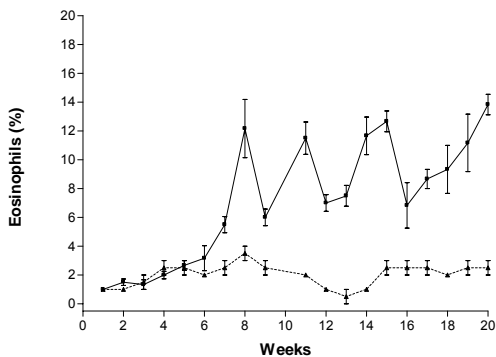


Figure 1. Blood cell count in *E. hepatica* infected alpacas and control. **1a.** Haematocrit, **1b.** Leukocytes; **1c.** Eosinophils. Infected alpacas (■) and controls (▲).

Liver Enzymes and serum proteins

A single peak in the activity of SGPT in sera of infected animals was observed 4 weeks PI (27.2 ± 6 IU/L) (Figure 2a). Serum level of SGOT reached the highest level 4 weeks PI (536.7 ± 82.1 IU/L) in infected animals. SGOT remained elevated in infected animals until 24 week PI (Figure 2b).

Figure 2a

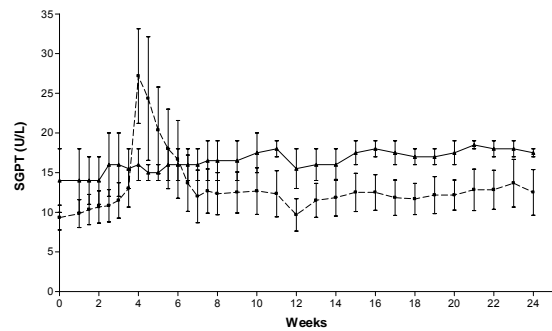


Figure 2b

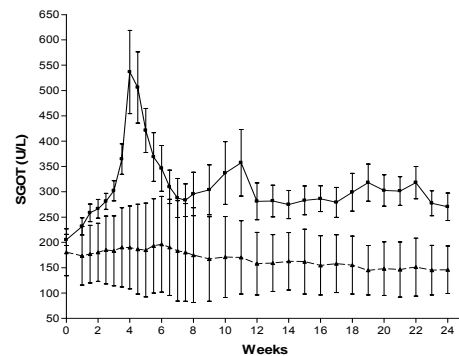


Figure 2. Serum level of liver enzymes in *E. hepatica* infected alpacas. **2a.** Glutamic pyruvate transaminase (SGPT); **2b.** Glutamic oxalacetic transaminase (SGOT). Infected alpacas (■) and controls (▲). Data points represent the mean IU/L of replicates of serum samples of each animal. Infected alpacas (■) and controls (▲).

Fas1 and Fas2 ELISA

All infected alpacas were positive to Fas1-ELISA 2 weeks PI with OD_{450} 0.21 ± 0.02 (cut-off value $0.14 OD_{450}$) and remained positive in ELISA to Fas1 antigen with a peak 8 weeks PI (OD_{450} 0.54 ± 0.06) (Figure 3a). A similar pattern was observed with Fas2-ELISA, infected animals were positive 10 days PI with O_{450} 0.184 ± 0.018 (cut-off value $0.14 OD_{450}$), reached a peak 8 weeks PI (O_{450} 0.624 ± 0.07) and remained elevated until week 24 PI (Figure 3b).

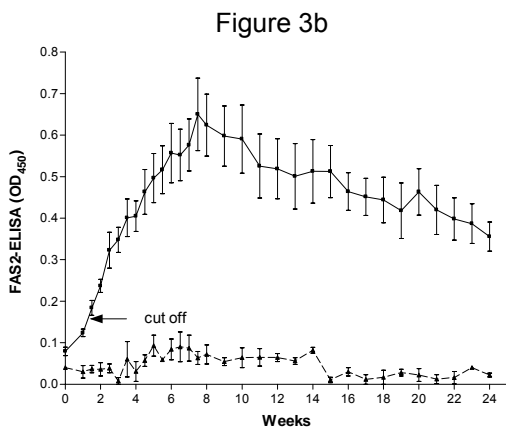
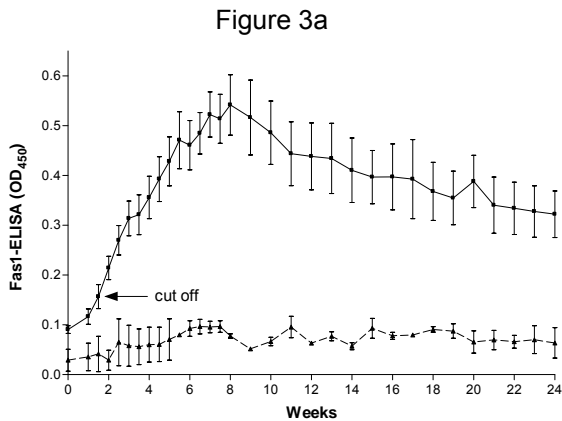


Figure 3. IgG circulating antibodies against Fas1 and Fas2 detected by ELISA. *E. hepatica* experimentally infected alpacas (n=6) and controls (n=3) were evaluated by ELISA with Fas1 **3a.** and Fas2 **3b.** Numbers and arrows represent the cut-off values set as OD₄₅₀ for the serological assays with the corresponding antigens. Data points represents the mean OD₄₅₀ ± SME of replicates of serum samples of each animal. Infected alpacas (■) and controls (▲).

IgG Ab avidity against Fas1 and Fas2

Three infected alpacas and two controls were used to estimate the avidity index of circulating IgG Abs against Fas1 and Fas2 in sera collected 4, 8 and 24 weeks PI. Anti Fas2 IgG Abs had higher avidity index (76.43 ± 1.84) than anti Fas1 IgGs (49.7 ± 0.3) at 2N KSCN. The avidity index did not change during the course of the infection for both antigens (Figure 4).

Figure 4

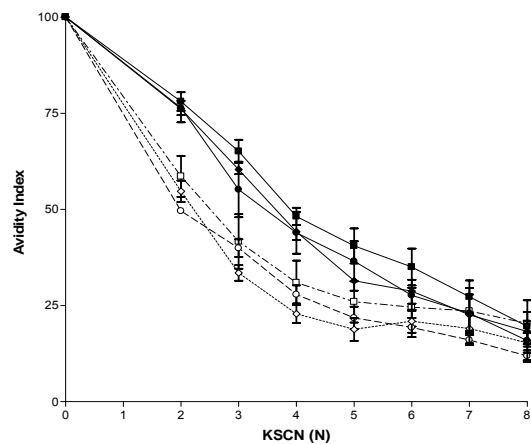


Figure 4. Avidity index of circulating IgG antibodies against: **Fas1**, 4 weeks PI (○), 8 weeks PI (◇), 24 weeks PI (□); **Fas2**, 4 weeks PI (●), 8 weeks PI (◆), 24 weeks PI (■). Each point represents the mean OD₄₅₀ ± SME of replicates of serum samples of three *E. hepatica* infected alpacas.

4. Discussion

In this work, we established an experimental infection of alpacas with *E. hepatica*. The primary infection is similar to those observed in other species susceptible to *E. hepatica* infection: mature flukes shed eggs by the 8 week PI and adult worms were recovered from the bile ducts at necropsy (Chauvin et al., 1995; Clery et al., 1996; Ruiz et al., 2003). The parasite reached the liver by the 4 week and produced damage in the liver parenchyma elevating both liver enzymes SGPT and SGOT. No change in bilirubin and alkaline phosphatase suggested that the infection did not produce biliary obstruction. SGOT remained elevated while SGPT declined during the course of the infection. SGOT is characteristic of the liver damage caused by the parasite in alpacas as previously observed in cattle (Leclipteux et al., 1998). The infection caused anaemia, which is considered an important factor of the host morbidity and mortality by fluke infections (Behm & Sangster, 1999). However, no change in protein, albumin and body weight was observed in infected animals that may reflect that the parasite burden is probably low compared to the number of flukes found in natural infected animals, where weight loss, emaciation and mortality are commonly observed in untreated animals (Leguia and Casas, 1999). A transient elevation of leukocytes was

observed in infected animals in different periods of the infection, which may be related to the pathogenicity of the fluke infection.

As observed in other species (reviewed in Behm & Sangster, 1999), the infection caused a dramatic increase in peripheral eosinophilia that initiated in the late acute phase, 6 weeks PI, and expanded through the chronic phase. No correlation was found between eosinophilia and IgG titers against Fas1 and Fas2, being peripheral eosinophilia observed after the elevation of IgG Abs level against the parasite antigens. We observed more than one peak of eosinophilia during the infection; similar finding was reported in sheep (Chauvin et al., 1995). It is arguably if this is due to migration of eosinophils from blood to the liver or exacerbation of the immune response of the host against the parasite re-invasion of a bile duct. Eosinophilia is a characteristic feature of the immunological response against helminth infection (Janeway et al., 2001). Eosinophils are involved in the antibody dependent cell-mediated cytotoxicity against the related trematode *Schistosoma mansoni*. Eosinophils and other cytotoxic cells appear to participate in the antibody mediated killing of juvenile forms of *E. hepatica* in a variety of species (Piedrafita et al., 2001; Mulcahy et al, 1999). It is suggested that is mediated by a cellular Th2 like response in cows (Bossart et al., 2000) and model animals such as mice and rats (Milbourne & Howell, 1997), eosinophilia is also a response to the fluke in alpacas that extended to the chronic phase of infection, however the role of T helper cells in the immune regulation against infection is not characterized in these camelids.

E. hepatica infected alpacas elicited circulating IgGs against cysteine proteinases Fas1 and Fas2 as previously observed in natural infected alpacas (Neyra et al., 2002). Highest levels of anti Fas1 and anti Fas2 IgG Abs were observed 8 weeks PI coincidental with the beginning of egg shedding by infected animals. IgG titers remained elevated during the experimental infection, suggesting a permanent immune stimulus caused by these cysteine proteinases that are released to the fluke gut lumen and emptied by regurgitation by the adult worm while residing in the bile ducts (Dalton et al., 2003). As observed in other species, infected alpacas elicited a stronger humoral response with higher circulating titers and stronger antibody avidity against Fas2 compared to

Fas1 (Strauss et al., 1999; Cordova et al., 1999). In helminth infection of other species, a significant change in avidity of IgG Abs was strongly associated to the phase of the infection (Viana et al., 2001). No change in the avidity index of IgG Abs against Fas1 and Fas2 was observed in infected animals during the course of infection (Figure 4). This observation suggests either reinfection, these animals were formerly raised in endemic areas for fasciolosis so animals had a cured previous infection, or a particular mechanism of antibody production in camelids, considering the IgG Abs differ from all known IgGs of other species (Hamers-Casterman et al., 1993). It is reported that Fas2 and Fas1 share common epitopes and certain intrinsic epitopes in Fas2, not present in Fas1, endows this antigen with a better performance characteristics in ELISA to detect *E. hepatica* infection (Cordova et al., 1997, 1999). Serodiagnosis using Fas2 detected the infection earlier than Fas1 in all infected animals. Our results suggest that Fas2 and Fas1 cysteine proteinases are major immunodominant antigens in *E. hepatica* infection in alpacas.

In conclusion, *E. hepatica* infected alpacas elicit a strong immune response against the parasite characterized by an increase in eosinophils, a transient elevation of leukocytes and elevation of circulating IgG Abs against two major parasite antigens Fas1 and Fas2. Anti Fas2 IgG Abs are in high titers, are detected as early as 10 day PI and display strong avidity. We have characterized a helminth infection in alpacas in order to develop the basis for an approach to map the genes associated to resistance to fascioliasis in alpacas.

Acknowledgements

O. Timoteo is a visiting scientist of IPEN. This work was partially funded by a grant B/2856-1 from the International Foundation for Science and INCAGRO CONTRACT 007-2003 to JRE. OT received Red SAREC support to conduct the experimental infection. OT and VN are graduate students supported by the Agreement between Consortium of Francophones Universities of Belgium (CIUF) and Universidad Peruana Cayetano Heredia (UPCH). The authors wish to acknowledge the assistance and facilities provided by the personnel of SAIS Pachacutec.

References

1. Behm, C.A., Sangster, N.C., 1999. Pathology, pathophysiology and clinical aspects. In: J.P. Dalton (Ed.), *Fasciolosis*. CABI Publishing. New York, pp. 185-224.
2. Bossaert, K., Jacquinet, E., Saunders, J., Farnir, F., Losson, B., 2000. Cell-mediated immune response in calves to single-dose, trickle, and challenge infections with *Fasciola hepatica*. *Vet Parasitol.* 88, 17-34.
3. Cordova, M., Herrera, P., Nopo, L., Bellatin, J., Naquira, C., Guerra, H., Espinoza, J.R., 1997. *Fasciola hepatica* cysteine proteinases: immunodominant antigens in human fascioliasis. *Am. J. Trop. Med. Hyg.* 57, 660-666.
4. Cordova, M., Reategui, L., Espinoza, J.R., 1999. Immunodiagnosis of human fascioliasis with *Fasciola hepatica* cysteine proteinases. *Trans. R. Soc. Trop. Med. Hyg.* 93, 54-57.
5. Chauvin, A., Bouvet, G., Boulard, C., 1995. Humoral and cellular immune responses to *Fasciola hepatica* experimental primary and secondary infection in sheep. *Int J Parasitol.* 25, 1227-1241.
6. Clery, D., Torgerson, P., Mulcahy, G., 1996. Immune responses of chronically infected adult cattle to *Fasciola hepatica*. *Vet Parasitol.* 62, 71-82.
7. Dalton, J.P., Neill, S.O., Stack, C., Collins, P., Walshe, A., Sekiya, M., Doyle, S., Mulcahy, G., Hoyle, D., Khaznadji, E., Moire, N., Brennan, G., Mousley, A., Kreshchenko, N., Maule, A.G., Donnelly, S.M., 2003. *Fasciola hepatica* cathepsin L-like proteases: biology, function, and potential in the development of first generation liver fluke vaccines. *Int J Parasitol.* 33, 1173-1181.
8. Hamers-Casterman, C., Atarhouch, T., Muyldermans, S., Robinson, G., Hamers, C., Songa, E.B., Bendahman, N., Hamers, R., 1993. Naturally occurring antibodies devoid of light chains. *Nature.* 363, 446-448.
9. Janeway, C.A., Travers, P., Walport, M., Shlomchik M., 2001. *Immunobiology*. Garland Publishing, New York.
10. Leclipteux, T., Torgerson, P.R., Doherty, M.L., McCole, D., Protz, M., Farnir, F., Losson, B., 1998. Use of excretory/secretory antigens in a competition test to follow the kinetics of infection by *Fasciola hepatica* in cattle. *Vet Parasitol.* 77, 103-114.
11. Leguía, G., 1991. Enfermedades parasitarias. In: Fernandez-Baca, S. (Ed.), *Camelidos Sud Americanos*. FAO, Santiago, pp 325-362.
12. Leguía, G., Casas, E., 1999. *Enfermedades parasitarias de camélidos sudamericanos*. Editorial de Mar EIRL. Lima-Perú.
13. Lumbreras, H., Cantella, R., and Burga, R. 1962. Acerca de un procedimiento de sedimentación rápida para investigar huevos de *Fasciola hepatica* en las heces, su evaluación y uso en el campo. *Rev. Med. Peruana.* 31, 167- 174.
14. Milbourne EA, Howell MJ. 1997. Eosinophilia in nude rats and nude mice after infection with *Fasciola hepatica* or injection with its E/S antigens. *Int J Parasitol.* 27:1099-1105.
15. Mulcahy, G., Joyce, P., Dalton, J.P., 1999. Immunology of *Fasciola hepatica* infection. In: J.P. Dalton (Ed.), *Fasciolosis*. CABI Publishing. New York, pp. 341-375.
16. Neyra, V., Chavarry, E., Espinoza J.R., 2002. Cysteine proteinases Fas1 and Fas2 are diagnostic markers of *Fasciola hepatica* infection in alpacas (*Lama pacos*). *Vet. Parasitol.* 105, 21-32.
17. Piedrafita, D., Parsons, J.C., Sandeman, R.M., Wood, P.R., Estuningsih, S.E., Partoutomo, S., Spithill, T.W., 2001. Antibody-dependent cell-mediated cytotoxicity to newly excysted juvenile *Fasciola hepatica* in vitro is mediated by reactive nitrogen intermediates. *Parasite Immunol.* 23, 473-482.
18. Pullen, G.R., Fitzgerald, M.G., Hosking, C.S.. 1986. Antibody avidity determination by ELISA using thiocyanate elution. *J Immunol Methods.* 86, 83-87.
19. Strauss, W., O'Neill, S.M., Parkinson, M., Angles, R., Dalton, J.P., 1999. Short report: Diagnosis of human fascioliasis: detection of anti-cathepsin L Abs in blood samples collected on filter paper. *Am. J. Trop. Med. Hyg.* 60, 746-748.

20. Ruiz, A. Molina, J.M., Gonzalez, J., Martinez-Moreno, F.J., Gutierrez P.N., Martinez-Moreno, A., 2003. Humoral response (IgG) of goats experimentally infected with *Fasciola hepatica* against cysteine proteinases of adult fluke. *Vet. Res.* 34, 435-443.
21. Viana, Lde. G, Rabello, A., Katz, N., 2001. Antibody subclass profile and avidity during acute and chronic human *Schistosoma mansoni* infection. *Trans R Soc Trop Med Hyg.* 95, 550-556.

Table 1. Experimental infection of alpacas with *F. hepatica*.

<i>Alpaca Code</i>	<i>Sex</i>	<i>Age (years)</i>	<i>Total number of flukes</i>	<i>% Recovered Flukes*</i>
1011	female	1.6	36	18
500	female	1.6	44	22
2207	male	1.6	44	22
176	male	1.6	42	21
991349	male	2	45	22.5
9881	male	2	36	18
MA996	male	2	0	0
PP	female	1.4	0	0

*Alpacas received a single dose of 200 metacercariae.

V. Seguridad Nuclear y Protección Radiológica

Control de calidad de equipos de rayos-x utilizados en el diagnóstico médico durante el año 2004

Tony Benavente⁽¹⁾ tbenavente@ipen.gob.pe; Luis Defilippi⁽¹⁾ fisrado@ipen.gob.pe

(1) IPEN. Dirección General de Seguridad Radiológica, Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

Resumen

El presente trabajo muestra un análisis estadístico de los servicios de control de calidad realizados durante el año 2004. El control de calidad de equipos de rayos X empleados en diagnóstico tiene como objetivo verificar el buen funcionamiento del equipo de rayos X, así como la adecuada correspondencia entre los valores indicados y medidos de los parámetros del equipo, que son de utilidad para la obtención de la imagen radiográfica. En el año 2004, se han evaluado 55 equipos de rayos X, los cuales, en su mayoría son de uso convencional, seguidos por los dentales, mamógrafos, fluoroscopios y tomógrafos.

1. Introducción

El Control de Calidad de equipos de rayos X empleado en diagnóstico médico, contribuye con los programas de garantía de la calidad de los servicios de radiodiagnóstico en la obtención de imágenes de buena calidad, permitiendo al radiólogo realizar un mejor diagnóstico. Asimismo, permite la reducción de la tasa de exámenes rechazados y de las dosis de radiación que innecesariamente son recibidas por el paciente [1].

El IPEN a través del Laboratorio Secundario de Calibraciones Dosimétricas (LSCD), desde el año 2002 viene realizando el control de calidad a equipos de rayos X, utilizando estándares con trazabilidad al NIST y procedimientos no invasivos.

En el Control de Calidad se realizan un conjunto de pruebas que permiten conocer el estado de funcionamiento del equipo de rayos X, evaluando sus parámetros nominales y verificando que estos se encuentran dentro de los límites recomendados por los organismos internacionales. Estas pruebas consisten en evaluar la exactitud y repetibilidad de la tensión del tubo y del tiempo de exposición, el rendimiento y la filtración total, la repetibilidad y linealidad del kerma, así como, la colimación del haz. Adicionalmente, se realizan las pruebas de fuga de radiación del tubo y la medición de las dosis recibidas por los pacientes en los diferentes exámenes [2].

Siguiendo las recomendaciones internacionales, en el LSCD se han desarrollado procedimientos de control de

calidad de equipos rayos X de diagnóstico médico [3].

Estos procedimientos contemplan a los equipos de rayos X, utilizados en los exámenes dentales (periapical y panorámico), convencionales (fijo y transportable), así como, en mamógrafos, tomógrafos y fluoroscopios.

El control de calidad de los equipos de rayos X permite a los médicos, conocer el estado de funcionamiento de sus equipos. Lo cual contribuye a la obtención de imágenes de buena calidad radiográfica y reducir en forma significativa sus costos de operación y garantizar el servicio de mantenimiento del equipo. Finalmente, el elevado número de pacientes es beneficiado al no recibir dosis innecesarias de radiación por repetición de pruebas.

En el año 2004, se realizaron 55 controles de calidad a equipos de rayos X, siendo en su mayoría de tipo convencional (23), seguido por los dentales (19), mamógrafos (6) fluoroscopios (5) y tomógrafos (4).

2. Metodología

Luego de analizar los 55 equipos a los que se efectuó el control de calidad durante el año 2004, se catalogaron las fallas en las siguientes categorías: radiación de fuga, colimación, tensión aplicada al tubo, tiempo de exposición, tasa de kerma en aire, filtración y dosis impartida

Dentro de la prueba de tensión aplicada al tubo y del tiempo de exposición, se encuentran las pruebas de exactitud y repetibilidad; dentro de la prueba de la tasa de kerma en aire, se encuentran las pruebas de repetibilidad, linealidad y rendimiento del tubo.

3. Resultados

1. Durante el año 2004, se evaluaron un total de 55 equipos.
2. La mayor parte de los equipos evaluados son del tipo convencional, llegando casi al 42% de los equipos analizados, como se aprecia en la Fig. 1.

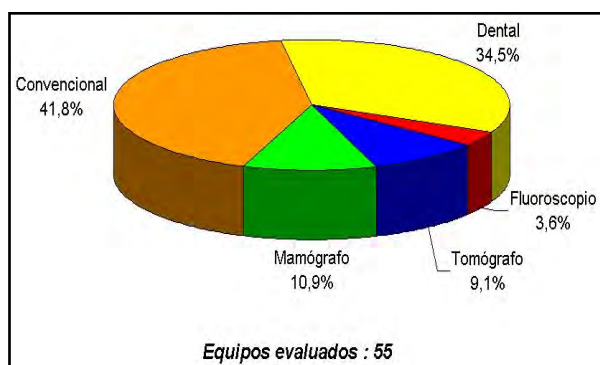


Figura 1. Porcentaje de equipos evaluados según su tipo.

3. Los equipos analizados presentan las siguientes deficiencias: el 67,3% en la tasa de kerma en aire, el 47,3% en el tiempo de exposición, el 45,5% en la colimación, el 36,4% en la tensión aplicada al tubo, el 27,3% en la dosis impartida y el 18,2% en la filtración total. como se observa en la fig. 2.

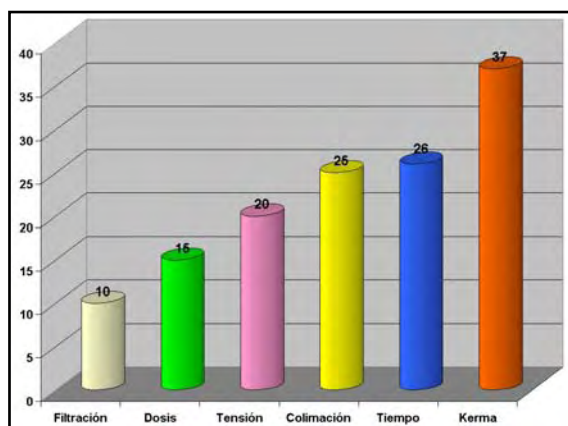


Figura 2. Número de equipos que no cumplen con las tolerancias en las diferentes pruebas.

4. De los 55 equipos analizados, 4, es decir, el 7,3% aprobó la totalidad de las pruebas indicadas, porcentaje mayor que el del año 2004, que fue del 3,2%.

4. Conclusiones

1. En las últimas décadas del siglo XX, con el advenimiento de nueva tecnología en equipos de radiodiagnóstico médico, ha aumentado en forma considerable el número de equipos, sin embargo, existen aún en uso equipos muy antiguos y defectuosos, los cuales, sólo evaluándolos mediante un control de calidad pueden ser reparados para su correcto funcionamiento, o ser declarados inoperativos u obsoletos.
2. Existe la necesidad de implantar programas de control de calidad de los equipos de rayos X en centros de radiodiagnóstico médico, a fin de garantizar su adecuado funcionamiento para poder obtener imágenes de buena calidad radiográfica.
3. Es necesario que los médicos radiólogos, tecnólogos y técnicos en radiología diagnóstica, reciban capacitación en temas de control y aseguramiento de la calidad en radiodiagnóstico, para desarrollar sus actividades empleando nuevos criterios de calidad de imagen y reducción de dosis innecesarias en los pacientes.

Referencias

- [1] Organización Panamericana de la Salud. Organización, Desarrollo, Garantía de Calidad y Radioprotección en los Servicios de Radiología, Imaginología y Radioterapia; diciembre, 1997.
- [2] Protocolo de Control de Calidad en Equipos de Rayos X, ARCAL XLIX, OIEA; diciembre, 2001.
- [3] 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 Seguridad No.115; OIEA Viena; 1997.

Inspección de equipos de rayos-x en la ciudad de Arequipa

Yuri Ravello⁽¹⁾ yavello@ipen.gob.pe

(1) IPEN, Oficina Técnica de la Autoridad Nacional, Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

Resumen

Se ha realizado la inspección de diversas instalaciones que utilizan equipos de rayos X para radiodiagnóstico médico y dental. De las 33 instalaciones inspeccionadas, solo el 33% cuenta con licencia de operación vigente y menos del 1% de operadores cuenta con licencia individual vigente.

1. Introducción

Dentro del plan de control de las instalaciones que emplean fuentes de radiaciones ionizantes por la Oficina Técnica de la Autoridad Nacional, se ha realizado la inspección a las instalaciones que emplean equipos de rayos X con fines de diagnóstico: dental (periapical y panorámico), general, fluoroscopia, litotricia, densitometría ósea, etc. El tiempo empleado para esta campaña fue de 9 días.

La OTAN tiene registradas 60 instalaciones, de las cuales 3 corresponden a rayos X dental, una a veterinaria y 44 a rayos X médico. En lo que respecta a instalaciones con equipos de rayos X médico y dental, solamente 12 de ellas cuentan con licencia de operación vigente; sin embargo, todas han sido inspeccionadas al menos una vez.

2. Resultados

Se ha inspeccionado 33 instalaciones, que hacen un total de 77 salas de rayos X, de los cuales, 63 fueron equipos de rayos X médico y 19 de uso dental.

De las 33 instalaciones, 22 de ellas no cuentan con licencia de operación, sin embargo, el porcentaje de operadores sin licencia de operación es aún más alto, llegando al 99%.

También se halló 4 instalaciones que ya no operan y 4 que no estaban registradas.

3. Discusión

Los resultados obtenidos muestran que el porcentaje de instalaciones que cumplen con la normatividad vigente^{1,2}, es menor al 50%, lo cual se debe, principalmente, a una falta

de mayor fiscalización en la ciudad de Arequipa.

En lo que se refiere a operadores, el alto porcentaje de operadores sin licencia individual se debe a la falta de cursos sobre protección radiológica en las prácticas médica y dental, y de facilidades para la toma de los exámenes para licenciamiento.

4. Conclusiones

Se requiere incrementar la frecuencia de las fiscalizaciones en las instalaciones de las diversas provincias del país y brindar mayores facilidades a los operadores para que puedan cumplir con los requisitos establecidos¹ para obtener la licencia correspondiente.

Bibliografía

1. Reglamento de la Ley 28028, D.S. No. 041-2003-EM. Diciembre del 2003.
2. Reglamento de Seguridad Radiológica, D.S. No. 009-1997-EM. Mayo de 1997.

Estudio dosimétrico del equipo de irradiación tipo I de Co-60 modelo gammacell 220 excel SN 44R

Marco Linares⁽¹⁾ mlinaires@ipen.gob.pe; Paula Huamanlazo⁽¹⁾ phuamanlazo@ipen.gob.pe;
Johnny Vargas⁽¹⁾ jvargas@ipen.gob.pe; Mónica Vivanco⁽¹⁾ monivimo@hotmail.com

(1) IPEN, Dirección General de Seguridad Radiológica, Lima, Perú

Resumen

Luego de recibir nuevas fuentes de cobalto-60 para el irradiador Gammacell 220 Excel (agosto de 2003), se estudió el comportamiento e intercalibración del sistema dosimétrico de referencia Fricke, el cual fue preparado basado en la norma ASTM E 1026-95. La determinación de la dosis absorbida en el centro de la cámara ó isocentro debe tener una desviación menor del 1% comparado con la certificación de la MDS Nordion's Dosimetry Laboratory.

1. Contenido

El equipo de irradiación Gammacell 220 Excel instalado en los laboratorios del Centro Nuclear RACSO está constituido por una fuente de Cobalto 60 que emite radiación gamma que al incidir sobre los alimentos permite disminuir la carga microbiana, eliminar la presencia de microorganismos patógenos, así como de insectos y parásitos, inhibir la germinación y retardar la maduración.

Actualmente, el Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN) aplica esta tecnología en alimentos secos o vegetales deshidratados en polvo como la harina de maca, espárragos, plátanos, lúcuma; en plantas y hierbas medicinales (complementos nutricionales) como la uña de gato, pasuchaca, muña, graviola, sangre de grado, manayupa, etc; en especies y condimentos como la pimienta, palillo, orégano; en colorantes orgánicos naturales como el carmín, cúrcuma, achote; en hierbas aromáticas como la manzanilla, anís, hierba luisa, té; en productos frescos o congelados como: camarones, langostinos, tentáculos de pulpo, conchas de abanico. A la vez se esteriliza productos médicos, farmacéuticos y cosméticos.

Asimismo, el uso de este equipo de irradiación permite realizar pruebas de verificación tecnológica; que consiste en someter al producto a un análisis dosimétrico y a la administración de diferentes dosis de irradiación, con la

finalidad de encontrar la dosis óptima que permita reducir la población bacteriana y de hongos de acuerdo a las especificaciones recomendadas por las normas técnicas vigentes sin afectar significativamente las características nutritivas y sensoriales del producto.

El equipo e irradiación Gammacell esta cargado con 12 lapiceros de Co-60 modelo C-198, cuya actividad al 15 de agosto del 2003 fue de 23 984 Ci (887.4 TBq).

La tasa de dosis absorbida en el centro de la cámara fue medida en MDS Nordion's Dosimetry Laboratory de Canadá, el cual es reconocido por la NIST's National Voluntary Laboratory Accreditation Program (NVLAP) para la evaluación del dosímetro fricke, sistema dosimétrico que se comporta como un sistema dosimétrico de referencia estándar y de transferencia estándar.

La tasa de dosis medida utilizando el sistema dosimétrico fricke al 08 de agosto fue de 19.203 kGy/h con una incertidumbre de la tasa de dosis absorbida de $\pm 2.5\%$ a un nivel de confianza del 95%. Las pruebas realizadas en los laboratorios de irradiación del IPEN presentaron una buena respuesta comparada con los resultados que se obtuvieron en la Nordion, como se muestra en la Tabla 1.

De acuerdo a estos resultados se espera realizar próximamente una intercalibración con el OIEA, bajo el proyecto IDAS (International Dose Assurance Service) el

cual utiliza el sistema dosimétrico estándar Alanina. La última intercalibración para el sistema fricke que utilizamos (año 2003) dió como resultado una relación entre la dosis experimental en Perú y la dosis obtenida por la Agencia de 1.01, encontrándose este resultado entre un \pm 5% dentro de los límites de aceptación del IDAS.

9. AECL. Operation and Maintenance Manual; Gammacell 220; Cobalt-60 Irradiation Unit.
10. Certificate Number:03.043. INTERNATIONAL DOSE ASSURANCE SERVICE: Radiation processing dosimetry, IAEA 10 april 2003.

Referencias

1. ASTM STANDARDS E-1261-94. "Guide for selection and application of dosimetry systems for radiation processing of food", Annual Book of ASTM Standards, Vol 12.02.
2. Sehested, K. "The Fricke Dosimeter", Manual on Radiation Dosimetry, edited by Holm, N.W., and Berry, R. J., Marcel Dekker, pp. 313-317, 1970.
3. Fricke, H., and Hart, E. J.. "Chemical Dosimetry". Radiation Dosimetry, 2nd Edition, Vol 2, Academic Press. pp. 167-239, 1966.
4. ASTM STANDARD: E 1026-95. "Using the Fricke Reference Standard Dosimetry System".
5. ASTM STANDARD: E275. "Practice for Describing and Measuring Performance of Ultraviolet, Visible, and Near Infrared Spectrophotometers", Annual Book of ASTM Standards, Vol 03.05.
6. Soares, C.G. Bright, E.L., and Ehrlich, M. "NBS Measurements Services: Fricke Dosimetry in High-Energy Electron Beams", NBS Special Publication 250-4, 1987.
7. ASTM STANDARD: E 1400-95^a. "Standard Practice for Characterization and Performance of a High-Dose Radiation Dosimetry Calibration Laboratory".
8. "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement", International Organization for Standardization, 1993 ISBN 92-67-10188-9. Available from the International Organization for Standardization, 1 rue de Varembé, Case Postale 56, CH-1211, Geneva 20, Switzerland.



Foto 1. Equipo Gammacell 220E.



Foto 2. Posición de Dosímetros Fricke en el centro de la cámara de Irradiación.

Tabla 1. Resultados de la dosimetría FRICKE, al centro de la cámara de Irradiación del Gammacell 220 Excel; comparadas con el resultado obtenido en los Laboratorios de MDS Nordion's Dosimetry Laboratory de Canadá.

Parámetros	FECHA DE REALIZACION DE LA PRUEBA DE DOSIMETRIA								
	10/2/04	19/3/04	7/6/04	9/7/04	3/8/04	29/9/04	12/10/04	7/12/04	15/12/04
Dosis Exp. con Fricke kGy/h	17.78696	17.17129	17.38723	16.75837	16.78296	16.32561	16.23340	15.83266	15.86315
Constante	-0.02092	0.02795	0.01813	0.01830	0.02369	0.01281	0.02159	0.02134	0.02791
Error Estandar Y	0.00339	0.00148	0.00175	0.00060	0.00077	0.00086	0.00015	0.00126	0.00085
R cuadrado	0.99801	1.00000	0.99995	0.99998	0.99994	0.99996	1.00000	0.99994	0.99989
Grados de Libertad	3.00000	3.00000	3.00000	3.00000	3.00000	3.00000	3.00000	3.00000	3.00000
Coefficiente X	0.00494	0.00477	0.00483	0.00466	0.00466	0.00453	0.00451	0.00440	0.00441
% Error	0.91933	3.03115	1.02258	1.65158	0.42964	1.22929	1.26633	1.74156	1.26818

Radiactividad natural y artificial en productos lácteos de consumo humano (1971-2003)

José Osóres⁽¹⁾ josores@ipen.gob.pe; Susana Gonzáles⁽¹⁾ sgonzales@ipen.gob.pe;
Jorge Martínez⁽¹⁾ jmartinez@ipen.gob.pe; Raúl Jara⁽¹⁾

(1) IPEN, Dirección General de Protección Radiológica, Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

Resumen

Entre 1971 y 2003 se realizó labores de análisis de radiactividad en productos lácteos de diferente tipo (leche natural, leche en polvo, leche evaporada y papillas) como parte del Programa de Vigilancia Radiológica Ambiental Nacional que desarrolla el Departamento de Control Ambiental del Instituto Peruano de Energía Nuclear. Se llevaron a cabo ensayos analíticos para determinar Cs-137, Cs-134, I-131, K-40, Sr-90 y actividad beta global por radiometría gamma y beta, encontrando valores que no representan riesgo radiosanitario para la población y confirmando que el K-40 es el radionucleido natural predominante en este tipo de muestras. La aplicación de factores dosimétricos del OIEA permitió estimar dosis por incorporación de productos lácteos muy por debajo de los límites establecidos por Organismos Internacionales.

1. Introducción

Se define como contaminación la presencia en el medio ambiente de sustancias o elementos tóxicos, perjudiciales o molestos para la salud del hombre y de los seres vivos; por otro lado, se puede definir como radiactividad a la actividad de los cuerpos que se desintegran emitiendo diversas radiaciones que pueden ser fotones de energía o partículas subatómicas las cuales no pueden ser percibidas por nuestros sentidos.

La contaminación radiactiva puede entonces considerarse como un aumento de la radiación natural debido a la utilización de materiales radiactivos naturales o artificiales.

El principal riesgo de contaminación proviene del alto grado de concentración biológica de las sustancias radiactivas a lo largo de las cadenas alimentarias. Así, se produce una contaminación radiactiva indirecta que se inicia con el depósito en suelo y en el agua de los agentes contaminantes radiactivos caídos de la atmósfera. En los animales y vegetales que extraen su alimento del suelo y del agua se concentran dichos cuerpos, transmitiéndolos a sus depredadores en diferentes proporciones. En el hombre eslabón final de la cadena alimentaria, la contaminación indirecta se produce a través del aparato digestivo tras la ingestión de alimentos vegetales o alimentos contaminados.

La leche, por ejemplo, es uno de los principales vehículos de contaminación

indirecta en algunos países. Ello explica que los huesos de los niños, cuyo alimento principal lo constituye la leche, contengan más estroncio-90 que los de los adultos.

Sin embargo, en la actualidad el peligro de este tipo de contaminación parece ser más potencial que real, existiendo un control muy estricto a nivel internacional para vigilar el aumento de radiactividad en la biosfera. La Comisión Internacional de Protección contra las Radiaciones (ICRP), publica periódicamente recomendaciones relativas a las dosis máximas permisibles de radiación y la organización mundial de la salud (OMS), trabaja a si mismo en la vigilancia, lucha y protección contra la contaminación radiactiva.

Los avances en el conocimiento y la mejora de las técnicas de medida de la radiactividad han permitido una mejor valoración de la radiactividad presente en el medio ambiente. De esta situación surge la necesidad de la vigilancia radiológica ambiental, cuyos objetivos son:

- Detectar y vigilar la presencia de elementos radiactivos en el medio ambiente y seguir su evolución en el tiempo,
- Estimar el posible riesgo radiológico de la población
- Determinar la necesidad de tomar, si procediera, alguna precaución o establecer alguna medida correctora.

El objetivo del presente trabajo consiste en evaluar los niveles de radiactividad natural y artificial presente en muestras de leche

colectadas entre los años 1971 y 2003 como parte del Programa de Vigilancia Radiológica Ambiental Nacional desarrollado por el IPEN.

2. Método Experimental

Entre 1971 y 2003 se realizó el análisis de radiactividad en productos lácteos de diferente tipo (leche entera, leche en polvo, leche evaporada y papillas); las muestras de leche entera corresponden principalmente al Programa de Vigilancia Radiológica Ambiental que normalmente lleva a cabo el Instituto Peruano de Energía Nuclear, los otros tipos analizados estuvieron en función de la demanda de usuarios externos que solicitan el certificado de ensayo radiométrico para trámites de importación, exportación y licitaciones públicas.

El ensayo radiométrico gamma se llevó a cabo con una cadena de espectrometría compuesta de detectores de centelleo sólido NaI(Tl) ubicados en el interior de un blindaje cilíndrico de plomo de 5 cm. de espesor y asociados a un sistema analítico multicanal.

Las muestras debidamente acondicionadas se colocaron en el interior del blindaje y se realizaron lecturas instrumentales con una duración de 60 000 segundos en promedio; se analizaron los siguientes radionucleídos: Cs-137, Cs-134, I-131 y K-40 siguiendo las normas establecidas por el Organismo Internacional de Energía Atómica [1].

Los ensayos radiométricos beta se llevaron a cabo en cenizas de leche para determinación de la actividad Beta Global Equivalente así como del Sr-90, utilizando contadores proporcionales y detectores de centelleo plástico.

Los resultados analíticos son expresados en Bequerelios por litro (Bq/L) para leche natural y Bequerelios por kilo de peso seco (Bq/kg ps) para otros productos lácteos, con una incertidumbre expandida del 95%.

Para calcular la dosis recibida por consumo de leche de los diversos radionucleídos, se utilizaron los factores dosimétricos establecidos por el Organismo Internacional de Energía Atómica que toman en consideración el consumo anual de leche por grupos de edad y la actividad incorporada para cada radionucleído [2].

3. Resultados

Tabla 1. Análisis Radiológico de Leche Natural por Espectrometría Gamma.

Años	Cs-137 (Bq/L)	K-40 (Bq/L)	Años	Cs-137 (Bq/L)	K-40 (Bq/L)
1978	0.74	55.82	1995	0.81	105.81
1979	1.01	54.15	1996	0.76	108.89
1982	0.62	53.11	1997	0.80	102.16
1989	0.16	139.03	1998	0.70	104.49
1990	0.92	97.70	1999	0.95	115.33
1991	0.65	110.15	2000	0.83	114.28
1992	1.14	107.31	2001	0.89	108.14
1993	0.86	95.99	2002	0.89	95.56
1994	0.40	87.87	2003	1.07	98.07
PROMEDIO ARITMÉTICO				0.79	97.44
± 1 DESVIACION ESTANDAR				0.23	22.56
VARIABILIDAD (%)				29.6%	23.1%

Tabla 2. Análisis Radiológico de Leche Natural por Radiometría Beta Global.

Años	Beta Global Bq/kg ps	Años	Beta Global Bq/kg ps
1978	57.22	1995	118.70
1979	44.45	1996	118.74
1982	58.55	1997	113.50
1989	156.89	1998	117.89
1990	105.13	1999	126.56
1991	119.87	2000	133.04
1992	116.29	2001	122.90
1993	108.53	2002	99.70
1994	97.86	2003	108.78
PROMEDIO ARITMÉTICO			106.92
± 1 DESVIACION ESTANDAR			28.05
VARIABILIDAD (%)			26.2%

Respecto a otros productos lácteos como leche en polvo, leche evaporada y papillas, se obtuvieron valores promedio entre 0,4 y 1,3 Bq/kg para Cs-137 y entre 89 y 108 Bq/kg para K-40. No se encontraron evidencias de contaminación radiactiva por I-131 ni Cs-134.

4. Discusión

Los resultados obtenidos para el análisis de radiactividad en muestras de leche natural presentaron durante todo este periodo de

muestreo una concentración de $0,79 \pm 0,23$ Bq/Litro de Cs-137 como radionucleído artificial y $97,44 \pm 22,56$ Bq/Litro de K-40 como radionucleído que constituye aproximadamente el 90% de radiactividad natural en los componentes biológicos (Tabla N°1). Los valores obtenidos en muestras de leche en polvo y papillas lácteas presentan valores cercanos a los obtenidos en leche natural, por lo que se verifica que no se dio el caso de una radioconcentración en estos productos elaborados.

Los ensayos para determinar la actividad beta global presentaron una concentración de $106,92 \pm 28,05$ Bq/Litro para leche natural (Tabla N°2), $104,74 \pm 8,91$ Bq/Kilo para leche en polvo y $115,72 \pm 5,94$ Bq/Kilo para papillas lácteas, estos valores son cercanos a los obtenidos en K-40 razón por la cual se puede afirmar que casi toda la radiactividad beta de las muestras analizadas se deben al K-40.

Las concentraciones de Sr-90 no son significativas y muy cercanas al límite de detección instrumental, a excepción de los años 1971 y 1972 en donde se obtuvieron valores de 0,5 y 0,8 Bq/L, esto se debe a que durante aquellas épocas se llevaban a cabo los ensayos nucleares sobre la superficie terrestre y por lo tanto la atmósfera recibía cantidades considerables de elementos de fisión; en los años posteriores, las potencias nucleares empezaron a efectuar sus ensayos nucleares bajo tierra y por lo tanto, los niveles de estos radionucleídos disminuyeron en gran magnitud.

Para efectos de estimación de dosis debido a la ingesta de leche, se consideró el consumo de este producto en seis grupos en función a la edad, de acuerdo a las recomendaciones dadas por Organismo Internacional de Energía Atómica; de este modo, se pudo estimar el consumo de leche y estimar así las cantidades de Cs-137, K-40 y Sr-90 incorporados al organismo por año.

La Figura N°1 presenta la dosis individual anual recibida por el consumo de leche natural, considerando que el límite de dosis para radionucleídos artificiales como son el Cs-137 y Sr-90 es de 1 miliSievert ($1,0E-03$ Sv), se puede apreciar que los valores obtenidos se encuentran varios órdenes de magnitud por debajo de este límite.

Por otro lado, considerando una dosis promedio mundial de 2,4 miliSievert [3] para

radiación natural, principalmente debida a radón y K-40, se puede observar en la Figura N°2 que los valores obtenidos están debajo de este promedio.

5. Conclusiones

La concentración de elementos radiactivos presentes en leche y otros productos lácteos desde la década de 1970 a la fecha, no representa riesgo radiológico a la población peruana habida cuenta que las emisiones de radionucleídos descargados en la atmósfera como producto de los ensayos nucleares sobre la superficie terrestre, así como en el caso de accidentes radiológicos no han ocasionado un impacto radiológico ambiental de significativa magnitud en nuestro país; por otro lado, el aporte a la dosis anual individual por consumo de este producto se debe casi en su totalidad al contenido de potasio-40 (K-40), radionucleído natural presente en casi todos los componente biológicos utilizados para consumo humano.

Bibliografía

- [1] IAEA. Measurement of Radionuclides in Food and the Environment. Technical Reports Series No. 295. International Atomic Energy Agency. Vienna, Austria. [1989].
- [2] IAEA. International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources. Safety Series No. 115. International Atomic Energy Agency. Vienna, Austria. [1996].
- [3] UNSCEAR. Sources And Effects Of Ionizing Radiation. Annex B: Exposures from Natural Radiation Sources. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. [2000].

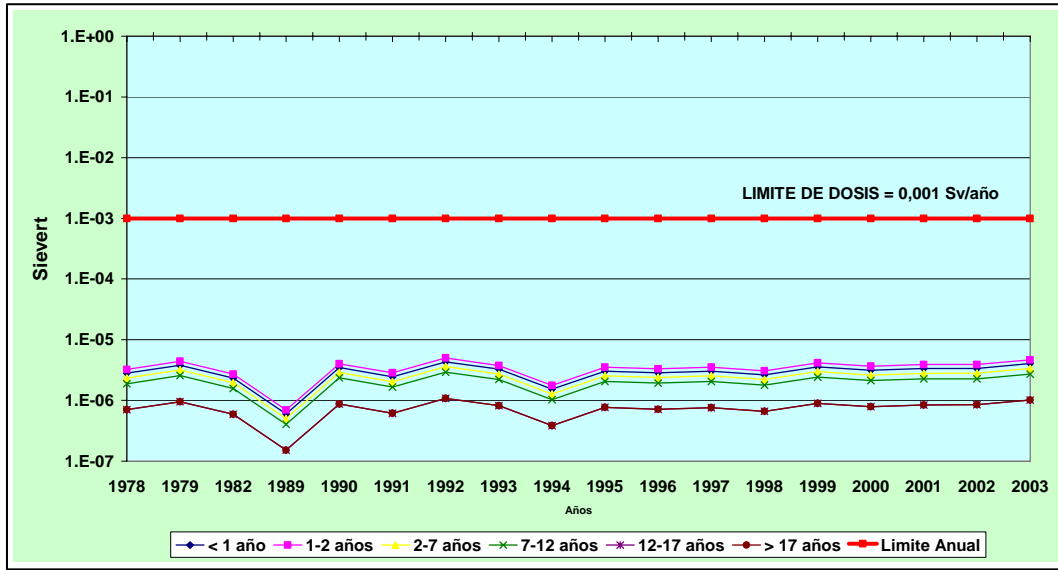


Figura 1. Dosis anual estimada por concepto de ingesta de Cs-137 en leche.

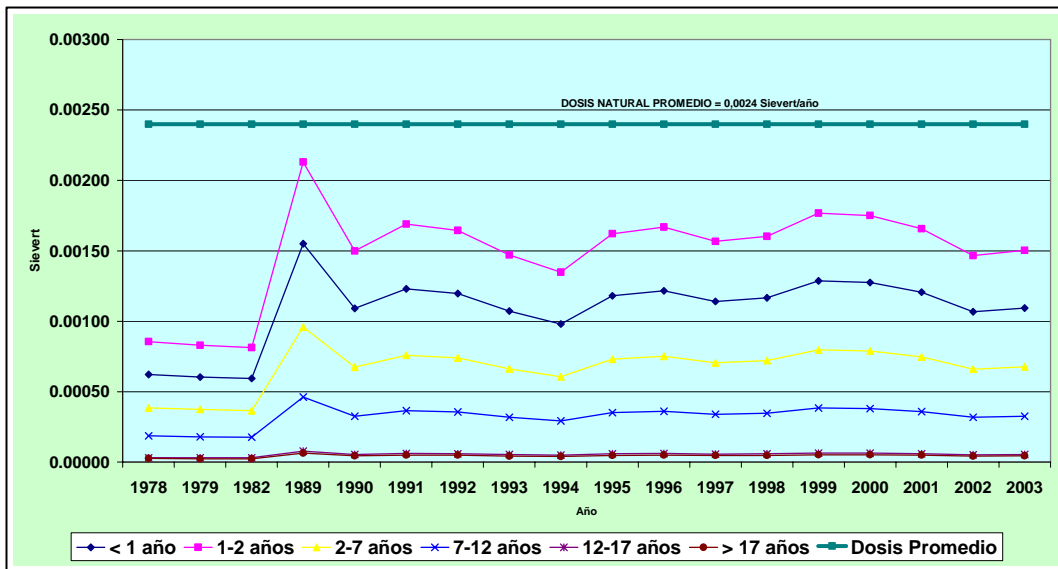


Figura 2. Dosis anual estimada por concepto de ingesta de K-40 en leche.

VI. Aspectos de Gestión

Premisas presupuestales para el estudio económico de la Ley Marco de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica

Mauro Zevallos⁽¹⁾ mzevallos@ipen.gob.pe, Miriam Alarcón⁽¹⁾ malarcon@ipen.gob.pe,
Luis Espinoza⁽¹⁾ lespinoza@ipen.gob.pe, Graciela Alvaro⁽¹⁾ galvaro@ipen.gob.pe,
Carlos Gayoso⁽¹⁾ cgayoso@ipen.gob.pe, Víctor Elguera⁽¹⁾ velguera@ipen.gob.pe,
Mully Nájera⁽¹⁾ mnajera@ipen.gob.pe

(1) IPEN-Oficina de Planificación, Presupuesto y Racionalización / Lima 41-Perú

Resumen

Se presenta un estudio de los presupuestos de apertura (2003-2005) de las Instituciones y Universidades Públicas que conforman el Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica (SINACYT) y se plantean dos premisas presupuestales para el estudio de la Ley Marco de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica.

1. Introducción

La Ley Marco de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica (Ley N° 28303) se publicó el 27 de julio de 2004, dispone en su primer Artículo lo siguiente: “La presente Ley tiene por objeto normar el desarrollo, promoción, consolidación, difusión y transferencia de la Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica (CTel) en el país. Define las atribuciones, alcances y medios de la acción del Estado en este ámbito.” y en el Artículo 5° se señalan quince (15) objetivos nacionales y además precisa que corresponde al Estado normar, orientar, coordinar, planificar, fomentar, supervisar y evaluar el desarrollo de la CTel, para el cumplimiento de esos objetivos nacionales.

La mencionada norma legal otorga mandato al CONCYTEC y le señala cuales son sus funciones sobre las cuales debe orientar y realizar sus actividades. También menciona cuales son las Instituciones que conforman el Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica (SINACYT). En el Capítulo III se crea y definen las funciones del Fondo Nacional de Desarrollo Científico, Tecnológico y de Innovación Tecnológica (FONDECYT) la que debe desarrollar sus actividades dentro del marco de las prioridades, criterios y lineamientos de política establecidos en el Plan Nacional de CTel y los que apruebe el CONCYTEC.

El mandato, funciones y responsabilidades que la norma legal otorga y obliga a cumplir a las instituciones involucradas, deben estar acompañadas por el apoyo (recursos y facilidades) que el Estado debe dar a dichas

instituciones para el cumplimiento de sus obligaciones y responsabilidades.

En todo estudio económico donde se intente **medir la bondad** de una norma legal, en primer lugar es necesario definir de manera clara y precisa las hipótesis iniciales o premisas del estudio de medición, se entiende que las premisas corresponden a la situación antes de la promulgación de la norma que se quiere evaluar, en segundo lugar se debe plantear el período de espera durante la cual la norma está en plena vigencia y se espera que al final del período la situación inicial debe haber cambiado, igualmente se deben plantear las hipótesis de resultado con sus respectivos indicadores económicos y de impacto, estos indicadores deben estar plenamente definidos al inicio del período de vigencia de la norma, al final de dicho periodo se tienen que realizar las comparaciones de estos indicadores y efectuar la dócima de hipótesis planteando la razonabilidad de la mejora de la situación inicial debido al apoyo de recursos y facilidades que las instituciones del SINACYT reciben de parte del Estado, en virtud a la vigencia y aplicación de la norma legal.

Los indicadores para medir la bondad de la Ley Marco deben estar relacionados con la contribución efectiva de la Ciencia, la Tecnología y la Innovación Tecnológica en el bienestar colectivo, la producción y la aplicación de los nuevos conocimientos, así como se deben plantear indicadores que precisen el cumplimiento de los objetivos que se señalan en el Artículo 5°.

2. Planteamiento del Estudio

En el presente estudio, planteamos algunas premisas respecto a los recursos económicos que las instituciones públicas administran y las orientan al desarrollo de las actividades y proyectos de CTel.

Dejamos para un segundo estudio el planteamiento de premisas respecto a los indicadores de impacto científico, tecnológico y los de innovación tecnológica.

En las instituciones públicas, el Presupuesto Institucional de Apertura – PIA, es la asignación presupuestal anual de cada una de ellas, el proyecto del PIA es presentado por el Poder Ejecutivo y luego es aprobado por el Congreso de la República, lo que significa que esta asignación presupuestal corresponde a la voluntad política del Ejecutivo y del Legislativo. El Presupuesto Institucional Modificado – PIM, con las modificaciones presupuestales, a favor o en contra, se logran en la mayoría de los casos contra la voluntad política. Para el estudio de la Ley Marco proponemos utilizar como premisa de referencia el PIA y no el PIM.

3. Material y Método

En el Anexo 1 se presenta la relación de las 19 instituciones públicas no universitarias que pertenecen al SINACYT y sus presupuestos de apertura (PIA) de los años 2003, 2004 y 2005.

En el Anexo 2 se muestra la relación de las 34 universidades públicas y sus presupuestos de apertura (PIA) de los años 2003, 2004 y 2005

PRIMERA PREMISA

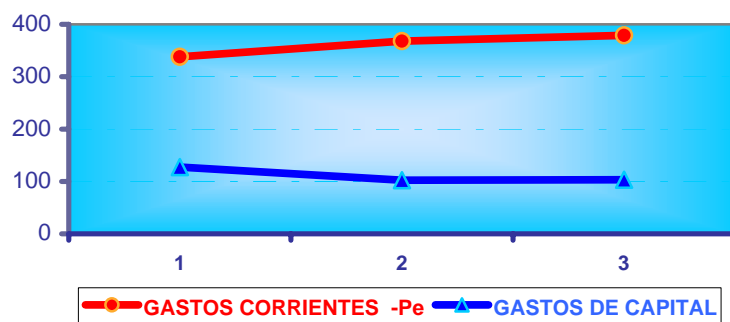
Las 19 instituciones públicas no universitarias pertenecientes al SINACYT, tienen como objetivo principal desarrollar, promover, difundir y transferir Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica, lo que indica que sus presupuestos están orientados a financiar su objetivo principal.

En el Cuadro N° 1 se presenta el PIA (en nuevos soles corrientes) asignados para los años 2003, 2004 y 2005, desagregado en Genérica de Gasto1: Personal y Obligaciones Sociales (Remuneraciones) y en Genérica de Gasto 2: Obligaciones Previsionales (Pensiones). También se tiene el desagregado en la categoría de Gasto Corriente – Pe que corresponde al acumulado de las Genéricas 1, 3 y 4 y en la categoría de Gasto de Capital que considera las Genéricas 5 y 7.

Como **primera premisa:** planteamos que en las instituciones públicas no universitarias, el 100% del PIA menos la Genérica de Gasto 2 (Pensiones) están orientados a financiar el desarrollo de las actividades y proyectos de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica.

CUADRO N° 1					
PRESUPUESTO DE APERTURA (PIA) DEL 2003 AL 2005					
ACUMULADO DE LAS 19 INSTITUCIONES PÚBLICAS NO UNIVERSITARIAS					
(En Nuevos Soles)					
CONCEPTO	RECURSOS PÚBLICOS			TOTAL	%
	2003	2004	2005		
G.G. 1. Remuneraciones	127 219 282	140 975 843	145 752 295	413 947 420	29,20%
G.G. 2. Pensiones Pe	15 711 290	15 786 419	16 329 713	47 827 422	
GASTOS CORRIENTES - Pe	337 949 341	367 878 287	378 833 017	1 084 660 645	76,51%
GASTOS DE CAPITAL	127 345 490	102 275 195	103 305 478	332 926 163	23,49%
TOTAL	465 294 831	470 153 482	482 138 495	1 417 586 808	100,00%

**ACUMULADO DE PRESUPUESTO 2003 AL 2005
POR INSTITUCIONES PÚBLICAS
(En Millones de Nuevos Soles)**



SEGUNDA PREMISA

La Ley Marco señala que las universidades públicas también pertenecen al SINACYT. Por mandato de la Ley, las universidades deben cumplir con las funciones de Formación Profesional, de Investigación y Desarrollo, de Proyección Social y de Extensión Universitaria como tareas principales, entre otras. Es conocido que dichas instituciones comprometen la mayor cantidad de sus recursos (humanos, económicos, materiales e intangibles) para el cumplimiento de la función de Formación Profesional dejando para un segundo o tercer lugar la de Investigación y Desarrollo,

lo cual nos indica que un pequeño porcentaje está orientado a financiar las actividades y proyectos de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica.

En el Cuadro N° 2A se presenta el PIA (en nuevos soles corrientes) de los años 2003, 2004 y 2005, desagregado en Genérica de Gasto1: Personal y Obligaciones Sociales (Remuneraciones), Genérica de Gasto 2: Obligaciones Previsionales (Pensiones), Genérica de Gasto 3: Bienes y Servicios, Genérica de Gasto 4: Otros Gastos Corrientes y en la categoría de Gasto de Capital que considera las Genéricas 5 y 7.

CUADRO N° 2A

**PRESUPUESTO DE APERTURA (PIA) DEL 2003 AL 2005
ACUMULADO DE LAS 34 UNIVERSIDADES PÚBLICAS
(En Nuevos Soles)**

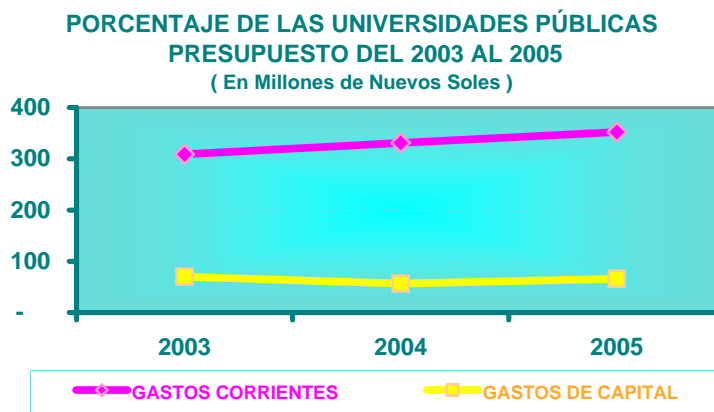
CONCEPTO	RECURSOS PÚBLICOS			TOTAL	%
	2003	2004	2005		
G.G. 1. Remuneraciones	487 131 320	538 090 515	571 797 929	1 597 019 764	37,65%
G.G. 2. Pensiones	171 211 670	175 203 025	180 188 789	526 603 484	12,41%
G.G. 3. Bienes y Servicios	440 399 430	464 187 639	498 435 308	1 403 022 377	33,07%
G.G. 4. Otros Gastos Corrientes	89 505 490	111 302 321	129 867 302	330 675 113	7,80%
GASTOS CORRIENTES	1 188 247 910	1 288 783 500	1 380 289 328	3 857 320 738	90,93%
GASTOS DE CAPITAL	139 941 070	113 336 291	131 468 341	384 745 702	9,07%
TOTAL	1 328 188 980	1 402 119 791	1 511 757 669	4 242 066 440	100,00%

De la experiencia en el ámbito universitario, planteamos como **segunda premisa:** que en las universidades públicas, la suma del 10% de la Genérica de Gasto 1 más el 10% de la Genérica de Gasto 3 más el 50% de la Genérica de Gasto 4 más el 50% de los Gastos de Capital del PIA se orientan a financiar el desarrollo de las actividades y

proyectos de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica.

En el Cuadro N° 2B, la cifra de GASTOS CORRIENTES (R) corresponde a la suma de los porcentajes señalados en el párrafo anterior de las Genéricas 1, 3 y 4; así como el porcentaje planteado para GASTOS DE CAPITAL.

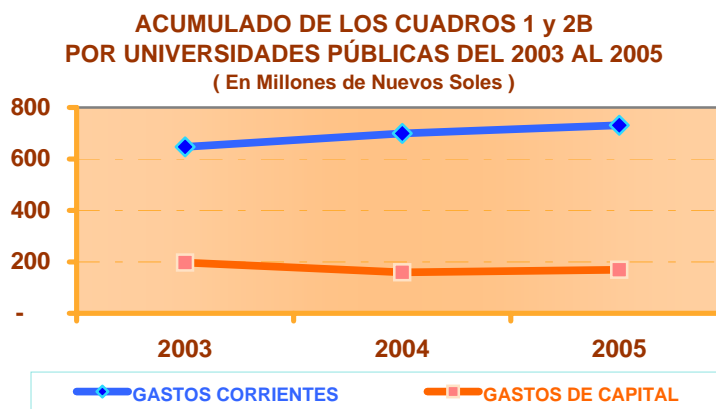
CUADRO N° 2B					
PORCENTAJE DE LOS PRESUPUESTOS DEL 2003 AL 2005					
DE LAS UNIVERSIDADES PÚBLICAS					
(En Nuevos Soles)					
CONCEPTO	RECURSOS PÚBLICOS			TOTAL	%
	2003	2004	2005		
GASTOS CORRIENTES (R)	308 717 490	331 082 001	352 145 764	991 945 255	83,76%
50 % GASTOS DE CAPITAL	69 970 535	56 668 146	65 734 171	192 372 851	16,24%
TOTAL	378 688 025	387 750 146	417 879 934	1 184 318 106	100,00%



Los montos presupuestales que también deben tenerse en cuenta en el presente estudio (E) se presentan en el Cuadro N° 3,

donde los montos de GASTOS CORRIENTES (E) y GASTOS DE CAPITAL (E) se obtienen de sumar las respectivas categorías de gasto de los Cuadros 1 y 2B.

CUADRO N° 3						
ACUMULADO DE LOS CUADROS 1 y 2B						
POR UNIVERSIDADES PÚBLICAS DEL 2003 AL 2005						
(En Nuevos Soles)						
CONCEPTO	RECURSOS PÚBLICOS			TOTAL	%	
	2003	2004	2005			
GASTOS CORRIENTES (E)	646 666 831	698 960 288	730 978 781	2 076 605 900	79,81%	
GASTOS DE CAPITAL (E)	197 316 025	158 943 341	169 039 649	525 299 014	20,19%	
TOTAL	843 982 856	857 903 628	900 018 429	2 601 904 914	100,00%	



PERIODO DE ESPERA

Se han considerado tres años (2003, 2004 y 2005) para acumular los presupuestos de las instituciones públicas que pertenecen al SINACYT. De igual manera proponemos tres años (2006, 2007 y 2008) como período de

espera, tiempo en la cual la Ley Marco de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica está en plena vigencia.

4. Conclusiones y Recomendaciones

- 4.1 La primera premisa que se plantea corresponde al presupuesto que las instituciones públicas no universitarias destinan a financiar sus actividades y proyectos en CTel.
- 4.2 De igual manera, la segunda premisa plantea la forma de determinar el presupuesto que las universidades públicas destinan a financiar sus actividades y proyectos en CTel.
- 4.3 El período de espera debe ser de tres años, del 2006 al 2008.
- 4.4 En el año 2006 deben plantearse los indicadores de impacto científico, tecnológico y los de innovación tecnológica, que permitirán medir la bondad de la ley.
- 4.5 En el año 2008 se debe evaluar la mejora de los presupuestos de acuerdo a la primera y segunda premisa, luego evaluar la bondad de

la ley mediante una d6cima de hip6tesis que mida la razonabilidad de la posible mejora de la situaci6n

inicial comparada con la situaci6n al final del periodo de espera, seg6n los indicadores planteados.

Bibliograf6a

1] Ministerio de Econom6a y Finanzas-DNPP, Presupuesto del Sector P6blico para el A6o Fiscal 2003.

2] Ministerio de Econom6a y Finanzas-DNPP, Presupuesto del Sector P6blico para el A6o Fiscal 2004.

3] Ministerio de Econom6a y Finanzas-DNPP, Presupuesto del Sector P6blico para el A6o Fiscal 2005. En:

(http://www.mef.gob.pe/propuesta/DNPP/leyes/2005/proyecto_anexos2005.php).

ANEXO N° 1 PRESUPUESTOS APROBADOS DE LAS INSTITUCIONES P6BLICAS

INSTITUCIONES	CONCEPTO	RECURSOS P6BLICOS			TOTAL
		2003	2004	2005	
1 CONCYTEC CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGIA	Gastos Corrientes -Pe	12 766 888	12 618 888	13 384 749	38 770 525
	Gastos de Capital				
	SUB-TOTAL	12 766 888	12 618 888	13 384 749	38 770 525
2 CONIDA COMISI6N NACIONAL DE INVESTIGACI6N Y DESARROLLO AEROSPAIAL	Gastos Corrientes -Pe		4 530 157	185 378	4 715 535
	Gastos de Capital		1 334 256		1 334 256
	SUB-TOTAL	0	5 864 413	185 378	6 049 791
3 CONACS CONSEJO NACIONAL DE CAM6LIDOS SUDAMERICANOS	Gastos Corrientes -Pe	4 811 000	4 206 094	4 155 485	13 172 579
	Gastos de Capital	1 581 000	1 176 906	1 167 618	3 925 524
	SUB-TOTAL	6 392 000	5 383 000	5 323 103	17 098 103
4 INANPE INSTITUTO ANT6RTICO PERUANO	Gastos Corrientes -Pe		3 600 000	2 835 857	6 435 857
	Gastos de Capital			585 388	585 388
	SUB-TOTAL	0	3 600 000	3 421 245	7 021 245
5 IGN INSTITUTO GEOGR6FICO NACIONAL	Gastos Corrientes -Pe	2 681 000	2 592 000	2 617 634	7 890 634
	Gastos de Capital	870 000	870 000	746 000	2 486 000
	SUB-TOTAL	3 551 000	3 462 000	3 363 634	10 376 634
6 IIAP INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DE LA AMAZONIA PERUANA	Gastos Corrientes -Pe	9 528 984	11 869 701	10 041 127	31 439 812
	Gastos de Capital				0
	SUB-TOTAL	9 528 984	11 869 701	10 041 127	31 439 812
7 IMARPE INSTITUTO DEL MAR DEL PERU	Gastos Corrientes -Pe	18 381 666	30 991 585	30 548 935	79 922 186
	Gastos de Capital	2 624 000	2 980 000	3 135 975	8 739 975
	SUB-TOTAL	21 005 666	33 971 585	33 684 910	88 662 161
8 IGP INSTITUTO GEOFISICO DEL PERU	Gastos Corrientes -Pe	4 183 848	3 882 000	4 978 553	13 044 401
	Gastos de Capital	2 648 716	2 404 000	1 468 968	6 521 684
	SUB-TOTAL	6 832 564	6 286 000	6 447 521	19 566 085

9	INGEMMET	Gastos Corrientes -Pe	20 000 000	8 070 532	18 265 142	46 335 674
	INSTITUTO GEOLOGICO MINERO Y METALURGICO	Gastos de Capital				0
		SUB-TOTAL	20 000 000	8 070 532	18 265 142	46 335 674
10	INABEC	Gastos Corrientes -Pe	19 430 934	23 896 530	24 837 767	68 165 231
	INSTITUTO NACIONAL DE BECAS Y CRÉDITO EDUCATIVO	Gastos de Capital				0
		SUB-TOTAL	19 430 934	23 896 530	24 837 767	68 165 231
11	INEI	Gastos Corrientes -Pe	19 154 258	18 925 794	23 372 580	61 452 632
	INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA.	Gastos de Capital	4 403 000	1 608 674	21 606 520	27 618 194
		SUB-TOTAL	23 557 258	20 534 468	44 979 100	89 070 826
INSTITUCIONES		CONCEPTO	RECURSOS PÚBLICOS			TOTAL
			2003	2004	2005	
12	INIEA	Gastos Corrientes -Pe	39 901 666	37 501 168	37 341 779	114 744 613
	INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACION Y EXTENSIÓN AGRARIA	Gastos de Capital	2 002 630	5 178 570	8 568 242	15 749 442
		SUB-TOTAL	41 904 296	42 679 738	45 910 021	130 494 055
13	INICTEL	Gastos Corrientes -Pe	12 304 949	13 577 000	13 826 880	39 708 829
	INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN Y CAPACITACIÓN DE TELECOMUNICACIONES	Gastos de Capital				0
		SUB-TOTAL	12 304 949	13 577 000	13 826 880	39 708 829
14	INRENA	Gastos Corrientes -Pe	14 217 902	35 631 964	34 530 842	84 380 708
	INSTITUTO NACIONAL DE RECURSOS NATURALES	Gastos de Capital	58 673 572	24 903 683	33 507 937	117 085 192
		SUB-TOTAL	72 891 474	60 535 647	68 038 779	201 465 900
15	INS	Gastos Corrientes -Pe	72 074 960	63 351 000	62 825 721	198 251 681
	INSTITUTO NACIONAL DE SALUD	Gastos de Capital	7 910 430	17 148 491	17 758 109	42 817 030
		SUB-TOTAL	79 985 390	80 499 491	80 583 830	241 068 711
16	IPEN	Gastos Corrientes -Pe	26 787 969	23 931 989	23 782 229	74 502 187
	INSTITUTO PERUANO DE ENERGIA NUCLEAR	Gastos de Capital	1 451 000	1 443 000	1 443 000	4 337 000
		SUB-TOTAL	28 238 969	25 374 989	25 225 229	78 839 187
17	ITP	Gastos Corrientes -Pe	8 770 373	13 694 000	8 574 087	31 038 460
	INSTITUTO TECNOLÓGICO PESQUERO DEL PERÚ	Gastos de Capital				0
		SUB-TOTAL	8 770 373	13 694 000	8 574 087	31 038 460
18	SENAMHI	Gastos Corrientes -Pe	13 854 944	18 125 885	17 894 789	49 875 618
	SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA	Gastos de Capital	6 416 056	2 080 115	2 272 341	10 768 512
		SUB-TOTAL	20 271 000	20 206 000	20 167 130	60 644 130
19	SENASA	Gastos Corrientes -Pe	39 098 000	36 882 000	44 833 483	120 813 483
	SERVICIO NACIONAL DE SANIDAD AGRARIA	Gastos de Capital	38 765 086	41 147 500	11 045 380	90 957 966
		SUB-TOTAL	77 863 086	78 029 500	55 878 863	211 771 449
TOTAL			465 294 831	470 153 482	482 138 495	1 417 586 808

ANEXO N° 2
PRESUPUESTOS APROBADOS DE LAS UNIVERSIDADES PÚBLICAS

UNIVERSIDADES	CONCEPTO	RECURSOS PÚBLICOS			TOTAL
		2003	2004	2005	
1 UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS-LIMA	Gastos Corrientes -Pe	144 297 674	148 378 678	184 322 483	476 998 835
	Gastos de Capital	10 978 000	7 649 401	8 528 401	27 155 802
	SUB-TOTAL	155 275 674	156 028 079	192 850 884	504 154 637
2 UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO	Gastos Corrientes -Pe	47 241 063	53 387 611	54 119 836	154 748 510
	Gastos de Capital	3 791 000	2 030 000	3 456 000	9 277 000
	SUB-TOTAL	51 032 063	55 417 611	57 575 836	164 025 510
3 UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO	Gastos Corrientes -Pe	45 873 265	51 020 257	54 956 971	151 850 493
	Gastos de Capital	4 613 000	2 953 231	3 026 093	10 592 324
	SUB-TOTAL	50 486 265	53 973 488	57 983 064	162 442 817
4 UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN -AREQUIPA	Gastos Corrientes -Pe	66 874 902	70 418 273	71 931 685	209 224 860
	Gastos de Capital	4 962 000	2 201 109	3 085 509	10 248 618
	SUB-TOTAL	71 836 902	72 619 382	75 017 194	219 473 478
5 UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA -LIMA	Gastos Corrientes -Pe	91 905 438	102 833 077	94 426 035	289 164 550
	Gastos de Capital	5 662 399	3 751 850	4 723 716	14 137 965
	SUB-TOTAL	97 567 837	106 584 927	99 149 751	303 302 515
6 UNIVERSIDAD NACIONAL SAN LUIS GONZAGA DE ICA	Gastos Corrientes -Pe	40 346 976	41 637 415	42 472 642	124 457 033
	Gastos de Capital	4 509 774	3 900 000	4 689 000	13 098 774
	SUB-TOTAL	44 856 750	45 537 415	47 161 642	137 555 807
7 UNIVERSIDAD NACIONAL SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA -AYACUCHO	Gastos Corrientes -Pe	23 856 861	27 199 291	29 864 872	80 921 024
	Gastos de Capital	7 443 000	7 366 191	8 233 118	23 042 309
	SUB-TOTAL	31 299 861	34 565 482	38 097 990	103 963 333
8 UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERU -HUANCAYO	Gastos Corrientes -Pe	29 452 229	31 369 145	32 885 651	93 707 025
	Gastos de Capital	4 064 000	3 308 130	3 005 620	10 377 750
	SUB-TOTAL	33 516 229	34 677 275	35 891 271	104 084 775
9 UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA MOLINA -LIMA	Gastos Corrientes -Pe	32 874 632	34 901 191	34 584 276	102 360 099
	Gastos de Capital	2 596 000	2 875 379	3 754 379	9 225 758
	SUB-TOTAL	35 470 632	37 776 570	38 338 655	111 585 857
10 UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA AMAZONIA PERUANA -LORETO	Gastos Corrientes -Pe	31 694 400	32 300 887	32 923 888	96 919 175
	Gastos de Capital	6 197 000	6 287 073	5 556 281	18 040 354
	SUB-TOTAL	37 891 400	38 587 960	38 480 169	114 959 529
11 UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO -PUNO	Gastos Corrientes -Pe	39 441 589	43 893 975	45 756 414	129 091 978
	Gastos de Capital	5 800 971	3 906 301	4 390 306	14 097 578
	SUB-TOTAL	45 242 560	47 800 276	50 146 720	143 189 556
12 UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA	Gastos Corrientes -Pe	41 031 105	43 473 584	47 497 457	132 002 146
	Gastos de Capital	3 957 759	3 616 245	5 521 774	13 095 778
	SUB-TOTAL	44 988 864	47 089 829	53 019 231	145 097 924

UNIVERSIDADES	CONCEPTO	RECURSOS PÚBLICOS			TOTAL	
		2003	2004	2005		
13	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA	Gastos Corrientes -Pe	25 694 530	29 149 887	31 021 415	85 865 832
		Gastos de Capital	6 002 760	4 692 107	5 715 752	16 410 619
		SUB-TOTAL	31 697 290	33 841 994	36 737 167	102 276 451
14	UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO LAMBAYEQUE	Gastos Corrientes -Pe	41 878 280	50 262 153	62 020 883	154 161 316
		Gastos de Capital	3 290 448	4 689 480	5 465 595	13 445 523
		SUB-TOTAL	45 168 728	54 951 633	67 486 478	167 606 839
15	UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL LIMA	Gastos Corrientes -Pe	85 424 370	94 943 650	99 688 421	280 056 441
		Gastos de Capital	14 494 150	7 616 953	5 495 953	27 607 056
		SUB-TOTAL	99 918 520	102 560 603	105 184 374	307 663 497
16	UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZAN HUANUCO	Gastos Corrientes -Pe	16 835 200	19 409 428	20 761 162	57 005 790
		Gastos de Capital	3 800 000	3 062 500	3 637 384	10 499 884
		SUB-TOTAL	20 635 200	22 471 928	24 398 546	67 505 674
17	UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA TINGO MARIA	Gastos Corrientes -Pe	13 091 892	14 251 494	14 537 406	41 880 792
		Gastos de Capital	2 586 000	2 304 698	3 183 387	8 074 085
		SUB-TOTAL	15 677 892	16 556 192	17 720 793	49 954 877
18	UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN HUACHO	Gastos Corrientes -Pe	21 954 030	23 433 521	23 887 672	69 275 223
		Gastos de Capital	2 509 000	1 507 582	2 132 652	6 149 234
		SUB-TOTAL	24 463 030	24 941 103	26 020 324	75 424 457
19	UNIVERSIDAD NACIONAL DE EDUCACION ENRIQUE GUZMAN Y VALLE -LIMA	Gastos Corrientes -Pe	28 095 283	30 598 056	32 249 283	90 942 622
		Gastos de Capital	6 390 536	5 630 024	6 622 978	18 643 538
		SUB-TOTAL	34 485 819	36 228 080	38 872 261	109 586 160
20	UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO	Gastos Corrientes -Pe	28 847 588	30 577 227	33 000 076	92 424 891
		Gastos de Capital	5 542 000	5 397 600	3 956 600	14 896 200
		SUB-TOTAL	34 389 588	35 974 827	36 956 676	107 321 091
21	UNIVERSIDAD NACIONAL JOSE FAUSTINO SANCHEZ CARRION -HUACHO	Gastos Corrientes -Pe	21 751 260	24 515 887	25 452 859	71 720 006
		Gastos de Capital	4 457 500	3 509 195	4 029 041	11 995 736
		SUB-TOTAL	26 208 760	28 025 082	29 481 900	83 715 742
22	UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN -TACNA	Gastos Corrientes -Pe	21 414 711	23 396 468	24 858 671	69 669 850
		Gastos de Capital	2 602 000	2 191 000	3 040 471	7 833 471
		SUB-TOTAL	24 016 711	25 587 468	27 899 142	77 503 321
23	UNIVERSIDAD NACIONAL SANTIAGO ANTUNEZ DE MAYOLO -HUARAZ	Gastos Corrientes -Pe	18 125 424	20 235 143	22 438 181	60 798 748
		Gastos de Capital	2 700 000	2 131 735	3 007 235	7 838 970
		SUB-TOTAL	20 825 424	22 366 878	25 445 416	68 637 718
24	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN	Gastos Corrientes -Pe	11 964 623	13 236 497	13 333 520	38 534 640
		Gastos de Capital	1 531 000	1 457 760	2 334 724	5 323 484
		SUB-TOTAL	13 495 623	14 694 257	15 668 244	43 858 124

UNIVERSIDADES	CONCEPTO	RECURSOS PÚBLICOS			TOTAL	
		2003	2004	2005		
25	UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI	Gastos Corrientes -Pe	12 133 113	13 395 565	13 415 340	38 944 018
		Gastos de Capital	2 860 056	3 569 015	3 417 561	9 846 632
	SUB-TOTAL	14 993 169	16 964 580	16 832 901	48 790 650	
26	UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES	Gastos Corrientes -Pe	9 809 175	11 495 987	12 319 694	33 624 856
		Gastos de Capital	3 346 000	2 949 768	3 149 279	9 445 047
	SUB-TOTAL	13 155 175	14 445 755	15 468 973	43 069 903	
27	UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA -CHIMBOTE	Gastos Corrientes -Pe	11 021 237	12 754 706	13 596 348	37 372 291
		Gastos de Capital	250 000	570 463	400 000	1 220 463
	SUB-TOTAL	11 271 237	13 325 169	13 996 348	38 592 754	
28	UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA	Gastos Corrientes -Pe	6 748 000	8 491 538	10 149 622	25 389 160
		Gastos de Capital	5 242 345	4 700 710	5 170 816	15 113 871
	SUB-TOTAL	11 990 345	13 192 248	15 320 438	40 503 031	
29	UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZONICA DE MADRE DIOS	Gastos Corrientes -Pe	2 665 720	3 958 927	4 755 956	11 380 603
		Gastos de Capital	3 447 122	3 390 122	3 712 880	10 550 124
	SUB-TOTAL	6 112 842	7 349 049	8 468 836	21 930 727	
30	UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURIMAC	Gastos Corrientes -Pe	2 513 186	4 703 070	6 171 335	13 387 591
		Gastos de Capital	1 088 734	1 169 040	1 129 560	3 387 334
	SUB-TOTAL	3 601 920	5 872 110	7 300 895	16 774 925	
31	UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRIGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS	Gastos Corrientes -Pe	2 178 484	3 957 887	4 230 382	10 366 753
		Gastos de Capital	3 226 516	2 951 629	3 736 076	9 914 221
	SUB-TOTAL	5 405 000	6 909 516	7 966 458	20 280 974	
32	UNIVERSIDAD NACIONAL INTERCULTURAL DE LA AMAZONIA -UCAYALI	Gastos Corrientes -Pe	0	0	2 485 476	2 485 476
		Gastos de Capital			1 500 000	1 500 000
	SUB-TOTAL	0	0	3 985 476	3 985 476	
33	UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DEL CONO SUR DE LIMA	Gastos Corrientes -Pe	0	0	1 646 663	1 646 663
		Gastos de Capital			1 307 200	1 307 200
	SUB-TOTAL	0	0	2 953 863	2 953 863	
34	UNIVERSIDAD NACIONAL JOSE MARIA ARGUEDAS - ANDAHUAYLAS	Gastos Corrientes -Pe	0	0	2 337 964	2 337 964
		Gastos de Capital			1 353 000	1 353 000
	SUB-TOTAL	0	0	3 690 964	3 690 964	
TOTAL			1 156 977 310	1 226 916 766	1 331 568 880	3 715 462 956

Fundamentos teóricos de planeamiento eléctrico

Wien Automatic System Planning (WASP)

Juan Avila⁽¹⁾ javila@ipen.gob.pe

(1) IPEN, Dirección General de Instalaciones, Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

RESUMEN

Se presenta los fundamentos teóricos en los cuales se basa el modelo computacional “Wien Automatic Planning System” (WASP) para realizar estudios de planeamiento eléctrico, así como la formulación matemática relacionada con la parte económica y técnica, que son las bases fundamentales para optimizar un plan de expansión eléctrico al mínimo costo. Se muestra los aspectos más importantes en los cuales se basa el modelo WASP, como la Función Objetivo detallándose cada término que lo compone, para la comprensión del propósito fundamental del planeamiento. También se muestra de modo detallado los fundamentos teóricos en que se basa la construcción de las centrales hidroeléctricas, a borde de río o con caudal regulable de reservorios. Un aspecto importante en planeamiento es la referencia de costos al valor presente para una comparación adecuada de los costos entre diversas tecnologías por lo cual se ha incluido la teoría básica para su determinación. Así mismo es importante hacer una evaluación rápida del banco de proyectos para orientar mejor el proceso de planeamiento y optimización, razón por la cual se ha insertado el presente artículo el método de evaluación “screening curves”.

Palabras claves: Centrales Hidroeléctricas, Fundamentos de planeamiento eléctrico, Modelo WASP, Teorías de planeamiento eléctrico. Valor presente.

1. Introducción

El Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN) dentro de su **Plan Estratégico** contempla el desarrollo del área de Energía para realizar estudios de planeamiento energético con el objetivo de analizar la aplicación de la energía nuclear para la generación de electricidad y de esta manera soportar mejor en el futuro el suministro eléctrico para el desarrollo sostenido del país. El modelo computacional “**Wien Automatic System Planning Package**” originalmente fue desarrollado por “Tennessee Valley Authority” (TVA) y el “Oak Ridge National Laboratory” (ORNL) de los Estados Unidos de Norte América, con la finalidad de hacer estudios para satisfacer las necesidades del mercado eléctrico de los países en vías de desarrollo. El desarrollo del modelo fue promovido y conducido por el OIEA, 1972-1973 [1]. Basado en la experiencia ganada usando el código, muchas mejoras fueron hechas por el equipo profesional de la IAEA, lo cual en 1976 se creo la versión

WASP-II [2], más tarde, las necesidades de la Comisión de las Naciones Unidas para América Latina (ECLA) para estudiar sistemas eléctricos interconectados de seis países de centro América, donde hay gran potencial de recursos hidroeléctricos llevo a ECLA/IAEA ha realizar un esfuerzo conjunto desde 1978 a 1980, desarrollándose la versión WASP-III [3]. En 1992, el modelo VALORAGUA fue desarrollado para determinar la estrategia óptima de operación de sistemas mixtos hídricos-térmicos, el VOLORAGUA determina las características de las centrales hidroeléctricas para alimentar al modelo WASP [4]. Con las recomendaciones de los Estados miembro de la IAEA el grupo asesor de la IAEA realizaron mejoras al modelo para incrementar la capacidad de aspectos adicionales del sistema de generación adicionando flexibilidad al costo de capital de inversión durante la construcción creándose la versión WASP-III Plus. Finalmente, por recomendaciones del simposium de Helsinki se ha desarrollado una nueva versión (actual) durante 1992–

1996, denominada **WASP-IV** en entorno Windows [5].

La importancia de esta herramienta versa en el contexto de la competitividad a la cual deben ser sometidas cualquier opción de generación de electricidad, más aún en la actualidad con la corriente global de preservar el medio ambiente. Es una necesidad hacer estudios integrales desde el punto de vista Económico, Calidad, Confiabilidad y Conservación del Medio Ambiente.

Dentro de la **misión** del IPEN de apoyar al sector energético e interesados en el área de energía y la conservación del medio ambiente, mantiene una alianza estratégica con el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), para el desarrollo y aplicación de modelos computacionales de planeamiento en el sector energía. En ese sentido se escribe el presente artículo con la finalidad de dar a conocer a los interesados los aspectos fundamentales y la teoría de planeamiento en que se basa el modelo WASP.

2. Fundamentos teóricos de planeamiento

En este artículo básicamente se expone los fundamentos principales y teorías en que se basa el código WASP para obtener un plan de expansión óptimo en un Sistema Eléctrico Interconectado de generación de electricidad.

2.1 Función Objetivo

Cada secuencia posible de unidades agregadas al sistema eléctrico bajo las restricciones impuestas por el planeador es evaluado mediante una función llamada, **Función Objetivo**, la que se compone de:

- Capital de Inversión (I)
- Costos de inversión de salvamento (S)
- Costos de Combustible (F)
- Costos de inventario de Combustible (L)
- Costos de mantenimiento y operación (M)
- Costos de energía no servida (O)

Algebraicamente la **Función Objetivo** evaluada por el modelo WASP es representa por:

Ecuación (1)

$$B_j = \sum_{t=1}^T [\bar{I}_j^t - \bar{S}_j^t + \bar{F}_j^t + \bar{L}_j^t + \bar{M}_j^t + \bar{O}_j^t]$$

donde:

- B_j es la función objetivo para el plan j ,
- t es el tiempo en años (1, 2, ..., T),
- T es la longitud del período de estudio (Número total de años), y
- **la barra** sobre los símbolos tiene el significado de valores referidos al año de referencia para la tasa de descuento i .

La expansión óptima del plan es definida por:

Mínimo B_j , entre todos los planes j (2)

El WASP requiere un punto de inicio para determinar el plan de expansión. Si $[K_t]$ es un vector que contiene todas las unidades de generación, las cuales están en operación en el año t para un plan de expansión dado, entonces $[K_t]$ debe satisfacer la siguiente relación:

$$[K_t] = [K_{t-1}] + [A_t] - [R_t] + [U_t] \quad (3)$$

donde:

$[A_t]$ = vector que contiene las unidades que se adicionan en el año t .

$[R_t]$ = vector que contiene las unidades que se retiran en el año t .

$[U_t]$ = vector con las centrales candidatas propuestas para el sistema en el año t ,

$$[U_t] \geq [0]$$

$[A_t]$ y $[R_t]$ son datos dados por el planeador, y $[U_t]$ es la variable desconocida a ser determinada en la optimización.

Definiendo el período crítico (p) como el período del año para el cual la diferencia entre la capacidad de generación disponible y la demanda pico tiene el valor más pequeño, y si $P(K_{t,p})$ es la capacidad del sistema en el periodo crítico del año t , las siguientes restricciones deben ser cumplidas para que cada configuración sea aceptada.

$$(1 + a_t)D_{tp} \geq P(K_{tp}) \geq (1 + b_t)D_{tp} \quad (4)$$

La relación (4) establece que la capacidad instalada en el período crítico del año t , debe estar entre los márgenes de reserva máximo y mínimo, a_t y b_t respectivamente, sobre la demanda pico de carga D_{tp} en el período crítico del año.

La confiabilidad de la configuración del sistema es evaluado por el WASP en términos de la Probabilidad de Pérdida de

Carga (LOLP). Este índice es calculado en WASP para cada período del año y para cada hidro condición. La LOLP de cada período es determinado como la LOLP para cada hidro condición (en el mismo periodo) pesado por la probabilidad de cada hidrocondición. El promedio de la LOLP del año es la suma de las LOLP de cada período dividido entre el número de períodos considerados para cada año de estudio.

Si $LOLP(K_{t,a})$ y $LOLP(K_{t,i})$ son el anual y de los períodos LOLP's, respectivamente, cada configuración aceptable debe respetar las restricciones siguientes:

$$LOLP(K_{t,a}) \leq C_{t,a} \quad (5)$$

$$LOLP(K_{t,i}) \leq C_{t,p} \quad (\text{para todos los períodos}) \quad (6)$$

donde:

$C_{t,a}$ y $C_{t,p}$ son valores límites dados como entrada por el usuario.

Si un plan de expansión contiene configuraciones del sistema para los cuales la demanda de energía E_t es mayor que la generación anual G_t dada por todas las unidades existentes en el sistema para el año t . Los costos totales del plan deben ser penalizados por la energía no servida.

El costo de la energía no servida es función de cantidad de energía no servida N_t , la cual se calcula como:

$$N_t = E_t - G_t \quad (7)$$

El usuario también impone restricciones como el denominado túnel sobre el vector configuración $[U_t]$ tal que cada configuración aceptable debe obedecer :

$$[U_t^0] \leq [U_t] \leq [U_t^0] + [\Delta U_t] \quad (8)$$

donde :

$[U_t^0]$: es el valor más pequeño permitido por el vector configuración $[U_t]$

$[U_t]$: Vector configuración del sistema

$[\Delta U_t]$: Restricción túnel o ancho de túnel.

La generación por cada planta y para cada período de año es estimado basado en un despacho óptimo permanente, dependiendo de la disponibilidad de las plantas/unidades, requerimientos de mantenimiento, reservas rotantes, emisiones ambientales, uso de combustible, generación de energía y otras

restricciones externas impuestas por el usuario.

El usuario puede imponer restricciones para las emisiones ambientales, uso de combustible y generación de energía para un conjunto de plantas (solo versión WASP-IV) tal como:

$$\sum_{i \in I_j} COEF_{ij} \cdot G_i \leq LIMIT_j$$

$$\text{para } j = 1 \dots M \quad (9)$$

donde:

G_i : es la generación de la planta i

$COEF_{ij}$: es la emisión por unidad o por unidad de combustible utilizado para la planta i en el grupo j

$LIMIT_j$: es el valor límite especificado por el usuario.

Estas restricciones especiales son manejadas solo por la versión de WASP-IV, la cual determina el despacho de las plantas de modo tal que estas restricciones sean respetadas con la producción al mínimo costo.

El problema central es encontrar los valores del vector $[U_t]$ para el período de estudio que satisfaga las expresiones de (1) a (9), para conseguir el mejor plan de expansión dentro de las restricciones dadas por el planeador. El código WASP encuentra este óptimo usando la técnica de programación dinámica, detectando si la solución tiene el ancho de túnel adecuada (restricción de la ecuación 8) mediante mensajes en su salida. Consecuentemente el usuario debe realizar nuevas corridas (iteraciones), relajando o contrayendo el ancho del túnel según indique la salida del WASP, hasta que la solución este libre de mensajes. Este será el "Plan de expansión óptimo" para el sistema.

2.1.1 Cálculo de Costos

Los cálculos de los componentes de costos (Ec.1) es hecho por el WASP para encontrar

- Satisfacer la carga predecida a ser satisfecha.
- Características de plantas térmicas y nucleares.
- Características de las plantas hidroeléctricas.
- Tiempos en los cuales se necesitan las centrales.
- Costo de la energía no servida.

(f) Requerimiento de combustibles.

La carga es modelada por la carga pico y la demanda de energía para cada período (hasta 12) para todos los años (hasta 30) y sus correspondientes curvas de duración invertidas, las curvas de duración son invertidas para su tratamiento mediante series de Fourier.

Las plantas térmicas y nucleares son descritas con sus características principales como:

- Capacidades máximas y mínimas.
- Tasa calórico a mínima capacidad e incremento de la tasa calórica entre la mínima y máxima capacidad.
- Requerimientos de mantenimiento (esquemas de fuera de servicio);
- Probabilidad de falla (tasa de fuera de servicio).
- Tasa de emisiones y uso específico de energía.
- Costo de capital de inversión (Para las candidatas).
- Costo Variable de combustible.
- Costo de inventario de combustible (para candidatas).
- Costos de Operación y mantenimiento Variable y fijo sin combustible
- Vida de la planta (para candidatas).

Los modelos para proyectos de centrales hidroeléctricas son para el tipo de centrales de pasada (borde de río) y centrales con reservorios de regulación diaria (central de pico), semanal, y centrales con regulación estacional.

Elas son definidas mediante la identificación de cada proyecto.

- Capacidades Mínima y máxima.
- Capacidad energética almacenada de los reservorios.
- Energía disponible por período.
- Costo de capital de inversión (para las candidatas).
- Costos de operación y mantenimiento fijo y variable (O & M).
- Vida de la planta (para las candidatas).

Las centrales hidroeléctricas son asumidas a estar 100% disponibles y no tiene costo asociado por agua. La naturaleza aleatoria de la hidrología es tratada por medio de condiciones hidrológicas (hasta 5) cada una definida por su probabilidad de ocurrencia y la correspondiente capacidad energética disponible para cada hidro-proyecto en la hidro-condición dada.

Las plantas con reservorios de bombeo son modeladas especificando:

- Capacidad instalada.
- Eficiencia de ciclo.
- Capacidad de bombeo (para cada período);
- Capacidad de generación (para cada período);
- Máxima cantidad de energía a ser generada para cada periodo.

El costo de energía no servida refleja los daños que causa a la economía del país o región que está bajo el sistema eléctrico interconectado y no recibe la energía eléctrica requerida. Este costo es modelado mediante una función cuadrática que relaciona el incremento de costo de la energía no servida a la suma de la energía no servida.

De acuerdo con lo descrito con respecto a los costos de los componentes de Bj de la ec.1 son calculados como:

Costo de capital de inversión y valores de salvataje

Los costos de inversión y salvataje se calculan con las ecuaciones (10) y (11).

$$\overline{I}_{j,t} = (1+i)^{-t} \times \sum [UI_k \times MW_k] \quad (10)$$

$$\overline{S}_{j,t} = (1+i)^{-T'} \times \sum [\delta_{k,t} \times UI_k \times MW_k] \quad (11)$$

donde:

\sum = suma correspondiente a todas la unidades (térmicas, hidro o reservorio de bombeo) adicionadas en el año t para el plan j

UI_k = Costos de inversión de capital de la unidad k, expresado en unidades monetarias (\$) por MWk.

MW_k = capacidad de la unida k en MW.

$\delta_{k,t}$ = valor de salvataje en el horizonte de vida de la unidad k

i = tas de descuento,

t' = t + t₀ - 1

T' = T + t₀

t₀ = Tiempo referencial para aplicar el descuento.

T = Período del estudio

t = Tiempo en el cual ingresan las centrales.

Costo de Combustibles

Los costos de combustible se calculan con la función (12).

$$\overline{F}_{j,t} = (1+i)^{-t-0.5} \times \sum_{h=1}^{NHYD} [\alpha_h \times \Psi_{j,t,h}] \quad (12)$$

donde:

α_h es la probabilidad de la hidro condición h. $\Psi_{j,t,h}$ el costo total de combustible. (suma de costos de combustible para unidades térmicas y nucleares) para cada hidro-condición, y NHYD representa el número total de hidro-condiciones definidas.

La energía generada por cada unidad en el sistema es calculada por simulación probabilística. En esta simulación las salidas forzadas de unidades térmicas se evalúa con la curva invertida de duración, consecuentemente el efecto de salidas inesperadas de unidades térmicas son otras las unidades consideradas para su sustitución. El efecto neto, es un incremento de unidades pico de generación para la reducción de unidades de base debido al esquema de mantenimiento y fallas. Esto incrementa los costos esperados de generación del sistema.

Si restricciones especiales son impuestas a un conjunto de plantas para una suma máxima de emisiones, uso de combustible o generación de energía, la técnica de programación lineal es usada para determinar una estrategia de despacho óptimo satisfaciendo las restricciones en mención.

Costo de inventario de combustible.

Los costos se determinan mediante la ecuación 13.

$$\overline{L}_{j,t} = \left[(1+i)^{-t} - (1+i)^{-T} \right] \times \sum [UFIC_{kt} \times MW_{kt}] \quad (13)$$

donde:

Suma (\sum), es sobre todas las unidades térmicas Kt adicionadas al sistema, en el año t, y $UFIC_{kt}$ es el costo total unitario de la unidad kt (en unidades monetarias por MW).

Costos de Operación y mantenimiento

Los costos de operación y mantenimiento se determina mediante:

$$\overline{M}_{j,t} = (1+i)^{-t-0.5} \times \sum [ZZ] \quad (14)$$

Donde:

$$ZZ = UFO \& M_l \times MW_l + UVO \& M_l \times G_{l,t}$$

\sum = suma sobre todas las unidades (l) existentes en el sistema en el año t,

OFO&M_l = Costo unitario fijo de operación y mantenimiento de la unidad l, expresado en unidades monetarias por MW-año.

OVO&M_l = Costo unitario variable de operación y mantenimiento (O&M) de la unidad l, expresado en unidades monetarias por kWh.

G_{l,t} = Generación esperada de la unidad l en el año t, en kWh, la cual es calculada como la suma de energía generada por la unidad en cada hidro condición pesado por las probabilidades de las hidro-condiciones.

Costos de Energía no Servida

Los costos de energía no servida se determina mediante:

$$\overline{O}_{j,t} = (1+i)^{-t-0.5} \times \sum_{h=1}^{NHYD} [XX] \times N_{t,h} \times \alpha_h \quad (15)$$

donde:

$$XX = a + \frac{b}{2} \times \left(\frac{N_{t,h}}{EA_t} \right) + \frac{c}{3} \times \left(\frac{N_{t,h}}{EA_t} \right)^2$$

a, b, y c son constantes (\$/kWh) dado como dato de entrada.

N_{t,h} = Energía no servida (kWh) para la hidro-condición h en el año t.

EA_t = Demanda de energía (kWh) del sistema en el año t.

Los componentes de costo de la función objetivo (B_j) son presentados en las expresiones (10) a (15) en una forma simplificada. En realidad, las expresiones mencionadas han sido derivadas considerando cada candidata como una unidad simple, mientras que en WASP-IV la expansión de candidatas son definidas como plantas.

Además el WASP-IV:

- agrega costos de operación por tipo de (combustible) planta;
- separa todos los gastos (capital o operación) en componentes local y extranjero.
- permite escalamiento de todos los costos sobre el período de estudios;
- tiene previsiones para aplicar tasa de descuentos diferentes y tasas de escalamiento para cada año para componentes local y extranjero y cambia las constantes (a,b y c) para evaluar el costo de la energía no servida de año a año.

Es importante notar que los costos de generación de un sistema eléctrico varían de país a país, de región a región etc. Sin embargo se usa terminología y convenciones comunes. Aquí se muestra conceptos básicos y categorías de costos que se usan en el modelo WASP para las centrales eléctricas.

Los costos para las centrales eléctricas se definen en dos tipos:

- Costos de Capital de inversión (Es el capital necesitado para construir la planta expresado en \$/KW).
- Costos de generación de potencia (Es el costo total de generación de electricidad expresado en ¢\$/KWh)

Los costos totales de generación se clasifican en tres categorías mayores.

- a) Costos asociados con el capital de inversión inicial en la planta.
- b) Costos de Combustibles.
- c) Costos de Operación y Mantenimiento.

Así mismo las categorías de costos se separan en dos grupos de costos:

- Fijos
- Variables.

Costos fijos

Son gastos para ítems que son usados durante toda la vida de la planta, como un generador de vapor, un reactor, turbina. Son independientes de la electricidad generada. Incluye: Depreciación, Interés anual del capital de inversión, Retorno de la inversión, Impuestos y seguros, costos de cierre de la planta etc.

Los costos fijos de Operación y mantenimiento incluyen sueldos. Los

costos fijos de combustible incluyen almacenes para combustibles.

Costos variables

Son gastos de bienes y servicios que son utilizados en períodos cortos generalmente en un año o menos.

Los costos variables dependen generalmente de la electricidad generada, por ello se expresa en unidades monetarias por kilovatio-hora generado (\$/KWh). Los costos variables son los que se requieren en operación y mantenimiento y costo del combustible.

Costos de capital de inversión

Están directamente asociados con los componentes de la planta: Generador de vapor, reactor, turbina, componentes eléctricos, terreno, derechos de tierras, materiales especiales.

Costos de operación y mantenimiento

En los costos de Operación y Mantenimiento no están incluidos los costos de combustible. Son costos directos e indirectos. Como Salarios, Supervisiones. Incluye, consumibles, equipos, servicios externos, seguros de vida, capital de trabajo, etc. Los costos de O&M son determinados en función del factor de capacidad promedio.

Los costos de O&M son divididos en Fijos y Variables.

- Los costos fijos (\$/KWh/Año) son determinados sobre la base del tamaño de la planta y son independientes del factor de capacidad.
- Los costos variables (¢\$/KWh) son directamente relacionados con el factor de capacidad (Generación de la planta)

2.2 Análisis de costos al presente (LEVELIZED COST)

Dependiendo de la economía de un país todos los costos especificados como fijos y variables varían durante la vida de la planta, en algunos casos de modo uniforme en otros de modo muy irregular. Los costos de la electricidad generada por la planta también varían de año a año, debido a esquemas de mantenimiento, cambios en los modos de operación etc [11].

El factor de capacidad varía con la vida de operación de la planta, con patrones de consumo de los clientes, lo cual influye en la operación de la Planta. La variación de los costos año a año de una determinada

tecnología con otra lo hace extremadamente difícil la comparación

Conceptos básicos de valor presente

El concepto de valor presente se presenta esquemáticamente en la figura 1. Los costos de generación se incrementan año a año (R_t) en tanto que los costos a valor presente se mantienen constante durante toda la vida de la planta ($\langle R \rangle$).

Es necesario realizar la referencia de costos al valor presente de un modo ficticio (levelized cost) para poder realizar la comparación y optimizar la generación al mínimo costo.

El valor al presente se determina defractando los precios al tiempo $t=0$, cuya formulación matemática se muestra en la ecuación 16.

$$\langle R \rangle = \frac{\sum_{t=1}^N \frac{R_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^N \frac{1}{(1+r)^t}} = CRF(r, N) \sum_{t=1}^N \frac{R_t}{(1+r)^t} \quad (16)$$

donde:

r : Tasa de descuento, inflación, escalonamiento, y otros parámetros económicos.

t : Año considerado.

N : Número de años de vida de la planta.

$$CFR(r, N) = \frac{1}{\sum_{t=1}^N \frac{1}{(1+r)^t}} = \frac{r(1+r)^N}{(1+r)^N - 1}$$

Valor al presente de electricidad generada

El kilo vatio hora (KWh) de electricidad generada (E_t) por una alternativa en el año t es función de capacidad instalada P (KW) y su factor de capacidad (CF_t) en dicho año t .

$$E_t = 8760 * P * CF_t \quad (17)$$

Donde CF_t es definido como la razón de los KWh generados en el año t al número de KWh que debería generar la planta durante las 8760 horas del año.

La generación al valor presente se determina mediante:

$$\langle E \rangle = 8760 * P * CRF(r, N) \sum_{t=1}^N \frac{CF_t}{(1+r)^t} \quad (18)$$

donde:

$$CRF(r, N) = \sum_{t=1}^N \frac{R_t}{(1+r)^t}$$

Recalcando que la determinación del valor presente es para comparar costos de las diferentes alternativas (Plantas) que se considera en un sistema eléctrico de generación.

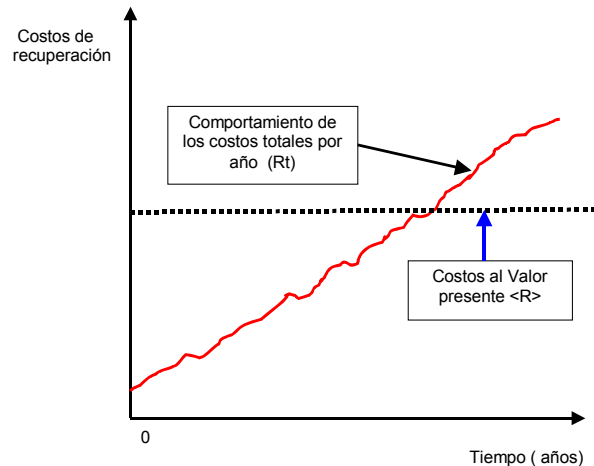


Figura 1. Costos variables y al valor presente.

2.3 Centrales hidroeléctricas

Las centrales hidroeléctricas utilizan la energía potencial del agua entre la diferencia de caída de dos puntos a diferentes alturas; comúnmente llamado "altura de caída". El diseño de las centrales hidroeléctricas se basa fundamentalmente en la altura de caída de agua (m) y el caudal (m^3/s) disponible [11].

En función de la altura de la caída de agua y la regulación del caudal se distinguen las centrales hidroeléctricas:

- Centrales a borde de río con pequeños reservorios y volúmenes de regulación.
- Centrales con grandes reservorios para regulación de caudal de ingreso a la central.
- Centrales de Bombeo, disponen de bombas para retornar el caudal al reservorio arriba en horarios de poca demanda de electricidad. La finalidad es utilizar el caudal en horas de gran demanda de electricidad.

La potencia disponible de hidroenergía para las centrales hidroeléctricas se basa en dos parámetros importantes:

- Caudal, tasa de flujo de masa o descarga de agua Q (m^3/s)

- Altura de la caída de agua H(m)

De modo algebraico la potencia teórica disponible se calcula mediante:

$$P = \rho * g * Q * H \quad (19)$$

g : aceleración de la gravedad (m/s²)

ρ : Densidad del agua (Kg/m³)

Para la potencia real es necesario conocer la altura efectiva de la caída de agua. La altura efectiva se obtiene corrigiendo la altura de caída de agua, considerando las pérdidas en el sistema de canalización como: fricción en el canal, entrada a la tubería, en la tubería, en la turbina etc.

$$H_N = H \left(1 - \frac{h_l}{H}\right) \quad (20)$$

Donde:

h_l representa el total de las pérdidas (m)

$$\eta_h = \left(1 - \frac{h_l}{H}\right) : \text{eficiencia hidráulica}$$

Entonces :

$$P = \rho * g * Q * H_N \quad (21)$$

Considerando valores típicos de las eficiencias de la central:

$\eta_g = 0.95$ eficiencia eléctrica del generador

$\eta_m = 0.98$ eficiencia mecánica de la turbina

$\eta_h = 0.90$ eficiencia hidráulica

Un valor aproximado de la eficiencia total es :

$$\eta_T = \eta_g * \eta_m * \eta_h = 0.83$$

La Potencia real se obtiene con: $P = \eta_T * \rho * g * Q * H$

$$P = 0.83 * 9.8 \text{ (m/s}^2\text{)} * 1000 \text{ (Kg/m}^3\text{)} * Q \text{ (m}^3\text{/s)} * H \text{ (m)}$$

$$P = 8.134 * Q * H \quad (\text{KW})$$

La energía generada se obtiene mediante :

$$E = P \text{ (KW)} * 1s. = P \text{ (KW)} \frac{1h}{3600} =$$

$$8.1340 * Q \text{ (m}^3\text{/s)} * H \text{ (m)} \frac{1h}{3600}$$

$$\text{Entonces : } E = \frac{Q \text{ (m}^3\text{/s)} * H \text{ (m)}}{443} \text{ (KWh)}$$

Un caudal de 443 m³/s para 1m de caída neta produce 1KWh, o una caída neta de 450 m de 1m³/s produce 1 KWh

La energía almacenada en un reservorio es:

$$E = \frac{V \text{ (m}^3\text{)} * H \text{ (m)}}{443} 10^3 \text{ (GWh)}$$

V : dado en millones de m³.

Significa, si se tiene 443 millones de m³ con una caída de 1m se tiene una energía de 1 GWh

En definitiva la energía hidráulica depende del caudal natural, el volumen almacenado en un reservorio, el caudal que se extrae del reservorio y la caída neta que tiene para la potencia hidráulica.

Energía extraída de un reservorio

La energía extraída de un reservorio, significa cuanto volumen de agua puede ser utilizada, en que tiempo o que fracción se extrae diariamente, semanalmente, o estacionalmente.

Bajo las condiciones anteriores las Centrales Hidroeléctricas se tipifican como:
C.H. de regulación diaria
C.H. de regulación semanal
C.H. de regulación estacional
C.H. a borde de río (Sin regulación)

Las Centrales Hidroeléctricas con regulación se califican de modo general como:

- Si el re-llenado del reservorio es mayor a tres días se considera regulación estacional

RE-LLENDO > 3 DIAS : Regulación estacional

- Si el re-llenado del reservorio es mayor a un día y menor o igual a tres días. La regulación es semanal

1 DIA < RE-LLENADO ≤ 3 DIAS : Regulación Semanal

- Si el reservorio es re-llenado en menos de 24 horas se considera regulación diaria.

RE-LLENDO < 24 HORAS : Regulación diaria

- Es considerada a borde de río si operando a plena potencia el reservorio es vaciado en menos de 2 horas

En la figura 2 se muestra una Central Hidroeléctrica típica con caudal regulable, con las cotas de nivel Mínimo, Medio y Máximo. El caudal almacenado está sujeto a regulación, así como el caudal de ingreso a la central también es regulado.

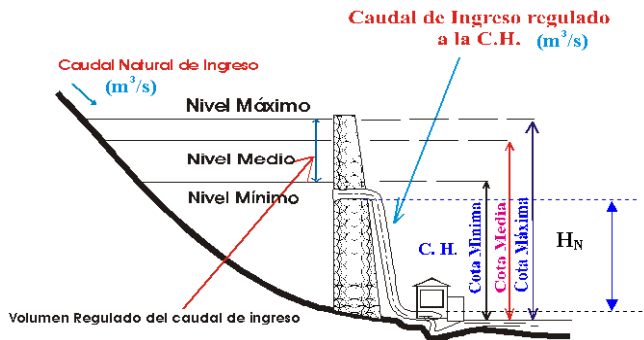


Figura 2. Central hidroeléctrica típica de caudal regulado.

Curvas de evaluación rápida “ Screening curves”

Las curvas de evaluación rápida “sreening curves” consiste en un adecuado método para una rápida estimación de tecnologías más económicas, expresa el costo total de la producción de energía, incluyendo el costo de capital de inversión y los costos de operación como función del factor de capacidad [11].

El costo total representado por una “Screening Curve” se expresa mediante:

$$\text{COSTO TOTAL} = (\text{Costos fijos anualizados}) + \text{Gastos variables} * \text{FC (Horas/año)}$$

donde:

FC : Factor de Capacidad de la Unidad

En la figura 3 se muestra una “screening curve” típica para una central térmica, la que representa los costos totales del kilovatio anual versus el factor de capacidad (FC).

En la figura 4 se muestra la importancia que tienen los costos en función del factor de capacidad, para diferentes tecnologías, cuando están sujetas bajo una curva de duración. Se observa que la central térmica a gas es mucho más económica para las horas de demanda pico, en tanto que una central a carbón es para un factor de carga intermedio y la central nuclear es interesante económicamente para carga

base por cuanto la generación con dicha central es mucho más barato que las otras dos opciones para un factor de carga arriba de los 5° %.

En consecuencia, existe una relación directa entre las curvas de evaluación rápida y la curva de duración de un sistema eléctrico interconectado, lo cual permite optimizar el sistema con las centrales más económicas y luego adicionar otra más caras, o que tienen otras ventajas como menos contaminantes etc.

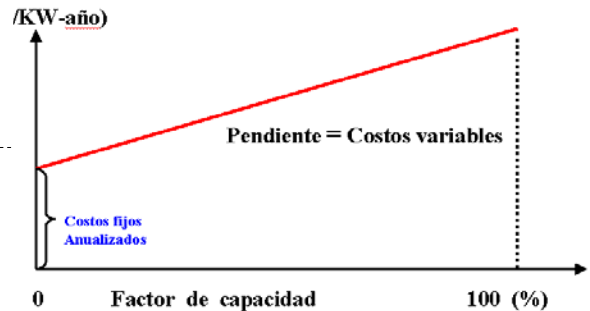


Figura 3. Típica “screening curve”.

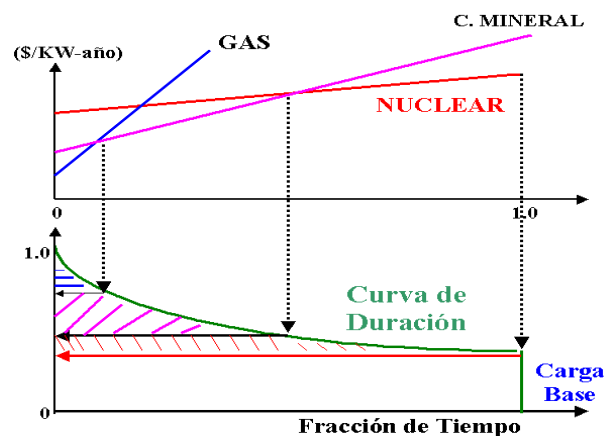


Figura 4. Costos en función al factor carga para diferentes tecnologías.

3. Conclusiones

Se ha presentado los aspectos teóricos más importantes del planeamiento eléctrico, basado en la filosofía que considera el modelo computacional WASP. Se ha analizado la optimización en base a una función objetivo que representa los costos de inversión, costos de operación y mantenimiento, los costos de combustible, costos de inventarios de combustible, costos de salvataje y energía no servida.

Se ha expuesto la teoría básica para la estimación de generación de electricidad mediante la hidroenergía en situaciones a borde de río y con reservorios regulables.

Se ha detallado los costos al valor presente que permiten en planeamiento, comparar ventajas y desventajas de las diversas tecnologías.

En planeamiento la visualización rápida de selección de proyectos para evitar procesos laboriosos de optimización es importante por lo cual se ha detallado el método de "Screening Curves".

REFERENCIAS

- [1] OAK Ridge National Laboratory. Wien Automatic System Planning Package (WASP): An Electric Expansion Utility Optimal Generation Expansion Planning Computer Code, Rep. ORNL-4925 (1974).
- [2] International Atomic Energy Agency. Market Survey for Nuclear Power in Developing Countries: General report, IAEA , Vienna (1973).
- [3] Covarrubias, A.J., Heinrich, P. Molina, P.E. "Development of the WASP-III at the International Atomic Energy Agency", in Proc. Conf. Electric Generation System Expansion Analysis (WASP Conf.), Ohio State University, Columbus (1981).
- [4] International Atomic Energy Agency. VALORAGUA - A Model for the Optimal Operating Strategy of Mixed Hydrothermal Generating Systems, Users' Manual for the Mainframe Computer Version, IAEA Computer Manual Series No. 4, Vienna (1992).
- [6] International Atomic Energy Agency. WASP-III Version for IBM-PC (ADB Version), IAEA Internal Document, Vienna (1987).
- [7] International Atomic Energy Agency. MAED-1 Version for IBM-PC, IAEA Internal Document, Vienna (1988).
- [8] Argonne National Laboratory. Energy and Power Evaluation Program (ENPEP), Documentation and User's Manual, ANL/EES-TM-317, Argonne (1987).
- [9] International Atomic Energy Agency. PC-VALORAGUA Users' Guide - Microcomputer Version of the VALORAGUA Program for the Optimal Operating Strategy of Mixed Hydrothermal Generating Systems, IAEA Computer Manual Series No. 5, Vienna (1992).
- [10] International Atomic Energy Agency. Electricity and the Environment, Proc. Int. Symp. (Helsinki, 13-17 May 1991), IAEA Proceedings Series, STI/PUB/877, Vienna (1991).
- [11] Avila J, Curso demostrativo I del modelo WASP. Lima, 2004. Perú.

Exploraciones de uranio en el Perú

Jacinto Valencia⁽¹⁾ Jvalencia@ipen.gob.pe

(1) Dirección General de Protección Radiológica, Dirección de Aplicaciones, Av. Canadá
1470, Lima 41, Perú

Resumen

El presente informe sintetiza los trabajos desarrollados para la prospección y exploración de uranio realizados en el país por el Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN).

1. Introducción

Los estudios de investigación uranífera iniciales estuvieron orientados hacia las manifestaciones de tipo filoniano y posteriormente, por la aparición de nuevas teorías sobre el origen y formación del uranio, hizo que este concepto quede sin mayores perspectivas (1) y es a partir de 1977, con los conceptos de depósitos sedimentarios, tipo “rolls” o peneconcordantes, que el Perú entra en una nueva etapa en la sistemática de la prospección, en el concepto de “fuente de aporte y roca receptora”. Se contó con la asistencia del OIEA (PER/76/002, PER/81/004 y PER/3/012), sin descuidar las investigaciones de minas polimetálicas en busca de minerales uraníferos en nuevas labores y en las ya existentes; así se analizó y desarrolló las posibilidades de recuperación de uranio asociado a otros minerales, esto conllevó a la investigación a escala de laboratorio, de parámetros para el proceso de recuperación de uranio, condiciones que permitan visualizar las diferentes etapas del proyecto.

Paralelamente al proceso de prospección y evaluación de recursos uraníferos se realizaron estudios y experiencias que permitieron prever las etapas del proceso metalúrgico de los minerales radiactivos y estudiar la factibilidad de la explotación del primer yacimiento uranífero del país.

2. Contenido

Las actividades de prospección de uranio en el Perú se inician en los años '50, con la Junta de Control de Energía Atómica (JCEA), se impulsó la exploración de sustancias radiactivas, así como los estudios para el desarrollo y establecimiento de centrales nucleares; estos trabajos estuvieron

orientados a la revisión y posible existencia de uranio asociado a depósitos filonianos.

El IPEN con una nueva concepción en la metodología de la prospección de uranio, efectuó la delimitación de los ambientes geológico-uraníferos regionales, así se determinaron 07 ambientes geológico-uraníferos y 32 unidades de prospección, de las que se priorizaron dos unidades, la Unidad V-1 (Departamento de Puno) y la Unidad VI-4 (Oxapampa), para finalmente concentrar los esfuerzos en la Unidad V-1 donde como resultado, se descubrió el Distrito Uranífero de Macusani, que permitió evaluar recursos de uranio en el orden de 3,396 T.M de U_3O_8 .

Prospección de Uranio en el Perú

La prospección uranífera en el país fue efectuada basándose en la selección de áreas favorables en el ámbito nacional, en consideración de los índices de favorabilidad geológico-uranífera, con la concepción de un nuevo modelo metalogenético de ocurrencia de uranio, determinándose que 376,450 km² de terrenos geológicos son de primera prioridad, es decir con probabilidades de albergar depósitos de uranio. Durante esta etapa se aplicaron diversos métodos de prospección.

Los trabajos e investigaciones uraníferas realizados a partir de 1975 (2), permitieron delimitar 07 ambientes geológicos divididos en 32 unidades de prospección, cubriéndose casi toda la superficie del territorio nacional, que de acuerdo a la prioridad de hallar depósitos de uranio en las áreas más favorables, se conoce:

- 1° En Junín y Pasco: San Ramón, Satipo y Oxapampa.

- 2° En Ayacucho: Cangallo, Villa azul y Querobamba.
- 3° En Puno: Macusani, Coasa, Picotani y Crucero. Lampa Lagunillas, Río Blanco, Muñani y Sauri.

A partir de estas unidades, se seleccionan dos unidades de primera prioridad; (V-1, Puno y VI-4, Oxapampa), unidades consideradas como modelo por sus características fisiográficas (geografía, topografía, clima, etc.) Figura 1.

En 1980, se toma la determinación de concentrar todos los esfuerzos en realizar la prospección en la Unidad V-1, departamento de Puno, en los volcánicos terciarios de la Formación Quenamari (Macusani, Crucero y Picotani) donde se descubre el Distrito Uranífero de Macusani (1,000 km²). La prospección regional permitió ubicar 66 indicios y 43 anomalías (Figura 2), donde se efectuaron los estudios sistemáticos, resultando el sector de "Chapi" el prospecto más expectante conocido a la fecha junto a los indicios de Chilcuno, Tukurumani, Cerro Calvario, Cerro Concharrumio, estos últimos en el borde oriental del Distrito Uranífero de Macusani.

Prospecto Chapi. Basándose en las características de yacencia de la mineralización, y los limitados trabajos de exploración efectuados, se han identificado 3,396 T.M. de Uranio evaluados de acuerdo a las categorías siguientes:

- Recursos Razonablemente Asegurados (RRA), 1,672 T.M. de U
- Recursos Adicionales Estimados Categoría-I (RAE-I) 1724 T.M. de U

En el país existen importantes áreas geológicas favorables para la exploración uranífera, algunas ponen en evidencia depósitos uraníferos y otras áreas que requieren mayores estudios de detalle a corto plazo. Pero el poco interés que había en el pasado de parte de los inversionistas mineros en uranio restringió el desarrollo de la explotación.

Finalmente, hay que indicar que la producción mundial de uranio hasta el año 2002 se mantuvo estable en 36 mil toneladas anuales lo que ha cubierto el 54 % de la demanda (3); Australia y el Canadá produjeron aproximadamente el 50 % de esta producción.

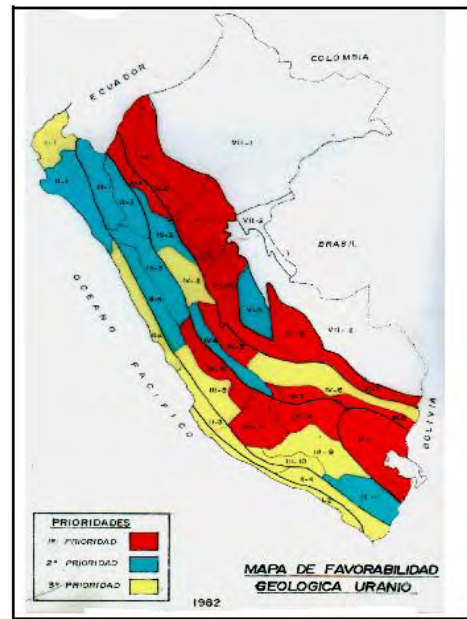


Figura 1. Mapa del Perú con los ambientes geológicos uraníferos.



Figura 2. Prospecto Chapi.

Referencias

- 1) GABELMAN, J. BEARD; Uranio en el Perú. Boletín de la JCEA 11(56) Lima, (1966).
- 2) IPEN; Informes internos de la DMP años 1977-1992.
- 3) FORO NUCLEAR: Foro de la Industria Nuclear Española, Nov. (2004).

Training on radiological protection in Peru

Eduardo Medina⁽¹⁾ medina@ipen.gob.pe

(1) *Instituto Peruano de Energía Nuclear. Centro Superior de Estudios Nucleares*

Abstract

Since it was created in 1972, the Superior Center of Nuclear Studies (CSEN) of the Peruvian Institute of Nuclear Energy (IPEN), has carried out different training courses on radiological protection so that people can work safely with ionizing radiations in medicine, industry and investigation. These courses are a must since national regulations demand that people working with ionizing radiations have an authorization, which is granted by the Technical Office of the National Authority from IPEN after the candidate demonstrates that he or she knows the specific use of the technique using radiations, as well as all aspects related to safety and radiological protection. The programs of the courses have been improving during the last 31 years for the CSEN and it has allowed the training of 2932 people in the country. The content of the courses is aimed at specific work with radiations (diagnostic radiology, dental radiology, nuclear medicine, radiotherapy, industrial radiography, nuclear gauges, gamma irradiator, etc.) and fulfill the regulatory requirements. The Peruvian Radioprotection Society trained 1200 people since 1988 and the Universities have different programs on radiological protection for the students of Medical Technology.

IPEN

The Peruvian Institute of Nuclear Energy created in 1975, has as one of his principal functions planning and to execute actions of training, developing and coordinating programs of specialization and improving in the nuclear field, and in addition, in the regulatory aspect, it emits regulations on Radiological Protection and controls his fulfillment at national level.

From its creation the Superior Center of Nuclear Studies is the main center of diffusion and training in the country in the nuclear topics and especially in radiological protection.

The CSEN has developed numerous academic activities emphasizing the Masters with Universities: Nuclear Energy (6), Medical Physics (4), Nuclear Physics (1) and Nuclear Chemistry (1). Besides the CSEN organized 2 courses of post grade in nuclear medicine and numerous courses on uses of the radiations and courses for teachers of school.

COURSES

RADIOLOGICAL PROTECTION

STAGES

Stage I: 1972 - 1980

Courses of variable duration for personnel of the IPEN. Foreign teachers.

8 courses and 143 trained persons.

Stage II: 1981 - 1989

The IPEN approves the Regulations of Radiological Protection where there is mentioned the need to possess individual license in some facilities.

Initially the courses are for all the uses of the radiations and later they are courses for medical use and for industrial use.

24 courses and 443 trained persons.

Stage III: 1990 - 1997

In 1989 the Regulation of Radiological Protection is approved by means of a Supreme Decree. It is obligatory to possess individual license in all the practices. In this stage the courses are more specific. The persons who approve the examination of the course can obtain the individual license.

17 courses and 354 trained persons.

Stage IV: 1998 - 2003

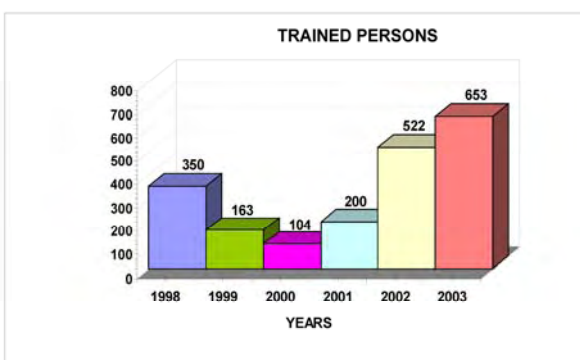
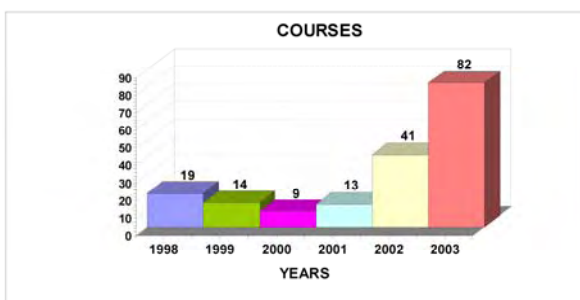
It begins with the validity of the Regulation of Radiological Safety approved by means of Supreme Decree.

The courses are organized by the CSEN and the examination is taken by the technical Office of the National Authority of the IPEN. The courses have different duration in accordance with the practice.

In addition, courses of update are dictated from 2002.

178 courses and 1992 trained persons.

STAGES	COURSES	TRAINED PERSONS
1972 - 1980	8	143
1981 - 1989	24	443
1990 - 1997	17	354
YEARS	COURSES	TRAINED PERSONS
1998	19	350
1999	14	163
2000	9	104
2001	13	200
2002	41	522
2003	82	653



Interaction of radiation with matter. Photoelectric effect, Compton scattering, Pair production. Radioactive sources. X ray production.

Applications of ionizing radiation in medicine, industry, and investigation.

Quantities and units. Dosimetric quantities: Exposure, Kerma, Absorbed dose, linear energy transfer and lineal energy. Radiation protection quantities: Equivalent dose and Effective dose. Detectors.

Biological effects of ionizing radiation.

Principles of radiation protection. Justification of a practice, Optimization of protection, Individual dose limits. Potential exposures. System of protection for intervention.

Safety culture. Protection against occupational exposure. Methods of protection and the safe use of radiation sources. Protection against contamination. Safety and security of sources. Emergency procedures. Individual and workplace monitoring. Health surveillance.

Classification of areas. Individual monitoring.

Regulatory Control. The Regulatory Authority. Organization and responsibilities. System of notification, registration, licensing and control of radiation sources.

Responsibilities of licensees. Inspection. National regulations. Sanctions.

According to the practice it gets up the following topics about radiation protection and safety in:

- Industrial radiography
- Industrial irradiators and accelerators
- Nucleonic gauges
- Radiotracers
- Well logging
- Radiotherapy (Brachtherapy and Teletherapy)
- Diagnostic Radiology
- Dental Radiology
- Nuclear Medicine

In addition, medical exposures in diagnostic radiology, radiotherapy and nuclear medicine and technical visit to facilities.

TOPICS

Introduction to atomic structure. Nomenclature, Isotopes, Radioactivity and Radionuclides.

Disintegration alpha, beta, gamma. Activity, law of radioactive decay, half-life.

Second professional specialization on radiological protection in Peru

Eduardo Medina⁽¹⁾ medina@ipen.gob.pe

(1) *Instituto Peruano de Energía Nuclear. Centro Superior de Estudios Nucleares*

Abstract

Considering that professionals with studies, training and experience in Radiological Protection as a Second Professional Specialization must be recognized, the Peruvian Institute of Nuclear Energy (IPEN), which is the institution responsible for the promotion and control of ionizing radiations in the country, has sign a specific agreement with the National University of Engineering, in order to develop these courses. They are based on the content of the Post Graduate Course on Radiological Protection and Nuclear Safety of the University of Buenos Aires, in Argentina, where more than 360 people from 27 different countries have been trained in the last 20 years. People who have a professional degree in Sciences or Engineering, and who fulfill the requirements demanded by the University, study this Second Professional Specialization in Radiological Protection. The duration is two academic semester. The professional title is obtained after sustaining a work of investigation before a jury. IPEN has taken the responsibility to carry out these studies due to its experience in the organization, together with different Universities, of six Masters in Nuclear Energy, four Masters in Medical Physics, one Master in Nuclear Physics, one Master in Nuclear Chemistry, and two Specializations in Nuclear Medicine. For this purpose, IPEN has the Superior Center of Nuclear Studies (CSEN), which has trained more than 2900 people in radiological protection in more than 31 years. CSEN is the first center in the country to train people in the area of nuclear energy and radiological protection. It has the best staff of professors with a both a great education and professional experience, as well as laboratories and equipment in its facilities.

IPEN

The Peruvian Institute of Nuclear Energy created in 1975, has as one of his principal functions planning and to execute actions of training, developing and coordinating programs of specialization and improving in the nuclear field, and in addition, in the regulatory aspect, it emits regulations on Radiological Protection and controls his fulfillment at national level.

From its creation the Superior Center of Nuclear Studies is the main center of diffusion and training in the country in the nuclear topics and especially in radiological protection.

The CSEN has developed numerous academic activities emphasizing the Masters with Universities: Nuclear Energy (6), Medical Physics (4), Nuclear Physics (1) and Nuclear

Chemistry (1). Besides the CSEN organized 2 courses of post grade in Nuclear Medicine and numerous courses on uses of the radiations and courses for teachers of school.

OBJECTIVES

It is hoped to cover the increasing demand of professionals with integral formation in the subject that the country requires. This necessity is particularly well-known due to the remarkable increase of radioactive and x-ray facilities whose massive and imprudent use can represent a risk for the health of the users of these technologies.

One of the objectives of this Second Specialization is the formation of human resources that can guarantee the safety and radiological protection in these facilities.

Another one of the objectives is to form specialist able to design, to develop and to lead programs of radiological protection in

order to respond to the regulatory exigencies.

The professionals will be able to act the advising as. They could be in capacity to assume responsibilities like experts and to be in charge of the evaluations and audits of the Regulatory Authority.

Also they can participate in the training of the workers.

REGIME OF STUDIES

There is permanent evaluation and the classes are theoretical and practical. Visits to medical, industrial and of investigation facilities are included.

The attendance to the courses is obligatory.

The qualification is vigesimal, in whole numbers. The approving minimum note is of 11.0 points, in each course including the practical work.

Each course can only be repeated once. The student, who disapproves the same course for the second time, will be automatically outside the program.

There is co validation of courses (33%) for the withdrawn ones of the course of Postgraduate of Argentina.

OBTAINING OF THE TITLE

In order to obtain the Title of the Second Professional Specialization in Radiological Protection, it is required:

- To have professional title in a university.
- To have concluded satisfactorily the curriculum.
- To have obtained a weighed average smaller of 14 in 33 credits approved.
- Not to have more than two years in the program, calculated from the date of admission.
- To have made the Final Practical Work. The work will have satisfactorily to be sustained before a jury named by the Faculty of Sciences of the University.

The Title will be granted to name of the Nation by the National University of Engineering.

COURSES

First Semester:

Basic Science (Mathematics, Chemistry and Physics)

Nuclear Physics

Use of the radiations

Biological effects of ionizing radiations

Radiation Detection and Measurement

Second Semester:

Principles of Radiation Protection

Technological aspects of radiation protection

Operational aspects of radiation protection

Radiation protection in uses specific

Regulatory aspects

Practical Work

The Final Practical Work will have to correspond to a project of professional interest and the present time technical-scientist according to the objectives of the program.

Hours of classes: 462 (33 credits)

ACADEMIC CALENDAR 2004

Inscription: March, 22 - 26

Examination of evaluation: March, 29

Results of the examination: March, 30

Interview: March, 31

Matriculation (first semester): April, 1 -7

Beginning of classes (first semester): April, 12

Matriculation (second semester): August, 9 - 13

Beginning of classes (second semester): August, 16

ANEXOS

A. Publicaciones en Revistas Internacionales Indexadas	220
B. Publicaciones en Revistas Nacionales	220
C. Otras Publicaciones	220
D. Presentación de Trabajos y Disertación en Congresos, Seminarios, Simposios y Talleres	221
D.1 Internacionales	221
D.2 Nacionales	222
E. Cursos, Seminarios, Talleres Organizados por el IPEN	223
E.1 Cursos, Seminarios y Talleres Libres	223
E.2 Cursos de Postgrado	232
• Maestría en Física Médica	232
• Segunda Especialización Profesional en Protección Radiológica	232
F. Conferencias Organizadas por el IPEN	233
F.1 Conferencias Dictadas en el Centro Superior de Estudios Nucleares (CSEN) del IPEN: Jueves Científicos	233
F.2 Conferencias Dictadas en el Centro Nuclear RACSO: Miércoles Científicos	235
F.3 Otras Conferencias	236
G. Disertaciones del Personal en Conferencias y Charlas Organizadas por otras Instituciones	236
H. Becarios	238
I. Proyectos	242
I.1 Financiamiento Internacional	242
I.2 Financiamiento Nacional	243
I.3 Proyectos OIEA-IPEN (Bienio 2003-2004)	243
J. Proyectos ARCAL (Acuerdo Regional para la Cooperación en América Latina) Bienio 2003-2004	243
K. Ejecución de Contratos de Investigación con el OIEA	244
L. Tesis	244
LL. Visitas de Expertos y otras Personalidades	245
LL.1 Misiones de Expertos Internacionales	245
LL.2 Misiones de Expertos Institucionales: Ámbito Nacional	247
M. Difusión Científica en los Medios de Comunicación	247

ANEXO

AÑO 2004

A. PUBLICACIONES EN REVISTAS INTERNACIONALES INDEXADAS

Prado Figueroa, M.; Santiago, J.
Intracellular Localization of a Long Alkyl Chain Tetraphenylporphyrin and Chloride Channel Activation in *Psammobatis Extenta* Electrocytes.
Photochem. Photobiol. Sc. 3 (2004) p. 33-35.

Colina, R.; Casane, D.; Vásquez, S.; García-Aguirre, L.; Chunga, A.; Romero, H.; Khan, B.; Cristina, J.
Evidence of Intratypic Recombination in Natural Populations of Hepatitis C Virus.
J. General Virology 85 (2004) p. 31-37.

Solís, J.L.; Rodríguez, J.; Estrada, W.
Highly Porous Thin Films Obtained by Spray-Gel Technique.
Phys. Stat. Solid (A), 201 (2004) p. 2370-2374.

Iunes, P.J.; Hadler, J.C.; Bigazzi, G.; Guedes, S.; Zuñiga G.A.; Paulo, S.R.; Tello S.C.
Uranium and Thorium Thin Film Calibrations by Particle Track Techniques.
J. Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 262(2) (2004) p. 461-468.

Rojas, J.; Manrique, E.; Frants, I.
Simulación Monte Carlo de las Formaciones de Clusters en las Aleaciones Binarias Modelo de Tipo FCC.
Internet Electron. J. Nanocs. Moletron. 2004, 2 (2) p. 291-301

Orellana, P.; Estrella, O.; Soroa, V.; Bernal P.; Fraxeda, R.; García, E.; Touya, E.; Morales, R.; Barragán, *et al.*
Centellografía Renal Estática.
Alasbimn Journal 23 (2004). Disponible en: http://www2.alasbimnjournal.cl/alasbimn/CD/A/sec_b/0,1206,SCID%253D6269,00.html

Orellana, P.; Bernal, P.; Estrella, O.; Fraxeda, R.; García, E.; Soroa, V.; Barragán, F.; Touya, E.; Morales, R.; Yarovi, M.; Lago, G.; Cerquera, A.; Sixt, R.; Hilson, A.; Britton, K.; Padhy, A.

Cistografía Isotópica.

Alasbimn Journal 23 (2004) Disponible en: http://www2.alasbimnjournal.cl/alasbimn/CD/A/sec_b/0,1206,SCID%253D6294,00.html

B. PUBLICACIONES EN REVISTAS NACIONALES

Aguilar, C.; Mendoza, G.; Cano, R.; Saavedra, P.; Huerta, J.; Cedrón, H.; Piscocoya, A.; Pinto, J.; Bussalleu, A.; Cok, J.
Estudio Preliminar de la Prueba de la Ureasa o Test de Aliento (TA) y Correlación con Biopsia Gástrica para la Detección de *Helicobacter Pylori* (HP) en la Pacientes Dispépticos del Hospital Nacional Cayetano Heredia (HNCH) Lima.
Revista de Gastroenterología del Perú 24 (2004) p. 376.

C. OTRAS PUBLICACIONES

Mendoza, G.; Cano, R.; Morales, R.; Muñoz, L.; Saavedra, P.; Aguilar, C.
Correlation Between PSA, Bone Scan and Gleason Score in Patients with Prostate Cancer.
Journal of Nuclear Medicine 3 suppl.1 (2004) S108.

Morales, R.; Santos, C.; Aguilar, C.; Cano, R.; Saavedra, P.
Intra-operative Lymphatic Mapping with Dextran Tc-99m and Blue Dye for Sentinel Node Detection in Patients with Primary Vulvar Malignancies.
Journal of Nuclear Medicine 3 suppl. 1 (2004) S109.

Saavedra, P.; Cano, R.; Morales, R.; Muñoz, L.; Aguilar, C.; Postigo, J.

Ablation with Iodine-131 in Thirteen Children and Adolescents with Differentiated Cancer Thyroid.

Journal of Nuclear Medicine 3 suppl. 1 (2004) S109.

Morales, R.; Santos, C.; Aguilar, C.; Cano, R.; Saavedra, P.

Intra-operative Lymphatic Mapping with Tc-99m Dextran and Blue Dye for Sentinel Node Detection in Patients with Primary Cervical Malignancies.

Journal of Nuclear Medicine 3 suppl.1 (2004) S110.

Sebastian, C.; Manghella, G.; Mamani, E.; Berne, P.; Brisset, P.; Leclerc, J.

Overview of radiotracer experiments for better understanding of wastewater and water treatment plants in Lima. En: Proceedings of Tracer 3. International Conference on Tracers and Tracing Methods, Ciechocinek, Poland. 22-24.06.2004. p.107-112.

D. PRESENTACION DE TRABAJOS Y DISERTACIÓN EN CONGRESOS, SEMINARIOS, SIMPOSIOS Y TALLERES

D.1 Internacionales

Rojas M., R.

Agua Subterráneas en Situación de Emergencia.

UNESCO, Francia 09.02.2004

Medina G., E.

Training on Radiological Protection in Peru. En: 11th International Congress of the International Radiation Protection Association (IRPA 11), Madrid, España. 23-28.05.2004

Medina G., E.

Second Professional Specialization on Radiological Protection in Peru. En: 11th International Congress of the International Radiation Protection Association (IRPA 11), Madrid, España. 23-28.05.2004

Medina G., E.

Maestría en Física Médica en el Perú. En: III Iberian Latin American and Caribbean Regional Congress of Medical Physics, Río de Janeiro, Brasil. 26-29.09.2004

Osores, J.; Gonzales, S.; Mendoza, P.; Lopez, E.; Martinez, J.; Jara, R.

Study of Antarctic Lichens as Environmental Biomonitors in the Admiralty Bay: Preliminary study of Al, As, Cu, Fe, Mn and Ti and their Possible Impact in the Region. En: XXVIII SCAR Open Science Conference, Bremen, Germany. 26-28.07.2004

Osores, J.; Gonzales, S.; Lopez, E.; Martinez, J.; Jara, R.

Natural and Artificial Radionuclides in Antarctic Biological and Geological Samples from King George Island. En: XXVIII SCAR Open Science Conference, Bremen, Germany. 26-28.07.2004

Rodríguez, J.; Solís, J.; Gómez, M.; Estrada, W.

Surface Morphology Engineering Of Metal-Oxide Films by Chemical Spray Pyrolysis. En: IBEROMET VIII Congreso Iberoamericano de Metalurgia y Materiales, Quito, Ecuador, 24-28.05.2004

Rojas, J.

Simulación Montecarlo de la Formación de Agregados Atómicos y Procesos de Difusión en las Aleaciones Modelo tipo FCC. En: IBEROMET VIII Congreso Iberoamericano de Metalurgia y Materiales, Quito, Ecuador. 24-28.05.2004

Rojas, J.

Transformaciones de Fases en Materiales y Simulación Computacional. En: IBEROMET VIII Congreso Iberoamericano de Metalurgia y Materiales, Quito, Ecuador. 24-28.05.2004

Carpio, E.; Zúñiga, P.; Ponce, S.; Solís, J.; Rodríguez, J.; Estrada, W.

Photocatalytic Degradation of Phenol Using TiO₂ Nanocrystals Supported on Activated Carbon. San Luis III, Mérida, Venezuela. 15-19.03.2004

Rodríguez, J.; Díaz, J.; Ponce, S.; Solís, J.; Estrada, W.

Solar Photocatalytic Degradation of Phenol Using Pyrolytic TiO₂ Deposited Inside a Tubing. XII International Symposium Solar Power and Chemical Energy Systems (Solar Paces), Oaxaca, Mexico. 6-8-10.2004

Solís, J.; Rodríguez, J.; Estrada, W.

Highly Porous Tungsten-Oxide-Based

Films Obtained by Spray-Gel for Gas Sensing Applications. IBERSENSOR Congreso Iberoamericano de Sensores, Puebla, México. 27-29.10.2004

Quintana, M.; Rodríguez, J.; Solís, J.; Estrada, W.

Etanol to Water Influence in the Morphology and Photoactivity of Pyrolytic ZnO Films. En VII Encuentro Latinoamericano de Fotoquímica y Fotobiología (ELAFOT2004), La Plata, Argentina. 08-12.11.2004

Rodríguez, J.

Tecnologías Económicas para la Descontaminación de Agua en Zonas Rurales: Experiencia Peruana. En: Encuentro sobre uso y Resultados de la Aplicación de las Tecnologías Económicas para la Purificación de Aguas en América Latina, Buenos Aires, Argentina. 08-09.11.2004

Jorge, C.; Ponce, S.; Rodríguez, J.; Solís, J.; Estrada, W.

Remoción de Arsénico del Agua Utilizando Irradiación Solar: Dos Formas de Colocar el Hierro y el Citrato. En: Encuentro sobre Uso y Resultados de la Aplicación de las Tecnologías Económicas para la Purificación de Aguas en América Latina, Buenos Aires, Argentina. 08-09.11.2004

Carpio, E.; López, R.; Zúñiga, P.; Maurtua, D.; Ponce, S.; Solís, J.; Rodríguez, J.; Estrada, W.

Oxido de Titanio Nanocristalino Soportado sobre Carbón Activado para la Descontaminación y Desinfección Solar de Agua. En: Encuentro sobre Uso y Resultados de la Aplicación de las Tecnologías Económicas para la Purificación de Aguas en América Latina, Buenos Aires, Argentina. 08-09.11.2004

Espinoza, J.

IX European Multicollloquium of Parasitology, Madrid, España, 18-07 – 09.08.2004

D.2 Nacionales

Solís, J.

SnO₂ Nanoestructurado Obtenido por el Proceso Spray-Gel. En: XI Encuentro Científico Internacional de Verano, ECI 2004-v Lima, Perú. 02-05.01.2004

Cano, R.

Medicina Nuclear y Ganglio Centinela. En: Taller de Ganglio Centinela, Congreso de la Sociedad de Mastología, Lima, Perú. 25.04.2004

Morales, R.

Ganglio Centinela y Roll. En: Taller de Ganglio Centinela, Congreso de la Sociedad de Mastología, Lima, Perú. 25.04.2004

Rodríguez, J.

Tecnologías Económicas para la Descontaminación de Agua en Zonas Rurales. En: Seminario Internacional sobre Energía Solar, Medio Ambiente y Desarrollo, Cusco, Perú. 26-27.04.2004

Solís, J.

Prototipo de una Nariz Electrónica para Piscos. En: III Encuentro Científico Internacional de Invierno, ECI 2004-i Lima, Perú. 30.07-02.08.2004

Montoya, Modesto

Servicios Tecnológicos que los Institutos de Ciencia y Tecnología brindan al Desarrollo del Perú. En: III Encuentro Científico Internacional de Invierno, ECI 2004-i Lima, Perú. 30.07-02.08.2004

Santiago, J.

Preparación de Quitosano con Radiación Gamma. En: III Encuentro Científico Internacional de Invierno, ECI 2004-i, Lima Perú. 30.07-02.08.2004

Rojas, J.

Métodos de Simulación de Procesos Físicos. En: III Escuela Andina de Física, ESAFI 2004, Lima, Perú. 09-20.08.2004

Damián, A.; Alarcón, H.; Gorestein, A.; Estrada, W.

Estudio de Películas Delgadas V₂O₅ Dopadas con Boro como Cátodo para ser Usadas como Baterías de Litio. En: XXII Congreso Peruano de Química, Lima, Perú. 13-16.10.2004

Díaz, J.; Rodríguez, J.; Solís, J.; Estrada, W.
Películas de TiO₂ Fabricadas por Spray-Gel en Tubos de Vidrio para la Descontaminación Solar de Fenol. En: III Conferencia Peruana de Materiales, Arequipa, Perú. 27-29.10.2004

Zúñiga, P.; Rodríguez, J.; Solís, J.; Estrada, W.
Pastillas de Oxido de Titanio Nanocristalino Soportado sobre Carbón Activado y Silicona para la Descontaminación Solar de Agua. En: III Conferencia Peruana de Materiales, Arequipa, Perú. 27-29.10.2004

Rodríguez, J.; Solís, J.; Estrada, W.; Quintana, M.
Películas de ZnO Fabricadas por Rociado Pirolítico para su Aplicación en Fotocatálisis: Influencia de los Solventes Etanol y Agua. En: III Conferencia Peruana de Materiales, Arequipa, Perú. 27-29.10.2004

Santiago, J.
Preparación de Carboximetilquitosano. En: III Encuentro Científico Internacional de Invierno, ECI 2004-i Lima, Perú. 30.07-02.08.2004

Vargas, J.
Irradiación de Mangos. II Festival Internacional del Mango y Limón Piura, Perú. 12.11.2004

E. CURSOS, SEMINARIOS, TALLERES ORGANIZADOS POR EL IPEN

E.1 Cursos, Seminarios, Talleres Libres

Actualización en Medicina Nuclear (Curso Internacional)
Fecha : 05-09.01.2004
Lugar : Lima
Profesores : González, P. (Chile); Baum, R. (Alemania)
Participantes : 57

Biología Molecular (Curso Internacional)
Fecha : 05-09.01.2004
Profesores : Bustamante, C.; Kirchhausen, T.; Becerra, A.; Milla, M.; Málaga, E.

Participantes : 82

Ciencia de los Materiales (Curso Internacional)

Fecha : 06-10.01.2004
Lugar : Lima
Profesores : De Novion, C.; Spooner, S.; Fernández, J.; Chakoumakos, B.
Participantes : 42

Taller Nacional de Ganglio Centinela y Cirugía Radioguiada en el Manejo del Cáncer de Mama, Melanoma y Neoplasias Ginecológicas

Fecha : 26-30.01.2004
Lugar : Lima
Profesores : Roca, I. (España); Hoefnagel, C. (Holanda); Aizen, B. (Uruguay); Morales, R.; Santos, C.; Abugattás, J.; Velarde, R.; Velarde, C.
Participantes : 80

Redes, Recursos y Seguridad

Fecha : 13-20.12.2003
10-17.01.2004
Lugar : Lima (UNFV)
Profesor : Risco, M.
Participantes : 10

Protección Radiológica en Radiología Dental

Fecha : 17,24.01.2004
Lugar : Lima
Profesores : Defilippi, L.; Ticllacuri, M.
Participantes : 06

Protección Radiológica en Radiodiagnóstico Médico

Fecha : 19-24.01.2004
Lugar : Lima
Profesores : Anchante, H.; Ticllacuri, M.
Participantes : 08

Actualización sobre Protección Radiológica en Radiodiagnóstico Médico

Fecha : 31.01.2004
Lugar : Lima
Profesor : Munive, M.
Participantes : 19

Física Nuclear para Docentes (Básico)

Fecha : 26.01-02.02.2004
Lugar : Lima
Profesores : Munive, M.; Ravello, Y.; Ticllacuri, M.; Medina F., E.; Rodríguez, G.
Participantes : 33

Seguridad Radiológica en el Uso de Medidores Nucleares (Densímetros)

Fecha : 13-14.02.2004
Lugar : Toquepala, Moquegua
Profesor : Medina, E.
Participantes : 10

Seguridad Radiológica en el Uso de Rx para Análisis Químico

Fecha : 13-14.02.2004
Lugar : Toquepala, Moquegua
Profesor : Medina, E.
Participantes : 10

Radiobiología para Profesores (Básico)

Fecha : 09,16.02.2004
Lugar : Lima
Profesor : Espinoza, M.
Participantes : 45

Protección Radiológica en Radiodiagnóstico Médico

Fecha : 16,21.02.2004
Lugar : Lima
Profesores : Anchante, H.; Medina, E.
Participantes : 11

Protección Radiológica en Radiología Dental

Fecha : 21,28.02.2004
Lugar : Lima
Profesores : Defillippi, L.; Medina, E.
Participantes : 05

Actualización sobre Seguridad Radiológica en el Uso de Medidores Nucleares

Fecha : 28.02.2004
Lugar : Lima
Profesor : Ticllacuri, M.
Participantes : 02

Seguridad Radiológica en Gammagrafía Industrial

Fecha : 02-06.03.2004
Lugar : Lima
Profesores : Ticllacuri, M.; Medina, E.
Participantes : 09

Seguridad Radiológica en el Uso de Medidores Nucleares (Densímetros)

Fecha : 09-12.03.2004
Lugar : Lima
Profesores : Munive, M.; Ticllacuri, M.
Participantes : 09

Tecnología de Irradiación de Alimentos

Fecha : 10-12.03.2004
Lugar : Lima
Profesores : Linares, M.; Vargas, J.
Participantes : 15

Protección Radiológica para la Supervisión y Uso de Equipos de Rayos -X para el Control de Paquetes

Fecha : 10-13.03.2004
Lugar : Lima
Profesores : Aguirre, J.; Ticllacuri, M.
Participantes : 14

Actualización sobre Protección Radiológica en Radiodiagnóstico Médico

Fecha : 13.03.2004
Lugar : Lima
Profesor : Defillippi, L.
Participantes : 07

Protección Radiológica en Radiodiagnóstico Médico

Fecha : 13-14.03.2004
Lugar : Arequipa
Profesor : Munive, M.
Participantes : 08

Mantenimiento de Equipos de Rayos-X y Protección Radiológica

Fecha : 15-19.03.2004
Lugar : Lima
Profesores : Ticllacuri, M.; Florián, C.; Rojas, E.; Valdivia, E.; Páez, J.; Vizcardo, C.
Participantes : 13

Protección Radiológica en Radiodiagnóstico Médico

Fecha : 15-20.03.2004
Lugar : Lima
Profesores : Anchante, H.; Medina, E.
Participantes : 06

Curso Tópicos de Biología Molecular: Fundamentos de Cristalografía

Fecha : 17.03.2004
Lugar : Lima (CN-RACSO)
Profesor : Rodríguez, J.
Participantes : 14

Protección Radiológica en Radiología Dental

Fecha : 20,27.03.2004
Lugar : Lima
Profesores : Aguirre, J.; Medina, E.
Participantes : 14

Radiografía Industrial (Nivel I)

Fecha : 22-31.03.2004
Lugar : Lima
Profesores : Visurraga, R.; Medina, E.
Participantes : 15

Curso Tópicos de Biología Molecular: Estructura del ADN

Fecha : 24.03.2004
Lugar : Lima (CN-RACSO)
Profesor : Montoya, Y.
Participantes : 14

**Actualización sobre Seguridad
Radiológica en el Uso de Medidores
Nucleares (Densímetros)**

Fecha : 27.03.2004
Lugar : Lima
Profesor : Ticllacuri, M.
Participantes : 11

**Actualización sobre Protección
Radiológica en Radiodiagnóstico Médico**

Fecha : 27.03.2004
Lugar : Cuajone
Profesor : Munive, M.
Participantes : 09

**Actualización sobre Protección
Radiológica en la Planta de Producción
de Radioisótopos**

Fecha : 19-26.03 02.04.2004
Lugar : Lima, C.N. RACSO
Profesores : Benavente, T.; Rojas, E.;
Celedonio, E.; Corahua, A.; Regalado, S.;
Espinoza, M.
Participantes : 17

**Curso Tópicos de Biología Molecular:
Estructura del ARN**

Fecha : 31.03.2004
Lugar : Lima (CN-RACSO)
Profesor : Montoya, Y.
Participantes : 14

**Actualización sobre Protección
Radiológica en la Dirección de
Aplicaciones**

Fecha : 05,13,16.04.2004
Lugar : Lima (CN-RACSO)
Profesores : Rojas, E.; Osoro, J.;
Villanueva, J.; Corahua, A.; Regalado, S.
Participantes : 09

**Curso Tópicos de Biología Molecular:
Cromatina y Estructura de los
Cromosomas**

Fecha : 07.04.2004
Lugar : Lima (CN-RACSO)
Profesor : Espinoza, J.
Participantes : 14

**Seguridad y Protección Radiológica en el
Uso de Fuentes Radiactivas Abiertas**

Fecha : 12-15.04.2004
Lugar : Lima
Profesores : Aguirre, J.; Medina, E.
Participantes : 09

**Curso Tópicos de Biología Molecular:
Trascrición en Procariontes**

Fecha : 07.04.2004
Lugar : Lima (CN-RACSO)
Profesor : Espinoza, J.
Participantes : 14

**Actualización sobre Seguridad
Radiológica en Gammagrafía Industrial**

Fecha : 17.04.2004
Lugar : Lima
Profesor : Medina, E.
Participantes : 03

**Actualización sobre Protección
Radiológica en Radiodiagnóstico Médico**

Fecha : 17.04.2004
Lugar : Lima
Profesor : Munive, M.
Participantes : 05

**Protección Radiológica en Radiología
Dental**

Fecha : 17-24.04.2004
Lugar : Lima
Profesor : Aguirre, J.
Participantes : 07

**Protección Radiológica en
Radiodiagnóstico Médico**

Fecha : 21-23.04.2004
Lugar : Nazca, Ica
Profesor : Ticllacuri, M.
Participantes : 08

**Protección Radiológica en
Radiodiagnóstico Médico**

Fecha : 19-24.04.2004
Lugar : Lima
Profesores : Munive, M.; Medina, E.;
Anchante, H.
Participantes : 15

**Actualización sobre Seguridad
Radiológica en el Uso de Medidores
Nucleares (Densímetros)**

Fecha : 26.04.2004
Lugar : Lima
Profesor : Medina, E.
Participantes : 01

**Internet Aplicado al Trabajo Científico y
Tecnológico**

Fecha : 26-30.04.2004
Lugar : Lima
Profesor : Ticona, R.
Participantes : 06

**Introducción a los Ensayos No
Destructivos**

Fecha : 26,28,30.04.2004
Lugar : Lima
Profesor : Visurraga, R.
Participantes : 12

Protección Radiológica en Radiodiagnóstico Médico

Fecha : 08,15,22.05.2004
Lugar : Lima (Hospital Central de la FAP)
Profesores : Munive, M.; Ticllacuri, M.
Participantes : 27

Seguridad Radiológica en el Uso de Medidores Nucleares (Densímetros)

Fecha : 10-13.05.2004
Lugar : Lima
Profesores : Aguirre, J.; Munive, M.; Ticllacuri, M.; Medina, E.
Participantes : 05

Curso Tópicos de Biología Molecular: Aminoácidos

Fecha : 12.05.2004
Lugar : Lima (CN-RACSO)
Profesor : Espinoza, J.
Participantes : 14

Actualización sobre Protección Radiológica en Radiodiagnóstico Médico

Fecha : 15.05.2004
Lugar : Lima
Profesor : Ticllacuri, M.
Participantes : 05

Actualización sobre Seguridad Radiológica en Radioterapia

Fecha : 15.05.2004
Lugar : Lima
Profesor : Aguirre, J.
Participantes : 02

Protección Radiológica en Radiodiagnóstico Médico

Fecha : 17-22.05.2004
Lugar : Lima
Profesores : Anchante, H.; Ticllacuri, M.
Participantes : 18

Curso Tópicos de Biología Molecular: Estructura Supersecundaria de las Proteínas

Fecha : 09.05.2004
Lugar : Lima (CN-RACSO)
Profesor : Espinoza, J.
Participantes : 14

Actualización sobre Seguridad Radiológica en el Uso de Medidores

Nucleares (Densímetros)

Fecha : 22.05.2004
Lugar : Lima
Profesor : Ticllacuri, M.
Participantes : 03

Protección Radiológica en Radiología Dental

Fecha : 22-29.05.2004
Lugar : Lima
Profesor : Aguirre, J.
Participantes : 12

Protección Radiológica para Supervisión de Equipos de Rx para Control de Paquetes

Fecha : 31.05 - 01-02.06.2004
Lugar : Callao, Lima
Profesor : Ticllacuri, M.
Participantes : 32

Radiografía Industrial (Nivel II)

Fecha : 25.05-05.06.2004
Lugar : Lima
Profesor : Visurraga, R.
Participantes : 16

Curso Tópicos de Biología Molecular: Familia de Genes

Fecha : 09.06.2004
Lugar : Lima (CN-RACSO)
Profesor : Montoya, Y.
Participantes : 14

Actualización sobre Protección Radiológica en Radiodiagnóstico Médico

Fecha : 12.06.2004
Lugar : Lima
Profesor : Munive, M.
Participantes : 16

Actualización sobre Seguridad Radiológica en Medicina Nuclear

Fecha : 12.06.2004
Lugar : Lima
Profesor : Defillipi, L.
Participantes : 07

Protección Radiológica en Radiodiagnóstico Médico

Fecha : 14-19.06.2004
Lugar : Lima
Profesor : Anchante, H.
Participantes : 23

Seminario Gestión de la Calidad en Banco de Tejidos

Fecha : 24.06.2004
Lugar : Lima
Profesores : Santibáñez, R.; Castro, E.

Participantes : 12

Protección Radiológica en Radiología Dental

Fecha : 19,26.06.2004
Lugar : Lima
Profesores : Aguirre, J.; Medina, E.
Participantes : 09

Actualización Seguridad Radiológica en el Uso de Medidores Nucleares (Densímetros)

Fecha : 26.06.2004
Lugar : Ilo, Moquegua
Profesor : Ticllacuri, M.
Participantes : 22

Ultrasonido (Nivel I)

Fecha : 28.06-08.07.2004
Lugar : Lima
Profesores : Villacorta, H.;
Visurraga, R.
Participantes : 17

Radiación y Banco de Tejidos

Fecha : 01.07.2004
Lugar : Lima
Profesores : Pérez, N.; Vidal, R.;
Dulanto, V.; Bolgiani, A.; Fajardo, C.; Berrios,
C.; Chunga, A.; Palti, M.; Castro, E.;
Camacho, M.
Participantes : 23

Actualización sobre Protección Radiológica en Gammagrafía Industrial

Fecha : 07.07.2004
Lugar : Lima
Profesor : Medina, E.
Participantes : 07

Seguridad Radiológica en Fluorescencia de Rayos-X

Fecha : 09-10.07.2004
Lugar : Pisco, Ica
Profesor : Ticllacuri, M.
Participantes : 05

Energía Nuclear y Protección Radiológica (Básico)

Fecha : 06-12.07.2004
Lugar : Lima (CN-RACSO)
Profesores : Zúñiga, A.; Ávila, J.;
Herrera, J.; Aguirre, A.; Espinoza, M.;
Rodríguez, G.; Munive, M.; Medina, E.
Participantes : 11

Actualización sobre Protección Radiológica en Radiodiagnóstico Médico

Fecha : 10.07.2004
Lugar : Lima

Profesor : Munive, M.
Participantes : 06

Seguridad Radiológica en el Uso de Medidores Nucleares (Densímetros)

Fecha : 12-15.07.2004
Lugar : Lima
Profesores : Aguirre, J.; Medina, E.
Participantes : 12

Curso Tópicos de Biología Molecular: Satélites, Minisatélites y Microsatélites

Fecha : 14.07.2004
Lugar : Lima (CN-RACSO)
Profesor : Montoya, Y.
Participantes : 14

Protección Radiológica en Radiología Dental

Fecha : 17,24.07.2004
Lugar : Lima
Profesores : Aguirre, J.; Medina, E.
Participantes : 03

Protección Radiológica en Radiodiagnóstico Médico

Fecha : 19-24.07.2004
Lugar : Lima
Profesores : Anchante, H.; Medina, E.
Participantes : 16

Foro Tecnologías Atómicas para Mejorar la Productividad de la Industria Nacional

Fecha : 22.07.2004
Lugar : Lima
Profesores : Sebastián, C.; Condori, J.;
Valencia, J.; Rojas, R.; Del Valle, C.;
Montoya, I.
Participantes : 101

Actualización sobre Protección Radiológica en Gammagrafía Industrial

Fecha : 23.07.2004
Lugar : Lima
Profesor : Medina, E.
Participantes : 07

Seguridad Radiológica en el Uso de Medidores Nucleares (Densímetros)

Fecha : 23-24.07.2004
Lugar : Lima
Profesores : Ticllacuri, M.; Medina, E.
Participantes : 05

Actualización sobre Seguridad Radiológica en el Uso de Medidores Nucleares (Densímetros)

Fecha : 24.07.2004
Lugar : Lima
Profesor : Ticllacuri, M.

Participantes : 03

Actualización en Medicina Nuclear

Fecha : 30.07.2004

Lugar : Lima

Profesores : Cano, R.; Saavedra, P.;

Aguilar, C.; Velásquez, M.

Participantes : 10

Seminario Tecnología Nuclear Aplicada a las Ciencias de la Salud

Fecha : 31.07.2004

Lugar : Lima

Profesores : Velásquez, M.; Carrión, J.;

Saavedra, P.; Aguilar, C.

Participantes : 04

Protección Radiológica (Básico)

Fecha : 31.07.2004

Lugar : Lima

Profesores : Mallaupoma, M.;

Rodríguez, G.

Participantes : 05

Utilización de los Reactores Nucleares

Fecha : 01.08.2004

Lugar : Lima

Profesor : Zúñiga, A.

Participantes : 10

Biominería: Aplicación de Técnicas Moleculares y Nucleares (Curso Internacional)

Fecha : 30-31.07 - 01.08.2004

Lugar : Lima

Profesores : Bauer, J.; Espinoza, J.;

Montoya, Y.; Rojas, R.; Bedregal, P.; Falck,

E.; Johnson, B.; Guibal, E.; Hallberg, K.;

Ly, M.

Participantes : 82

Actualización sobre Seguridad Radiológica en el Uso de Fuentes Radiactivas en la Industria - Irradiadores y Gammagrafía Industrial (Curso Internacional)

Fecha : 07.08.2004

Lugar : Lima

Profesores : Ticllacuri, M.; Menossi, C.

Participantes : 05

II Seminario - Taller para Docentes en Protección Radiológica

Fecha : 11.08.2004

Lugar : Lima

Profesor : Menossi, C.

Participantes : 26

Procesamiento de Señales e Imágenes con Matlab (Curso Internacional)

Fecha : 11-13.08.2004

Lugar : Lima

Profesor : Coronel, V.

Participantes : 18

Actualización sobre Protección Radiológica en Radiodiagnóstico Médico

Fecha : 14.08.2004

Lugar : Lima

Profesor : Munive, M.

Participantes : 02

Protección Radiológica en Radiología Dental

Fecha : 14-21.08.2004

Lugar : Lima

Profesor : Aguirre, J.; Medina, E.

Participantes : 06

Protección Radiológica en Radiodiagnóstico Médico

Fecha : 16-21.08.2004

Lugar : Lima

Profesor : Anchante, H.; Medina, E.

Participantes : 09

Protección Radiológica en Fluorescencia y Difracción de Rayos-X

Fecha : 20-21.08.2004

Lugar : Cerro Verde, Arequipa

Profesor : Ticllacuri, M.

Participantes : 04

Protección Radiológica en Radiodiagnóstico Médico

Fecha : 21-23.08.2004

Lugar : Arequipa

Profesor : Ticllacuri, M.

Participantes : 47

Actualización sobre Protección Radiológica en Radiodiagnóstico Médico

Fecha : 23.08.2004

Lugar : Arequipa

Profesor : Ticllacuri, M.

Participantes : 13

Transporte de Material Radiactivo

Fecha : 23.08.2004o

Lugar : Lima

Profesor : Rodríguez, G.

Participantes : 05

Protección Radiológica en Radiodiagnóstico Médico

Fecha : 7,14,21,26.08.2004

Lugar : Lima

Profesores : Defillipi, L.; Medina, E.

Participantes : 08

Evaluación de la Exposición Ocupacional debido a la Incorporación de Radionucleídos

Fecha : 23-27.08.2004
Lugar : Lima
Profesor : Rodríguez, D.
Participantes : 21

Seguridad Radiológica en el Uso de Medidores Nucleares (Densímetros)

Fecha : 27-29.08.2004
Lugar : Rioja, San Martín
Profesor : Medina, e.
Participantes : 10

Protección Radiológica (Básico)

Fecha : 31.08.2004
Lugar : Lima
Profesor : Rodríguez, G.
Participantes : 20

Taller Enfoque sobre Gestión Tecnológica y del Conocimiento para Mejorar el Rendimiento Institucional

Fecha : 31.08-02.09.2004
Lugar : Lima
Profesor : Neira, M.
Participantes : 54

Actualización sobre Seguridad Radiológica en Irradiadores Gamma

Fecha : 03.09.2004
Lugar : Lima
Profesor : Medina, G.
Participantes : 01

Actualización sobre Seguridad Radiológica en el Uso de Medidores Nucleares (Densímetros)

Fecha : 04.09.2004
Lugar : Lima
Profesor : Rodríguez, G.
Participantes : 02

Ultrasonido (Nivel II)

Fecha : 23.08-08.09.2004
Lugar : Lima
Profesor : Villacorta, H.
Participantes : 12

Seguridad Radiológica en el Uso de Medidores Nucleares (Densímetros)

Fecha : 06-09.09.2004
Lugar : Lima
Profesores : Munive, M.; Medina, E.
Participantes : 06

Actualización sobre Protección Radiológica en Radioterapia

Fecha : 11 de Septiembre

Lugar : Arequipa
Profesor : Rojas, E.
Participantes : 03

Actualización sobre Protección Radiológica en Radiodiagnóstico Médico

Fecha : 15.09.2004
Lugar : Callao, Lima
Profesor : Ticllacuri, M.
Participantes : 13

Datación por el Método de Carbono-14

Fecha : 6,8,10,13,15,17.09.2004
Lugar : Lima
Profesores : Figini, A.; Rodríguez, D.; Olivera, P.
Participantes : 11

Protección Radiológica en Radiología Dental

Fecha : 11,18.09.2004
Lugar : Lima
Profesores : Aguirre, J.; Medina, E.
Participantes : 04

Protección Radiológica en Radiodiagnóstico Médico

Fecha : 13-18.09.2004
Lugar : Lima
Profesores : Anchante, H.; Medina, E.
Participantes : 22

Protección Radiológica en Radiodiagnóstico Médico

Fecha : 23-24.09.2004
Lugar : Chimbote, Ancash
Profesor : Ticllacuri, M.
Participantes : 31

Actualización sobre Protección Radiológica en Radiodiagnóstico Médico

Fecha : 25.09.2004
Lugar : Lima
Profesor : Munive, M.
Participantes : 06

Seguridad Radiológica en Medicina Nuclear

Fecha : 20-25.09.2004
Lugar : Lima
Profesores : Defilippi, L.; Medina, E.
Participantes : 13

Protección Radiológica (Básico)

Fecha : 29-30.09-01.10.2004
Lugar : Lima
Profesores : Mallaupoma, M.; Medina F., E.; Ramírez, R.; Villanueva, J.; Constantini, O.

Participantes : 86

Método de Conservación Mediante Irradiación Gamma

Fecha : 20-29.09-01.10.2004
Lugar : Lima
Profesor : Ramíere, R.
Participantes : 24

Seguridad Radiológica en Gammagrafía Industrial

Fecha : 27-30.09-01.10.2004
Lugar : Lima
Profesores : Rodríguez, G.; Medina, E.
Participantes : 10

Protección Radiológica y Atención de Emergencias Radiológicas (Básico)

Fecha : 02.10.2004
Lugar : Lima
Profesores : Ramírez, R.;
Rodríguez, G.
Participantes : 60

Actualización sobre Seguridad Radiológica en Gammagrafía Industrial

Fecha : 05.10.2004
Lugar : Lima
Profesor : Rodríguez, G.
Participantes : 06

Internet Aplicado al Trabajo Científico y Tecnológico

Fecha : 11-15.10.2004
Lugar : Lima
Profesores : Ticona, R.
Participantes : 19

Seminario-Taller para Exposiciones Educativas: Energía Nuclear

Fecha : 14-15.10.2004
Lugar : Lima
Profesores : Romani, J.; Vivanco, M.;
Sebastián, C.; Aguilar, C.
Participantes : 3

Protección Radiológica para Supervisión de Equipos de Rayos-X para Control de Paquetes

Fecha : 16.10.2004
Lugar : Lima
Profesores : Aguirre, J.; Medina, E.
Participantes : 10

Protección Radiológica en Radiología Dental

Fecha : 16-23.10.2004
Lugar : Lima
Profesor : Munive, M.
Participantes : 15

Protección Radiológica en Radiodiagnóstico Médico

Fecha : 18-23.10.2004
Lugar : Lima
Profesores : Anchante, H.; Medina, E.
Participantes : 31

Actualización sobre Protección Radiológica en Medicina Nuclear

Fecha : 23.10.2004
Lugar : Lima
Profesor : Defilippi, L.
Participantes : 04

Actualización sobre Protección Radiológica en Radiodiagnóstico Médico

Fecha : 30.10.2004
Lugar : Lima
Profesor : Munive, M.
Participantes : 11

Actualización sobre Protección Radiológica en Radiodiagnóstico Médico

Fecha : 30.10.2004
Lugar : Lima
Profesor : Defilippi, L.
Participantes : 16

Seguridad Radiológica en el Uso de Medidores Nucleares (Densímetros)

Fecha : 02-05.11.2004
Lugar : Lima
Profesores : Ticllacuri, M.; Medina, E.
Participantes : 10

Optimización del Uso de Internet como Herramienta de Productividad

Fecha : 04-05.11.2004
Lugar : Lima
Profesor : Ticona, R.
Participantes : 10

Actualización sobre Seguridad Radiológica en el Uso de Medidores Nucleares (Densímetros)

Fecha : 06.11.2004
Lugar : Lima
Profesor : Rodríguez, G.
Participantes : 12

Actualización sobre Seguridad Radiológica en Radioterapia

Fecha : 06.11.2004
Lugar : Lima
Profesor : Aguirre, J.
Participantes : 03

Inspección de Soldaduras

Fecha : 25.10-08.11.2004
Lugar : Lima

Profesor : Villacorta, H.
Participantes : 38

Optimización del Uso de Internet como Herramienta de Productividad

Fecha : 11.11.2004
Lugar : Lima (CN-RACSO)
Profesor : Ticona, R.
Participantes : 32

XX Seminario sobre Aplicaciones Nucleares "50 años de Radioisótopos en el Perú"

Fecha : 09-11.11.2004
Lugar : Lima (MEN)
Profesores : Seminario, C.; Amiel, J.; Villanueva, H.; Pretell, J.; Pinillos, L.; Huapaya, D.; Vásquez, S.; Castro, M.; Del Valle, C.; Sebastián, C.; Robles, A.; Cano, R.
Participantes : 51

Seguridad Radiológica en Braquiterapia y Teleterapia

Fecha : 17,24.07-07,14,21,28.08-04,11.09-02.10-13.11.2004
Lugar : Lima (INEN)
Profesores : Olortegui, J.; Figueroa, N.; Márquez, F.; Osos, J.; Amico, H.; Izaguirre, C.; Aguirre, J.; García, B.; Tillacuri, M.; Medina, E.
Participantes : 51

Protección Radiológica en Radiodiagnóstico Médico

Fecha : 16-19.11.2004
Lugar : Puente Piedra, Lima
Profesor : Defilippi, L.; Rojas, E.; Osos, J.; Caledonio, E.; Huamanlazo, P.
Participantes : 09

Seminario Rol de la Telemedicina en el Sector Salud

Fecha : 19.11.2004
Lugar : Lima
Profesores : Velásquez, M.; Díaz, D.; Valdivia, P.
Participantes : 15

Diseño y Cálculo de Blindajes para Ambientes de Radiodiagnóstico

Fecha : 19-20.11.2004
Lugar : Lima
Profesor : Defilippi, L.
Participantes : 06

Actualización sobre Seguridad Radiológica en Teleterapia y Braquiterapia

Fecha : 20.11.2004

Lugar : Lima (INEN)
Profesores : Aguirre, J.; Olortegui, J.; Figueroa, N.
Participantes : 07

Protección Radiológica para Supervisión y Usos de Equipos de Rayos-X para Inspección

Fecha : 20.11.2004
Lugar : Lima
Profesores : Aguirre, J.; Medina, E.
Participantes : 04

Seguridad Radiológica en el Uso de Medidores Nucleares (Densímetros)

Fecha : 22-23.11.2004
Lugar : Juliaca, Puno
Profesor : Tillacuri, M.
Participantes : 09

Análisis Estadístico Multivariado y Formulación de Proyectos

Fecha : 5,17,19,22,24,26.11.2004
Lugar : Lima
Profesor : Bishop, R.
Participantes : 30

Actualización sobre Protección Radiológica en Radiodiagnóstico Médico

Fecha : 27.11.2004
Lugar : Lima
Profesor : Munive, M.
Participantes : 05

Protección Radiológica para Supervisión de Equipos de Rayos-X para Control de Paquetes

Fecha : 26,27,29.11.2004
Lugar : Callao, Lima
Profesor : Tillacuri, M.
Participantes : 16

Taller sobre Buenas Prácticas de Manufactura en la Industria Farmacéutica (BPMIF)

Fecha : 23,29.09-01,05,22,26,29.10-05,16,19,23,26.11-02.12.2004
Lugar : Lima (CN-RACSO)
Profesor : Alcalá, M.
Participantes : 33

Planeamiento Energético con el Modelo WASP (Demostrativo I)

Fecha : 26,27.11-03,04.12.2004
Lugar : Lima
Profesores : Ávila, J.; Sausa, A.; Rimali, E.; Olazábal, J.; Cárdenas, I.
Participantes : 39

Protección Radiológica y Control de Calidad en Radiología Dental

Fecha : 29.11-03.12.2004
Lugar : Lima
Profesor : Mateos, J.
Participantes : 17

Protección Radiológica en Radiología Dental

Fecha : 27.11-04.12.2004
Lugar : Lima
Profesores : Defilippi, L.; Medina, E.
Participantes : 26

Protección Radiológica en Radiodiagnóstico Médico

Fecha : 29.11-04.12.2004
Lugar : Lima
Profesores : Anchante, H.; Medina, E.
Participantes : 51

Actualización sobre Seguridad Radiológica en Radiografía y Gammagrafía Industrial

Fecha : 04.12.2004
Lugar : Lima
Profesor : Medina, E.
Participantes : 06

Actualización sobre Seguridad Radiológica en Medicina Nuclear

Fecha : 06-07.12.2004
Lugar : Lima
Profesor : Defilippi, L.
Participantes : 04

E.2. Cursos de Postgrado**MAESTRIA EN FÍSICA MÉDICA****Curso de Protección Radiológica**

Fecha : 27.09.2003-03.2004
Profesor : Mallaupoma, M.
Participantes : 11

Curso Dosimetría de Radiaciones

Fecha : 23.09.2003-02.2004
Profesor : Montoya, M.
Participantes : 11

Curso Física de Radioterapia

Fecha : 24.09.-2003-02.2004
Profesor : Picón, C.
Participantes : 11

Curso Física de Medicina Nuclear

Fecha : 13.05-20.09.2004
Profesor : Velásquez, M.
Participantes : 11

Curso Procesamiento Digital de Imágenes

Fecha : 19-31.07.2004
Profesor : Coronel, V.
Participantes : 11

Curso Física Atómica y Nuclear

Fecha : 11-12.2004
Profesor : Modesto Montoya
Participantes : 10

SEGUNDA ESPECIALIZACIÓN PROFESIONAL EN PROTECCIÓN RADIOLOGICA**Curso de Ciencias Básicas**

Fecha : 12.04-04.05.2004
Profesores : Gabriel, E.; Gutarra, A.; Jara, F.
Participantes : 11

Curso Física Nuclear

Fecha : 06.05-24.07.2004
Profesor : Sánchez, H.
Participantes : 11

Curso Efectos Biológicos de las Radiaciones

Fecha : 03.05-21.07.2004
Profesor : Osoro, J.
Participantes : 11

Curso Detección y Medida de la Radiación

Fecha : 05.05-14.07.2004
Profesor : Medina F., E.; Baltuano, O.; Olivera, P.; Benavente, T.; Rodríguez, D.; Amico, H.
Participantes : 11

Curso Uso de las Radiaciones

Fecha : 04.05-26.07.2004
Profesor : Carrillo, D.; Visurraga, R.; Sebastián, C.; Aliaga, E.; Linares, M.; Miranda, J.
Participantes : 11

Curso Fundamentos de Protección Radiológica

Fecha : 02-13.08.2004
Profesor : Menossi, C.
Participantes : 11

Curso Aspectos Operacionales de la Protección Radiológica

Fecha : 06.09-22.11.2004
Profesor : Regalado, S.
Participantes : 11

Curso Aspectos Tecnológicos de la Protección Radiológica

Fecha : 11.09.2004-24.01.2005
Profesor : Mallaupoma, M.
Participantes : 11

Curso Protección Radiológica en Usos Específicos

Fecha : 05.11-10.12.2004
Profesor : García, B.; Aguirre, J.
Participantes : 11

Curso sobre Aspectos Regulatorios

Fecha : 29.10-10.12.2004
Profesor : Regalado, S.
Participantes : 11

F. CONFERENCIAS ORGANIZADAS POR EL IPEN

F.1 Conferencias Dictadas en el Centro Superior de Estudios Nucleares (CSEN) del IPEN: Jueves Científicos

El Papel del Físico para el Diseño Óptico en la Industria

Expositor : Yasuoka, Fatima
Fecha : 29.01.04
Asistentes : 12

Genética Molecular de la Resistencia a Infección en Humanos

Expositor : Espinoza, José
Fecha : 05.02.04
Asistentes : 22

Narices Electrónicas

Expositor : Solís V., José
Fecha : 12.02.04
Asistentes : 25

Colocando Productos y Servicios Tecnológicos en el Mercado

Expositor : Valdez Calle, José
Fecha : 26.02.04
Asistentes : 49

Biomonitores y Bioindicadores

Expositor : Hurtado, Jasmin
Fecha : 04.03.04
Asistentes : 58

El Centro de Innovación Tecnológica de la Madera en el Marco del Proceso de Concesiones Forestales en el Perú

Expositor : Arbaiza, Christian
Fecha : 11.03.04
Asistentes : 37

El Futuro Sistema de Planeamiento Estratégico para el Perú

Expositor : Villarán De La Puente, Fernando
Fecha : 18.03.04
Asistentes : 59

Valoración de los Recursos Naturales a Través de la Biotecnología

Expositor : Malpica, Carlos
Fecha : 25.03.04
Asistentes : 55

Actividades de Investigación y Servicios del Instituto de Radioprotección de ENEA

Expositor : Bedogni, Roberto
Fecha : 01.04.04
Asistentes : 31

La Innovación: Herramienta para el Desarrollo

Expositor : Ticona C., Rolando
Fecha : 15.04.04
Asistentes : 18

La Técnica PGNAA para Estimar In-situ el Contenido de Metales (Cu, Fe, Ni Pb, Zn, Mn) en Minas de Tajo Abierto y Socavones

Expositor : Charbucinski, Jacek
Fecha : 22.04.04
Asistentes : 48

La Tecnología como Mecanismo de Competencia en la Globalización

Expositor: Enrique Cornejo
Fecha: 29.04.04
Asistentes: 27

Impacto Ambiental de Reactores y Centrales Nucleares

Expositor : Perl, Hugo
Fecha : 06.05.04
Asistentes : 29

Uso del Samario 153 como Terapia Paliativa del Dolor. Experiencia y Situación en el Mundo y Latinoamérica

Expositor : Alvarado, Nelson
Fecha : 13.05.04
Asistentes : 20

Aplicaciones de los Rayos Terahertz

Expositor : Elías, Luis
Fecha : 27.05.04
Asistentes : 30

**Ingeniería Genética en Animales
Potencialidades y Riesgos**

Expositor : Scotto, Carlos
Fecha : 03.06.04
Asistentes : 25

**Perspectivas de la Cooperación Científica
entre Europa y Perú: Nanociencia y
Nanotecnología**

Expositores : Piuzzi, Francois;
Baptist, Joseph
Fecha : 10.06.04
Asistentes : 38

**Técnicas Analíticas por Activación
Neutrónica**

Expositor : Mendoza, Pablo
Fecha : 17.06.04
Asistentes : 33

**El Análisis por Activación Neutrónica
Aplicado a la Arqueología**

Expositor : Cohen, Marcos
Fecha : 24.06.04
Asistentes : 23

**Investigación y Desarrollo en la
Biominería a Nivel Mundial**

Expositor : Ly, Martha
Fecha : 01.07.04
Asistentes : 14

Tecnología de Irradiación

Expositor : Marco Linares
Fecha : 15.07.04
Asistentes : 24

**Riesgo en la Tecnología Moderna y
Percepción del Riesgo**

Expositor : Menossi, Carlos
Fecha : 05.08.04
Asistentes : 29

**Bioprofilaxis Biotecnología para la
Preservación del Medio Ambiente**

Expositor : Castillo, Maria Del Pilar
Fecha : 12.08.04
Asistentes : 48

**Jornada Sobre el Átomo, Utilidad y
Riesgo- Los Secretos del Átomo y sus
Aplicaciones - Las regulaciones
Radiológicas Recientes**

Expositores : Montoya, Modesto;
Regalado, Santiago

Fecha : 19.08.04
Asistentes : 20

**Indicadores de Desempeño en Banco de
Tejidos - Programas de Cooperación
Técnica del OIEA**

Expositores : Adler, Jiri; Acuña, Oscar
Fecha : 02.09.04
Asistentes : 29

Datación por el Método de Carbono

Expositor : Figini, Aníbal Juan
Fecha : 09.09.04
Asistentes : 20

**Los Reactores RP-10 y RP-0, Operativos y
Seguros Permanentemente**

Expositor : Arrieta, Rolando
Fecha : 16.09.04
Asistentes : 11

**Celdas de Combustible y su Desarrollo en
el País**

Expositor : Luis Varillas Guzmán
Fecha : 23.09.04
Asistentes : 46

**La Desinfección de la Momia Ramses II
por Irradiación Gamma**

Expositor : Ramiere, Regis
Fecha : 30.09.04
Asistentes : 24

**Gestión de la Calidad en Laboratorios de
Ensayo Norma ISO/EC 17025**

Expositor : López, Edith
Fecha : 07.10.04
Asistentes : 44

**Actividades de Corrosión en el Centro de
Tecnología y Centro de Materiales del
IPEN de San Paulo-Brasil**

Expositor : Ramanathan, Lalgudi
Fecha : 14.10.04
Asistentes : 35

**Producción de Radioisótopos, Presente y
Futuro**

Expositor : Castro, Manuel
Fecha : 21.10.04
Asistentes : 16

**Investigación y Desarrollo en la Planta de
Producción de Radioisótopos**

Expositor : Robles, Anita
Fecha : 28.10.04
Asistentes : 17

**Hipertermia Oncológica - Antecedentes
Clínicos de la Hipertermia**

Expositor : Fernando, Alejandro T.
Fecha : 04.11.04
Asistentes : 28

Técnicas de Análisis Multivariado y sus Aplicaciones

Expositor : Bishop, Ronald
Fecha : 18.11.04
Asistentes : 47

Dosimetría en Tomografía Computarizada

Expositor : Flores Vega, Walter
Fecha : 25.11.04
Asistentes : 7

El Físico Médico en España: Funciones y Formación Hospitalaria

Expositor : Mateos Pérez, Juan
Fecha : 02.12.04
Asistentes : 22

F.2 Conferencias Dictadas en el Centro Nuclear RACSO: Miércoles Científicos

Elementos Traza y Metales Pesados en Productos Agrícolas Cultivados a lo Largo del Río Rímac

Bedregal Salas, P.
11.02.04

Coloración de Gemas de Topacio por Irradiación en el Reactor RP-10

Gómez Barria, J.
25.02.04

Celdas Solares Sensibilizadas de Oxido de Titanio

Alarcón Caverro, H.
10.03.04

Modelo Teórico para Comprender los Sensores de Gas Basados en Oxidos Tipo Perovskita

Reyes, L.
Universidad Nacional de Ingeniería
24.03.04

Overview of the Energy and Nuclear Power Situation in Peru

Avila López, J.
31.03.04

Isótopos Ambientales en Aguas Termales de "Borateras" Lote Challapalca, Tacna

Valencia Herrera, J.
14.04.04

Corrosión del Aluminio Constituido en el Reactor Nuclear RP-10

Babiche Fuentes, I.
28.04.04

Simulación Monte Carlo de la Correlación Local y Formación de Clusters en las Aleaciones Modelo de Tipo FCC

Rojas Tapia, J.
12.05.04

Nanociencias y sus Aplicaciones

Baptist, R.
Grenoble, Francia
09.06.04

Determinación de Constantes Nucleares de Reacciones Nucleares Inducidas en Zinc por la Componente Rápida del Espectro Neutrónico de un Reactor

Cohen, M. (OIEA)
23.06.04

Redes Avanzadas en Apoyo a la Investigación Científica Tecnológica

Diaz Ataucuri, D. (INICTEL)
07.07.04

Arqueometría Fundamentos y Aplicaciones

Barba P., L.
Universidad Autónoma de México
21.07.04

Aplicaciones de Materiales Magnéticos

Coronel Ch., V.
11.08.04

Indicadores Ambientales

Osores Rebaza, J.
25.08.04

Proyectos de Investigación en el IPEN sobre Medio Ambiente

Montoya, Y.; Espinoza, M.; Osores, J.;
Condori, J.
07.09.04

Sensores Piezoeléctricos y Aplicaciones Técnicas

Lira Cacho, A.
06.10.04

Highly Porous Tungsten-Oxide-Based Films Obtained by Spray Gel for Gas Sensing Applications

Solís Veliz, J.
20.10.04

Programas de Investigación Científica en

el Instituto Smithsonian

Bishop, R.

24.11.04

F.3 Otras Conferencias

Rosbach, M.

Ion Beam Analysis for Art and Archaeology

Lugar : Lima

Fecha : 02.03.2004

Asistentes : 30

Barrantes, Francisco

Estudios Biofísicos del Receptor de Acetilcolina: de la Molécula a la Célula

Lugar : Lima

Fecha : 17.03.2004

Asistentes : 13

Bedogni, Roberto

Dosimetría y Metodología de Neutrones Metodología de Perspectivas

Lugar : Lima

Fecha : 02.04.2004

Asistentes : 39

Huapaya, Danfer

Apertura de Actividades de la Sociedad Peruana de Medicina Nuclear

Lugar : Lima

Fecha : 20.04.2004

Asistentes : 38

Montoya, Modesto

Ciencia y Tecnología al Servicio del Sector Productivo Nacional

Lugar : Lima

Fecha : 22.07.2004

Gálvez, José

Perspectivas de Instalación de un Ciclotrón en el Perú

Lugar : Lima

Fecha : 04.08.2004

Asistentes : 15

Zehe, Alfred

¿Qué Nanotecnología hacer en América Latina?

Lugar : Lima

Fecha : 25.08.2004

Asistentes : 28

Paillard, Sandrine

Rol del Investigador Científico y Tecnológico: Ciencia y Empresa

Lugar : Lima

Fecha : 21.09.04

Asistentes : 107

Montoya, Ysabel

Nuevas Líneas de Investigación del IPEN en Biotecnología

Lugar : Lima

Fecha : .10.2004

Penroux, Thierry

V Curso Internacional de Imaginología y Física Médica en Radiología Digital

Lugar : Lima

Fecha : 23.10.2004

Asistentes : 56

Lesage, Jacky

Indentation of Materials many Problems and some Solutions

Lugar : Lima

Fecha : 25.10.2004

Asistentes : 5

Espinoza, Marco

Efectos de la Radiactividad en los Seres Humanos

Lugar : Lima

Fecha : 10.11.2004

Asistentes : 7 Periodistas

Cano, Roque

Perspectivas del Uso Futuro de Radioisótopos en Medicina Nuclear

Lugar : Lima

Fecha : 09-11.11.2004

Montoya, Modesto

Cooperación Técnica para Incrementar la Competitividad Nacional

Lugar : Lima

Fecha : 19.11.2004

G. DISERTACIONES DEL PERSONAL EN CONFERENCIAS Y CHARLAS ORGANIZADAS POR OTRAS INSTITUCIONES

Montoya, Modesto

Enseñanza de las Ciencias

Lugar : Paraninfo de la Universidad

Nacional de San Agustín, Arequipa

Fecha : 20.01.2004

Montoya, Modesto

Servicios de Productos Nucleares para el Sector Productivo y de Salud

Lugar : Universidad Nacional de San

Agustín, Arequipa
Fecha : 20.01.2004

Montoya, Modesto
Estado Actual y Perspectivas de la Sociedad Peruana de Física
Lugar : Centro Cultural de la PUCP
Fecha : 26.03.2004

Montoya, Modesto
Baterías Radiactivas en Viajes Espaciales
Lugar : Congreso de la República - Sala Quiñónez
Fecha : 07.05.2004

Montoya, Modesto
La Ciencia y Tecnología en el Perú
Lugar : Universidad Nacional del Santa, Ancash
Fecha : 07.06.2004

Montoya, Modesto
Situación y Perspectivas de la Ingeniería en el Desarrollo Nacional del Presente Siglo
Lugar : Auditorio de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Inca Garcilaso de la Vega
Fecha : 08.06.2004

Montoya, Modesto
La Biotecnología y el Perú
Lugar : Universidad Nacional de Ingeniería
Fecha : 02.07.2004

Montoya, Modesto; Condori, Jorge; Montoya, Ysabel
Tecnologías Atómicas para Mejorar la Productividad de la Industria Nacional
Lugar : Lima
Fecha : 22.08.2004

Morales, Rosanna
Uso del Samario
Lugar : Hospital Almanzor Aguinaga, Chiclayo, Lambayeque
Fecha : 24.08.2004

Linares, Marco
Innovaciones Tecnológicas en Industria Alimentaria: Preservación de Alimentos como Medio para Incrementar la Exportación Agroalimentaria
Lugar : SENATI, Huancayo, Junín
Fecha : 25.08.2004

Montoya, Modesto
La Investigación y los Postgrados en Ciencia y Tecnología en el Perú
(organizado por CONCYTEC)

Lugar : Hotel Sol del Puente de Cieneguilla
Fecha : 26.08.2004

Montoya, Modesto
El Político Peruano del Siglo XXI: Características y Perfil
Lugar : Miraflores Park Hotel
Fecha : 08.09.2004

Montoya, Modesto
Desarrollo de la Ciencia y Tecnología en la Formación Profesional
Lugar : Auditorio de la Facultad de Tecnología de la Universidad Nacional de Educación Enrique Guzmán y Valle
Fecha : 24.09.2004

Montoya, Ysabel
Algodón de Alta Competitividad Usando Estrategias Moleculares
Lugar : Sociedad Nacional de Industrias
Fecha : .09.2004

Montoya, Modesto
Origen de los Elementos Radiactivos: Clases y Aplicaciones
Lugar : XIX Feria de Ciencias del Colegio Immaculada
Fecha : 05.10.2004

Morales, Rosanna
Terapia Paliativa: Uso de Samario
Lugar : Arequipa, Perú
Fecha : 07.10.2004

Morales, Rosanna
Cáncer de Tiroides: Uso de Yodo 131
Lugar : Arequipa, Perú
Fecha : 08.10.2004

Montoya, Modesto
La Era del Conocimiento
Lugar : Auditorio de la Derrama Magisterial
Fecha : 19.10.2004

Montoya, Modesto
El Rol del Científico en el Mundo Moderno
Lugar : Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, Huacho
Fecha : 25.10.2004

Montoya, Modesto
Sociedad de la Información, Periodismo y Divulgación Científica
Lugar : Auditorio de Humanidades de la Pontificia Universidad Católica del Perú (I Encuentro de Periodistas y Divulgadores Científicos)
Fecha : 25.10.2004

Montoya, Ysabel
Contribuciones de las Estrategias Moleculares a la Cadena Productiva del Algodón

Lugar : Club de la Banca
Fecha : 26.10.2004
Asistentes : Directorio del Instituto Peruano de Algodón

Montoya, Modesto
Propiedad Intelectual

Lugar : Instituto de Estudios Peruanos
Fecha : 29.10.2004

Montoya, Modesto
Tecnología Nuclear e Imágenes Digitales Aplicados a la Radiología

Lugar : Auditorio del Hospital FAP (Congreso Internacional de Tecnología Médica en Radiología)
Fecha : 29.10.2004

Vargas, Johnny
Tecnología de Irradiación de Alimentos

Lugar : IST Simón Bolívar, Lima
Fecha : 02.11.2004

Montoya, Ysabel
Propuesta para el Desarrollo del Algodón Usando Técnicas Moleculares

Lugar : Ministerio de la Producción
Fecha : 03.11.2004

Montoya, Modesto

Nanotecnología

Lugar : Universidad Norber Wiener
Fecha : 18.11.2004

Montoya, Modesto
Lineamiento de Política en Ciencia y Tecnología del IPEN

Lugar : Facultad de Ingeniería Electrónica, UNMSM
Fecha : 25.11.2004

Montoya, Modesto

El Rol de los Laboratorios Nacionales en la Enseñanza de las Ciencias

Lugar : Universidad Peruana de Ciencias (II Encuentro Latinoamericano sobre Enseñanza de las Matemáticas, de las Ciencias y Uso de las TIC's)
Fecha : 26.11.2004

Montoya, Modesto

Lineamiento de Política en Ciencia y Tecnología del IPEN

Lugar : Auditorio de la Facultad de Ingeniería de Sistemas e Informática, UNMSM (IV Taller de Investigación "Gestión

de la Investigación Científica y Tecnológica en el Perú"

Fecha : 02.12.2004

Montoya, Modesto

Enseñanza de las Ciencias

Lugar : Auditorio del Primer Colegio Nacional Rosa de Santa María de Breña
Fecha : 14.12.2004

H. BECARIOS

Pablo Mendoza Hidalgo

Capacitación Regional en Grupo sobre Espectrometría Gamma

Sede : Santiago de Chile, Chile

Fecha : 12-16.01.2004

Susana Gonzáles

Curso Regional del OIEA en Determinación de Exposición Ocupacional Debido a la Incorporación de Radionucleidos (ARCAL LXXVII)

Sede : Río de Janeiro, Brasil

Fecha : 12-23.01.2004

Domnina Rodríguez C.

Curso Regional de Capacitación sobre Determinación de la Exposición Ocupacional Debido a la Incorporación de Radionucleidos

Sede : Río de Janeiro, Brasil

Fecha : 12-23.01.2004

Luis Velásquez A.

Curso Regional de Capacitación sobre Determinación de la Exposición Ocupacional Debido a la Incorporación de Radionucleidos

Sede : Río de Janeiro, Brasil

Fecha : 12-23.01.2004

Nelson Alvarado (Clínica San Borja)

Simposio Internacional sobre Oncología Nuclear

Sede : Porto Alegre, Brasil

Fecha : 19-23.01.2004

Patricia Saavedra (CMN)

Simposio Internacional sobre Oncología Nuclear

Sede : Porto Alegre, Brasil

Fecha : 19-23.01.2004

Silvia Vásquez A.

Desarrollo del Proyecto Epidemiología Molecular del Cirrus de la Hepatitis B en el Perú

Sede : Atlanta, Georgia USA
Fecha : 26-01-30-05.2004

José Félix Caballero
Entrenamiento en Operación de Reactores
Sede : Sao Paulo, Brasil
Fecha : 02-02-31-03.2004

Fernando Ramos Trujillo
Entrenamiento en Operación de Reactores
Sede : Sao Paulo, Brasil
Fecha : 02-02-31-03.2004

Vladimir Thatar V. (Univ. St. Petersburgo)
Programa de Capacitación en Salvaguardias
Sede : Viena, Austria
Fecha : 04-02 – 04-12.2004

Rubén Rojas Molina
Reunión de Expertos sobre Hidrología
Subterránea en Situaciones de Emergencia
Sede : Paris, Francia
Fecha : 09-10.02.2004

Jorge Herrera Aguilar
Taller Regional de Preparación, Marcación y
Control de Peptidos Marcados con Tc-99m
Sede : Buenos Aires, Argentina
Fecha : 23-02 –05-03.2004

Guillmer Agurto Chávez
Taller Regional de Preparación, Marcación y
Control de Peptidos Marcados con Tc-99m
Sede : Buenos Aires, Argentina
Fecha : 23-02 –05-03.2004

Elke Pastor Pastor (INEN)
Curso Regional de Cuarto de Moldes
Sede : Sao Paulo, Brasil
Fecha : 09-13.02.2004

Rosa Hernández Canchari (INEN)
Curso Regional de Cuarto de Moldes
Sede : Sao Paulo, Brasil
Fecha : 09-13.02.2004

Milagros Condori Marcos
Curso Regional de Cuarto de Moldes
Sede : Sao Paulo, Brasil
Fecha : 09-13.02.2004

José Maguiña León
Curso Regional de Capacitación OIEA sobre
Fuentes Selladas a la Industria Petroquímica
Sede : Neuquen, Argentina
Fecha : 08-12.03.2004

Patricia Bedregal Salas
Curso Interregional de Capacitación sobre
Organización, Reportes y Certificación sobre

Pruebas de Aptitud
Sede : Seibersdorf, Austria
Fecha : 08-19.03.2004

Iván Llamas Montoya
IV Reunión de Coordinadores Nacionales del
Proyecto Regional RLA/4/018
Sede : Bariloche, Argentina
Fecha : 5-19.03.2004

Yuri Ravello Ratzemberg
Taller Subregional de Capacitación sobre
Prevención de Exposiciones Accidentales en
Radioterapia
Sede : Quito, Ecuador
Fecha : 22-26.03.2004

Navor Figueroa Jamanca (INEN)
Taller Subregional de Capacitación sobre
Prevención de Exposiciones Accidentales en
Radioterapia
Sede : Quito, Ecuador
Fecha : 22-26.03.2004

Adela Heredia Zelaya (INEN)
Taller Subregional de Capacitación sobre
Prevención de Exposiciones Accidentales en
Radioterapia
Sede : Quito, Ecuador
Fecha : 22-26.03.2004

Patricia Altamirano Quispe (INEN)
Taller Subregional de Capacitación sobre
Prevención de Exposiciones Accidentales en
Radioterapia
Sede : Quito, Ecuador
Fecha : 22-26.03.2004

Alberto Montano Ch.
Reunión de Trabajo para la Preparación de
Documentación OCTA-ARCAL
Sede : La Habana, Cuba
Fecha : 22-26.03.2004

Cesar Pizarro Castro
Curso de Capacitación del APEC sobre
Tecnología Nucleoelectrica
Sede : Seúl, Corea
Fecha : 05-04 - 01-05.2004

Juan Avila López
Curso de Capacitación del APEC sobre
Tecnología Nucleoelectrica
Sede : Seúl, Corea
Fecha : 05-04 - 01-05.2004

Mariano Vela Mora
Curso Regional de Postgrado sobre
Protección Radiológica y Seguridad de las
Fuentes de Radiación

Sede : Buenos Aires, Argentina
Fecha : 05-04 - 24-09.2004

Renán Ramírez Quijada
Reunión Final del Proyecto RLA/9/045
(ARCAL LXXII) Fortalecimiento y
Harmonización de las Capacidades
Nacionales
Sede : Río de Janeiro, Brasil
Fecha : 05-09.04.2004

Emma Castro Gamero
Curso Interregional de Código de la Práctica
Sede : Buenos Aires, Argentina
Fecha : 03-06.05.2004

Edgar Valdivia
Capacitación en Grupo sobre Modernización
de Lectores TLD y Sistemas de Adquisición
de Datos y Revisión del Documento sobre
Preparación y Mantenimiento de Lectores
TLD
Sede : Lima, Perú
Fecha : 03-07.05.2004

Pablo Arias
Capacitación en Grupo sobre Modernización
de Lectores TLD y Sistemas de Adquisición
de Datos y Revisión del Documento sobre
Preparación y Mantenimiento de Lectores
TLD
Sede : Lima, Perú
Fecha : 03-07.05.2004

Tony Benavente Alvarado
1º Reunión de Coordinación RLA/9/048
Determinación de Niveles Orientativos para
Radiología Convencional e Intervencionista
Sede : Río de Janeiro, Brasil
Fecha : 10-14.05.2004

Walter Estrada López
VIII Congreso Iberoamericano de Metalurgia
y Materiales
Sede : Quito, Ecuador
Fecha : 24-29.05.2004

Justo Rojas Tapia
VIII Congreso Iberoamericano de Metalurgia
y Materiales
Sede : Quito, Ecuador
Fecha : 24-29.05.2004

Alberto Montano
V Reunión de Órganos de Coordinación
Técnica de ARCAL (OCTA)
Sede : Tegucigalpa, Guatemala
Fecha : 24-28.05.2004

Juan Rodríguez

Foro Temático Textil de Lana y Pelos Finos.
Seminario Nacional de Investigación sobre
Camélidos Sudamericanos
Sede : Arequipa, Perú
Fecha : 24-27.05.2004

Eduardo Medina G.
XI Congreso Internacional de la Asociación
Internacional de Protección Radiológica
Sede : Madrid, España
Fecha : 23-28.05.2004

Tony Benavente A.
Reunión Final del Ejercicio de
Intercomparación Regional sobre Control y
Garantía de Calidad en los Servicios de
Monitoreo Individual Externo. Proyecto
RLA/79/044
Sede : Montevideo, Uruguay
Fecha : 07-11.06.2004

José Espinoza B.
XI Multicoloquio Europeo de Parasitología
EMOP-9
Sede : Valencia, España
Fecha : 18-07- 09-08.2004

Iván Llamas M.
Taller sobre Desarrollo de Capacidades
Comerciales en un Reactor de Investigación
Sede : Oak Ridge, Tennessee (USA)
Fecha : 23-27.08.2004

Patricia Bedregal Salas
Programa de Capacitación en el Campo de
las Técnicas Radioanalíticas
Sede : Seibersdorf, Austria
Fecha : 06-09 – 05-11.2004

Walter Estrada López
Visita Científica (Centro de Estudios
Nucleares de Saclay, Universidad Saint
Quentin, Universidad Pierre et Marie Curie,
Laboratorio Leon Brillouin, Laboratorio del
Museo de Louvre, Laboratorio de Liten)
Sede : Francia
Fecha : 19-09 - 02-10.2004

Alberto Salazar C.
Curso Regional de Postgrado en Seguridad
Nuclear
Sede : Buenos Aires, Argentina
Fecha : 27-09 - 03-12.2004

Luis Defilippi S.
Reunión Final del Proyecto RLA/6/043
Sede : Asunción, Paraguay
Fecha : 04-08.10.2004

Blanca Torres Ch.

Taller Regional sobre Creación de Mapas de Distribución, Evaluación e Interpretación de Datos

Sede : Sao Paulo, Brasil

Fecha : 04-08.10.2004

Juan Rodríguez R.

III Reunion de Coordinación del Proyecto Cost Effective Solar Photocatalitic Technology to Water Decontamination and Desinfection in Rural Areas of Developing Countries (Solwater) y en la 12th Solar Paces International Simposium

Sede : Oaxaca, México

Fecha : 04-08.10.2004

Alberto Montano Ch.

Taller Regional sobre Gerencia de Proyectos Basada en Resultados

Sede : Buenos Aires, Argentina

Fecha : 18-22.10.2004

Walter Estrada López

Taller Regional sobre Gerencia de Proyectos Basada en Resultados

Sede : Buenos Aires, Argentina

Fecha : 18-22.10.2004

Ysabel Montoya

Taller Regional sobre Gerencia de Proyectos Basada en Resultados

Sede : Buenos Aires, Argentina

Fecha : 18-22.10.2004

José Espinoza B.

Taller Regional sobre Gerencia de Proyectos Basada en Resultados

Sede : Buenos Aires, Argentina

Fecha : 18-22.10.2004

Marco Espinoza Z.

Taller Regional sobre Gerencia de Proyectos Basada en Resultados

Sede : Buenos Aires, Argentina

Fecha : 18-22.10.2004

Deciderio Atoche Ortiz (P. Puyango-Tumbes)

Taller Regional para la Revisión de los Modelos de Flujo

Sede : San José, Costa Rica

Fecha : 18-22.10.2004

Clara Farias Segada (U. de Piura)

Taller Regional para la Revisión de los Modelos de Flujo

Sede : San José, Costa Rica

Fecha : 18-22.10.2004

Lucia Tavera Espinoza (U. de Piura)

Taller Regional para la Revisión de los

Modelos de Flujo

Sede : San José, Costa Rica

Fecha : 18-22.10.2004

Eleazar Aliaga Rojas

Métodos para la Evaluación de Radiofármacos Biológicamente Específicos

Sede : Montevideo, Uruguay

Fecha : 18-29.10.2004

Bertha Ramos Trujillo

Métodos para la Evaluación de Radiofármacos Biológicamente Específicos

Sede : Montevideo, Uruguay

Fecha : 18-29.10.2004

José Solís V.

IV Congreso Iberoamericano de Sensores IBEROMET-2004

Sede : Puebla, México

Fecha : 24-31.10.2004

Renán Ramírez Quijada

Seminario Regional sobre Control y Detección de Materiales Nucleares y Radiactivos en Zonas de Frontera

Sede : La Paz, Bolivia

Fecha : 25-29.10.2004

Enrique Zamora Flores (SUNAD)

Seminario Regional sobre Control y Detección de Materiales Nucleares y Radiactivos en Zonas de Frontera

Sede : La Paz, Bolivia

Fecha : 25-29.10.2004

Carlos Avila Orellana (SUNAD)

Seminario Regional sobre Control y Detección de Materiales Nucleares y Radiactivos en Zonas de Frontera

Sede : La Paz, Bolivia

Fecha : 25-29.10.2004

Juan Rodríguez R.

Actividades de Investigación en el Lab. de la Univ. de Buenos Aires

Sede : Buenos Aires, Argentina

Fecha : 01-19.11.2004

Roberto Koga F.

Curso Regional de Capacitación sobre Preparación y Control de Calidad de Radiofármacos Re-188-anti-Cd-20 y I-131-anti-Cd-20 para el Tratamiento de Linfoma

Sede : La Habana, Cuba

Fecha : 08-12.11.2004

Luis Barriga T. (Centro de

Radioterapia Lima-Perú)

Curso Regional de Capacitación del OIEA

sobre Braquiterapia con Alta Dosis en
Cáncer de Cuello Uterino y de Próstata
Sede : Sao Paulo, Brasil
Fecha : 08-19.11.2004

Bertha García G. (Hospital Central de la
PNP)

Curso Regional de Capacitación del OIEA
sobre Braquiterapia con Alta Dosis en
Cáncer de Cuello Uterino y de Próstata
Sede : Sao Paulo, Brasil
Fecha : 08-19.11.2004

Osué Olortegui Obregón (INEN)
Curso Regional de Capacitación del OIEA
sobre Braquiterapia con Alta Dosis en
Cáncer de Cuello Uterino y de Próstata
Sede : Sao Paulo, Brasil
Fecha : 08-19.11.2004

Juan Marquina Díaz (INEN)
Curso Regional de Capacitación del OIEA
sobre Braquiterapia con Alta Dosis en
Cáncer de Cuello Uterino y de Próstata
Sede : Sao Paulo, Brasil
Fecha : 08-19.11.2004

Ricardo Ruiz P.
Curso Regional de Capacitación del OIEA en
Mantenimiento, Reparación y Modernización
de Lectores TLD
Sede : Río de Janeiro, Brasil
Fecha : 08-19.11.2004

Hernán Amico C. (INEN)
Curso Regional de Capacitación del OIEA en
Mantenimiento, Reparación y Modernización
de Lectores TLD
Sede : Río de Janeiro, Brasil
Fecha : 08-19.11.2004

Edgar Valdivia Z.
Experto Regional en el Dictado del Curso de
Mantenimiento, Reparación y Modernización
de Lectoras TLD
Sede : Río de Janeiro, Brasil
Fecha : 10-12.11.2004

Edith Cecilia López
Taller Regional de Formación de Auditores
Líderes- RLA/2/011 (ARCAL LXXVI)
Sede : Montevideo, Uruguay
Fecha : 15-19.11.2004

Constantino León B.
Fase II de Evaluación de Cupones de
Corrosión dentro del Proyecto RLA/4/018
Sede : Sao Paulo, Brasil
Fecha : 16-19.11.2004

Walter Cruz Ch.
Curso de Capacitación Teórico Práctico
sobre Gestión de Calidad de los Desechos
Radiactivos
Sede : Belo Horizonte, Brasil
Fecha : 22-11 – 03-12.2004

Félix Astudillo (Proyecto Puyango-Tumbes)
IV Reunión de Coordinación y Preparación
del Informe Final del Proyecto RLA/8/031
Sede : Quito, Ecuador
Fecha : 22-26.11.2004

Jaime Otiniano Ñ. (Proyecto Puyango-
Tumbes)
IV Reunión de Coordinación y Preparación
del Informe Final del Proyecto RLA/8/031
Sede : Quito, Ecuador
Fecha : 22-26.11.2004

Lucía Távora E. (U. de Piura)
IV Reunión de Coordinación y Preparación
del Informe Final del Proyecto RLA/8/031
Sede : Quito, Ecuador
Fecha : 22-26.11.2004

Ana María Sernaque (U. de Piura)
IV Reunión de Coordinación y Preparación
del Informe Final del Proyecto RLA/8/031
Sede : Quito, Ecuador
Fecha : 22-26.11.2004

Edgar Valdivia Z.
Reunión Final del Proyecto RLA/4/017
Sede : La Habana, Cuba
Fecha : 06-10.12.2004

Constantino León
III Taller de Trabajo de Caracterización de
Elementos Combustibles
Sede : Distrito Federal, México
Fecha : 06-10.12.2004

Susana González
Reunión de Expertos del Proyecto
RLA//9/049
Sede : La Habana, Cuba
Fecha : 06-10.12.2004

I. PROYECTOS

I.1 Financiamiento Internacional

Use of Nuclear Techniques to Improve Alpacas Productivity and Reproductive Methods

Responsable: José Espinoza

Presupuesto: US\$ 285 000

High Availability of Cotton Lines (Colored and White) Using Molecular and Radioisotopic Approach

Responsable Ysabel Montoya
Presupuesto: US\$ 86 000

Prompt Gamma Neutron Activation Analysis Method and Instrumentation for Copper Grade Estimation in Large Diameter Blast Holes at Cu-Open-Cut Peruvian Lines

Responsable Walter Estrada
Presupuesto: US\$ 16 4935

Bioremediation of Abandoned Mines in Peru

Responsable: Marco Espinoza
Presupuesto: US\$109 635

I.2 Financiamiento Nacional

Análisis de la Biodiversidad Genética del Algodón Peruano (*Gossypium sp*) Usando Marcadores Moleculares

Responsable: Ysabel Montoya
Presupuesto: S/ 35 000

Descripción de la Estructura Cromosómica de los Camélidos Sudamericanos

Responsable: Marco Espinoza.
Presupuesto: S/. 35 000

Diseño y Construcción de un Sistema Automatizado de Caracterización del Espesor de la Fibra de Alpaca

Responsable: Juan Rodríguez
Presupuesto: S/. 35 000

Diseño y Construcción de un Envase por Rotomoldeado para la Desinfección Solar de Agua

Responsable: Alcides López
Presupuesto: S/. 35 000

I.3 Proyectos OIEA-IPEN (Bienio 2003-2004)

PER/0/021 Desarrollo de Recursos Humanos y Apoyo a la Tecnología Nuclear

Responsable: Modesto Montoya Z.

PER/1/013 Mejoramiento de un Laboratorio de Patrones

Dosimétricos Secundarios

Responsable: Tony Benavente Alvarado

PER/2/015 Tecnología de Radiotrazadores Aplicada a la Conservación del Medio Ambiente en el Sector Minero Metalúrgico

Responsable: Jorge Condori Ccari

PER/4/022 Automatización y Control de Calidad de la Producción de Radioisótopos

Responsable: Manuel Castro Vicente

PER/8/011 Técnicas Nucleares en Minería e Industria

Responsable: Carlos Sebastián Calvo

PER/8/013 Aplicación de Técnicas Nucleares para el Análisis, Conservación y Datación de Materiales Arqueológicos

Responsable: Walter Estrada López

J. PROYECTOS ARCAL (ACUERDO REGIONAL PARA LA COOPERACIÓN EN AMERICA LATINA) BIENIO 2003-2004

RLA/2/010 (ARCAL LII) Preparación, Control de Calidad y Validación de Radiofármacos Basados en Anticuerpos Monoclonales (Proyecto Modelo)

Responsable: Anita Robles Ñique

RLA/4/017 (ARCAL LIII) Control de Calidad en la Reparación y Mantenimiento de la Instrumentación Utilizada en Medicina Nuclear

Responsable: Edgar Valdivia Cevallos

RLA/6/041 (ARCAL L) Maestría en Física Médica

Responsable: Modesto Montoya Z.

RLA/6/042 (ARCAL LIV) Diagnóstico Precoz de la Infección por *helicobacter pylori* Mediante la Utilización de Técnicas Nucleares

Responsable: Germán Mendoza Pérez

RLA/6/043 (ARCAL LV) Aseguramiento y Control de Calidad en Estudios de Mamografía

Responsable: Luis Difilippi Shinzato

RLA/6/044 (ARCLA LVI) Aplicaciones de la Biología Molecular al Diagnóstico de Enfermedades Infecciosas

Responsable: Silvia Vásquez Atachagua

RLA/6/046 (ARCAL LVIII) Mejoramiento de la Calidad en Radioterapia (Proyecto Modelo)

Responsable: Cesar Picón

RLA/6/049 (ARCAL LXXIV) Mejoramiento del Tratamiento Radiante de Cáncer de Cuello Uterino

Responsable: Gustavo Sarria

RLA/7/010 (ARCAL LX) Aplicaciones de Biomonitores y Técnicas Nucleares Relacionadas Aplicadas a Estudios de Contaminación Atmosférica

Responsable: Elena Hurtado Jazmín

RLA/8/028 (ARCAL LXII) Transferencia de Tecnología de Trazadores y Sistemas de Control Nucleónico a Sectores Industriales de Interés Económico

Responsable: Carlos Sebastián Calvo

RLA/8/030 (ARCAL XLIII) Harmonización y Optimización de Procedimientos de la Gestión y Procedimientos Operacionales en las Plantas de Irradiación Industriales

Responsable: Carlos Del Valle Odar

RLA/9/042 (ARCAL LXV) Harmonización Regulatoria y Desarrollo de Programas de Gestión de Calidad para el Transporte Seguro de Materiales Radiactivos

Responsable: Mario Mallaupoma Gutiérrez

RLA/9/045 (ARCAL LXVII) Fortalecimiento y Harmonización de las Capacidades Nacionales para dar Respuesta a Emergencias Radiológicas

Responsable: Renán Ramírez Quijada

RLA/9/049 (ARCAL LXXVIII) Harmonización de Procedimientos de Dosimetría Interna

Responsable: Susana Gonzáles V.

K. EJECUCIÓN DE CONTRATOS DE INVESTIGACIÓN CON EL OIEA

Uso de un Anticuerpo Elisa en Proteínas no Estructurales FMD para el Control y Erradicación de Enfermedades de Animales

14.12.2004

Responsable: Ana María Espinoza (Instituto Nacional de Salud)

Producción y Control de Calidad de Mosca de la Fruta

14.10.2004

Responsable: Daniel Alama Mena (SENASA)

Rol de las Técnicas de Radionuclidos en el Manejo de Hidronefrosis en Recién Nacidos en el Perú

14.12.2004

Responsable: Nelson Alvarado Ruiz (Medicina Nuclear Tomográfica. Clínica San Borja)

Determinación de Niveles de Contaminación por Plomo y Cadmio en Mujeres Embarazadas que Viven en una Zona Minera del Perú

14.12.2004

Responsable: Guillermo López de Romaña (Fondo de Desarrollo Agrario)

Desarrollo de una Metodología para la Producción y Control de Calidad de Fuentes Selladas en Miniatura

14.12.2004

Responsable: Maria Benites Vidal

Determinación de Elementos Traza y Metales Pesados en Productos Agrícolas Cultivados a lo Largo del Río Rimac

14.12.2004

Responsable: Patricia Bedregal Salas

L. TESIS

Koga Fukuhara, R.C.S.

Obtención y Purificación del Anticuerpo Monoclonal IOR-CEA1 marcado con I-131 para el Diagnostico Precoz de Enfermedades Neoplásicas Relacionados con el Adenocarcinoma Embrionario.

Tesis M.Sc. en Tecnología Médica con Mención en Microbiología. Lima, Perú, Universidad Nacional Federico Villarreal, Escuela de Post-Grado, 2004. 83 p.

Bernui de Vivanco, M.G.

Obtención de Distribuciones de Dosis Producidas por Diferentes Arreglos de Alambres de Ir-192 en Tratamientos de Braquiterapia Ocular Utilizando el Método de Montecarlo. Tesis M.Sc. en Ciencias con Mención Física Médica. Lima, Perú, Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ciencias, 2004. 75 p.

Aguirre Ancienta, A.H.

Metodología para el Mejoramiento de la Seguridad y Disponibilidad de la Operación del Reactor Nuclear de Investigación RP-10 del IPEN. Tesis Ingeniero Industrial. Lima, Perú, Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Industrial y de Sistemas, 2004. 138 p.

LL. VISITAS DE EXPERTOS Y OTRAS PERSONALIDADES

LL.1 Misiones de Expertos Internacionales

Charles de Novión
XI Encuentro Científico Internacional de Verano, ECI 2004-v Lima, Perú
02-05.01.2004

Bryan Chakaomucos
XI Encuentro Científico Internacional de Verano, ECI 2004-v Lima, Perú
02-05.01.2004

Richard Baum
XI Encuentro Científico Internacional de Verano, ECI 2004-v Lima, Perú
02-05.01.2004

Patricio Gonzáles
XI Encuentro Científico Internacional de Verano, ECI 2004-v Lima, Perú
02-05.01.2004

Jaime Fernández Baca
XI Encuentro Científico Internacional de Verano, ECI 2004-v Lima, Perú
02-05.01.2004

Bernard Bigot
XI Encuentro Científico Internacional de Verano, ECI 2004-v Lima, Perú
02-05.01.2004

Carlos Bustamante
XI Encuentro Científico Internacional de Verano, ECI 2004-v Lima, Perú
02-05.01.2004

Tomas Kirchhausen
XI Encuentro Científico Internacional de Verano, ECI 2004-v Lima, Perú
02-05.01.2004

Edward Málaga Trillo
XI Encuentro Científico Internacional de Verano, ECI 2004-v Lima, Perú

02-05.01.2004

Marcos Milla
XI Encuentro Científico Internacional de Verano, ECI 2004-v Lima, Perú
02-05.01.2004

Augusto Becerra
XI Encuentro Científico Internacional de Verano, ECI 2004-v Lima, Perú
02-05.01.2004

Andreas Cornelius Hoefnagel
Taller Nacional de Ganglio Centinela y Cirugía Radioguiada
26-30.01.2004

Bernardo Aizen
Andreas Cornelius Hoefnagel
Taller Nacional de Ganglio Centinela y Cirugía Radioguiada
26-30.01.2004

Wagner Nieto
Misión de Asesoramiento Automatización de la Planta de Producción de Radioisótopos (PER/4/022)
15-28 Febrero 2004

Mathias Rosbach
Misión de Asesoramiento Uso de Técnicas Nucleares en Arqueología (PER/8/013)
29-02 - 03-03.2004

Olga de Bermoudes
Misión de Asesoramiento Revisión de Información Hidrogeológica Cuenca Río Piura (RLA/8/031)
15-19.03.2004

Jacek Charbucinski
Formulación de un Proyecto de Cooperación Técnica sobre el Uso de Técnicas de Prompt Gamma el Sector Minero del País
19-23.04.2004

Carla Notari
Asesoría a la Dirección General de Instalaciones en Operación de Reactores de Investigación
19-04 – 07-05.2004

Edmundo García Agudo
Seminario Nacional de Agua, Chiclayo, Perú
22-23.04.2004

Axel Dourojeanni
Seminario Nacional de Agua, Chiclayo, Perú

22-23.04.2004

Francisco Rondinelli
Revisión de las Actividades de Implementación del Plan Estratégico Institucional
21-24.04.2004

Lars Botter
Instalación de un Equipo de Termoluminiscencia en el Laboratorio de Física de la Universidad Nacional de Ingeniería
24-29.04.2004

Henrik Christiansen
Instalación de un Equipo de Termoluminiscencia en el Laboratorio de Física de la Universidad Nacional de Ingeniería

Peter Roberts
Taller Nacional sobre Incremento de la Capacidad Gerencial en el Campo Nuclear con Énfasis en una Visión Comercial
03-07.05.2004

Slimane Cherif
Revisión de la implementación del Plan Estratégico Institucional
01-03.06.2004

Stephen De Mora
Proyecto Monitoreo y Control de la Contaminación Marino-Costera. Evaluación de las Facilidades IPEN e IMARPE
15-16.06.2004

Marcos Cohen
Curso Nacional de Capacitación en Arqueometría
21- 06 - 02-7.2004

Malcoln Vickers
Instalación de un Equipo de Rayos-X en el Laboratorio Nacional de Calibraciones del Centro Nuclear RACSO (PER/0/013)
12-21.07.2004

Ferenc Kovacs
Proyecto Mejoramiento de los Servicios de Medicina Nuclear en la Frontera Perú-Ecuador (RLA/6/047) Mantenimiento de Equipo Medico Nuclear (Hospital Almanzor Aguinaga de Chiclayo y Hospital de Apoyo III de Sullana)
15-22.07.2004

Víctor Coronel
Proyecto Apoyo a la Tecnología Nuclear

PER/0/021. Asesoría en el Campo de Imágenes en Ciencias de los Materiales
19-30.07.2004

Luis Alberto Barba Pingarron
Proyecto Aplicación de Técnicas Nucleares para el Análisis, Conservación y Datación de Materiales Arqueológicos (PER/8/013).
Curso Nacional de Capacitación sobre Arqueometría
19-30.07.2004

Carlos Alberto Menossi
Protección Radiológica para Usuarios Finales (PER/0/021)
02-13.05.2004

Octavio Fernández
Proyecto Regional sobre Control y Erradicación de la Malaria, Convenio Hipólito Unanue. Coordinación con IPEN, MINSA y del Instituto Nacional de Salud
09.08.2004

Arvydas Stadlanikas
Taller sobre Amenaza Base de Diseño
23-25.08.2004

Guy Jones
Taller sobre Amenaza Base de Diseño
23-25.08.2004

Wolf Gutschmidt
Taller sobre Amenaza Base de Diseño
23-25.08.2004

Sarah Dickerson
Líneas de Cooperación sobre Protección Física de los Materiales e Instalaciones Nucleares entre Perú y EE.UU.
26-27.08.2004

Michael Strosinski
Líneas de Cooperación sobre Protección Física de los Materiales e Instalaciones Nucleares entre Perú y EE.UU.
26-27.08.2004

David Ek
Líneas de Cooperación sobre Protección Física de los Materiales e Instalaciones Nucleares entre Perú y EE.UU.
26-27.08.2004

Lucía Maritza Neira Anzola
Taller sobre Elaboración e Implementación de Indicadores de Rendimiento
30-08 – 03-09.2004

Aníbal Juan Figini

Asesoría en Uso de Técnicas de Medición
Utilizando Carbono-14
06-14.09.2004

Regis Ramiere
Curso Nacional de Capacitación sobre
Arqueometría
20-09 – 01-10.2004

Oscar Acuña Blanco
Revisión Proyectos de Cooperación Técnica
con el OIEA
28-08 – 03-09.2004

José Fernando García
Proyecto Uso de Técnicas Nucleares para
Mejorar los Niveles de Reproducción de
Alpacas (PER/5/027)
04-08.10.2004

Lalgudi Ramanathan
Desarrollo de un Plan de Asesoría en el
Campo de la Corrosión
11-15.10.2004

José Susuki Osamu
Asesoría al Proyecto Especial Binacional
Puyango Tumbes en el campo de la
Hidrología Subterránea
25-29.10.2004

Aliaksandr Ivaniukovich
Trabajos de Alineamiento de Rayos-X del
Laboratorio Nacional de Patronos
Secundarios
07-14.11.2004

Ronald Bishop
Curso Nacional de Capacitación sobre
Arqueometría
15-26.11.2004

Daniel Molina
Evaluación de un Ejercicio de
Intercomparación por Encargo del OIEA
29-11 – 03-12.2004

LL.2 Misiones de Expertos Institucionales: Ámbito Nacional

Mendoza, Germán
Demostraciones del Uso de los Captadores
de Yodo-131
Cusco 16-18.02.2004

Aguilar, Cecilia
Apoyo Logístico al Centro de Medicina
Nuclear del Hospital de Sullana – MINSA
Sullana, Piura .04.2004

Aguilar, Cecilia
Apoyo Logístico al Centro de Medicina
Nuclear del Hospital Almanzor Aguinaga –
(ESSALUD)
Chiclayo, Lambayeque .04.2004

Morales, Rossana
Apoyo Logístico al Centro de Medicina
Nuclear del Hospital Almanzor Aguinaga –
(ESSALUD)
Chiclayo, Lambayeque 23-25.08.2004

M. DIFUSIÓN CIENTÍFICA EN LOS MEDIOS DE COMUNICACIÓN

Modesto Montoya
Género : Nota Periodística
Tema : Las Vacas Locas. Carne
Contaminada, Transplantes o Transfusión
Contagian el Mal
Medio : Diario El Comercio.
Fecha : 03.01.2004

Modesto Montoya
Género : Entrevista
Tema : IPEN Impulsará Proyectos
de Investigación Vía Concurso
Medio : Diario La República.
Fecha : 07.01.2004

Of. de RR.PP.
Género : Nota Periodística
Tema : La Inversión en Ciencia y
Tecnología y el Desarrollo Industrial
Medio : Diario Gestión
Fecha : 07.01.2004

Of. de RR.PP.
Género : Nota Periodística
Tema : Rescatar el Tanguis
Debería ser una Prioridad Nacional
Medio : Diario Oficial El Peruano
Fecha : 10.01.2004

Of. de RR.PP.
Género : Nota Periodística
Tema : Perú se Protege de las
Vacas Locas
Medio : Diario La República
Fecha : 10.01.2004

Of. de RR.PP.
Género : Nota Periodística
Tema : Exponen Avances
Nucleares
Medio : Diario Pura Verdad
Fecha : 12.01.2004

Modesto Montoya
Género : Entrevista
Tema : Aplicaciones de la Energía Nuclear
Medio : Radio Santa Rosa.
Programa Cultura Viva
Fecha : 15.01.2004

Modesto Montoya
Género : Nota Periodística
Tema : Central Atómica es Clave para Desarrollo de Medicina, Agricultura e industria. Reactor Cholo es Arma para el Progreso
Medio : Diario Ojo
Fecha : 16.01.2004

Of. de RR.PP.
Género : Nota Periodística
Tema : Proyectos Relacionados con el Desarrollo Nacional
Medio : Revista Medio Empresarial
Fecha : 01.2004

Of. de RR.PP.
Género : Nota Periodística
Tema : El IPEN Informa
Medio : Revista Proactivo
Fecha : 01.2004

Modesto Montoya
Género : Entrevista
Tema : El Sol en la Tierra. El Primer Reactor de Fusión Nuclear de la Humanidad
Medio : Revista Etecé
Fecha : 02.2004

Modesto Montoya
Género : Entrevista
Tema : ¿Cómo Optimizar Nuestros Esfuerzos para la Investigación?
Medio : Revista Agenda Educativa.
Fecha : 02.2004

Modesto Montoya
Género : Entrevista
Tema : Los Meteoritos
Medio : Diario Arequipa al Día
Fecha : 08.02.2004

Modesto Montoya
Género : Nota Periodística
Tema : Seis Mil Científicos se Reúnen en Lima
Medio : Diario Perú 21
Fecha : 09.02.2004

Modesto Montoya
Género : Entrevista

Tema : Aplicaciones de la Energía Nuclear.
Medio : Radio 1160. Programa La Hora del Consumidor
Fecha : 13.02.2004

Modesto Montoya
Género : Entrevista
Tema : ¿Cómo Optimizar Nuestros Esfuerzos para la Investigación?
Medio : Revista Agenda Educativa
Fecha : 02.2004

Of. de RR.PP.
Género : Nota Periodística
Tema : Cuidado con Rayos-X Informales
Medio : Diario Ojo
Fecha : 19.03.2004

Of. de RR.PP.
Género : Nota Periodística
Tema : Establecimientos de Rayos-X Deben Tener Licencia del IPEN
Medio : Diario Gestión Médica
Fecha : 22-28.03.2004

Modesto Montoya
Género : Entrevista
Tema : Agua Atómica
Medio : Revista Caretas
Fecha : 25.03.2004

Staff SERA
Genero : Crónica Científica
Tema : Radiactividad en Alimentos
Medio : Revista Alimentos No. 10 p. 35-37
Fecha : 04.2004

Modesto Montoya, Rossana Morales
Género : Entrevista
Tema : Elaboran Sustancia Radiactiva que Reduce Sufrimiento de Enfermos Terminales. Científicos Cholos Alivian Dolor del Cáncer
Medio : Diario Ojo
Fecha : 11.04.2004

Of. de RR.PP.
Género : Nota Periodística
Tema : Los Peligros de la Radiación Ionizante el 70% de Equipos de Rayos-X Inspeccionados Funcionan Mal
Medio : Diario El Comercio
Fecha : 14.04.2004

Renán Ramírez

Género : Entrevista
 Tema : Rayos-X
 Medio : Radio CPN
 Fecha : 15.04.2004

Modesto Montoya, Conrado Seminario
 Género : Entrevista
 Tema : Avances en la Medicina Nuclear del Perú. Juntos Contra el Dolor del Cáncer Terminal
 Medio : Diario El Peruano: Sección Ciencia
 Fecha : 17.04.2004

Staff SERA
 Género : Nota Periodística
 Tema : Alerta a Población por Mal Uso de Rayos-X en Consultorios
 Medio : Diario Expreso
 Fecha : 20.04.2004

Renán Ramírez
 Género : Entrevista
 Tema : Rayos-X
 Medio : Radio Ke Buena
 Fecha : 20.04.2004

Staff SERA
 Género : Nota Periodística
 Tema : Todos Ganan con Energía Nuclear
 Medio : Diario Ojo
 Fecha : 24.04.2004

Modesto Montoya
 Género : Entrevista
 Tema : Aplicaciones de la Energía Nuclear
 Medio : Canal 45 TV. Programa Educación y Democracia
 Fecha : 27.04.2004

Modesto Montoya
 Género : Entrevista
 Tema : Samario 153
 Medio : Canal 5TV
 Fecha : 29.04.2004

Of. de RR.PP.
 Género : Nota Periodística
 Tema : Samario para el Calvario
 Medio : Revista Caretas
 Fecha : 29.04.2004

Rossana Morales
 Género : Entrevista
 Tema : Uso de Samario en el Manejo del Dolor Metastásico
 Medio : Canal 2TV, Programa La Boca del Lobo
 Fecha : 04.2004

Rossana Morales
 Género : Entrevista
 Tema : Uso de Samario en el Manejo del Dolor Metastásico
 Medio : Canal 5TV, Programa Buenos Días Perú
 Fecha : 04.2004

Rossana Morales
 Género : Nota Periodística
 Tema : Uso de Samario en el Manejo del Dolor Metastásico
 Medio : Diario OJO
 Fecha : 04.2004

Of. de RR.PP.
 Género : Nota Periodística
 Tema : Irradiación para Exportar
 Medio : Revista Energía y Negocios
 Fecha : 04.2004

Of. de RR.PP.
 Género : Nota Periodística
 Tema : Cursos de Tecnología de Punta
 Medio : Revista Medio Empresarial
 Fecha : 04.2004

Modesto Montoya
 Género : Entrevista
 Tema : El Átomo y la Radiactividad. Visiones de Sabio
 Medio : Revista Etecé
 Fecha : 01.05.2004

Modesto Montoya
 Género : Entrevista
 Tema : Aplicaciones de la Energía Nuclear
 Medio : Canal 7TV
 Fecha : 03.05.2004

Modesto Montoya
 Género : Entrevista
 Tema : Agua Atómica
 Medio : Radio Santa Rosa. Programa Cultura Viva
 Fecha : 06.05.2004

Modesto Montoya
 Género : Entrevista
 Tema : Tópicos de Energía Nuclear
 Medio : Canal 7TV. Programa Presencia Cultural
 Fecha : 07.05.2004

Modesto Montoya
 Género : Entrevista

Tema : Parece que va a Llover.
Apocalíptica Versión del Efecto Invernadero
se Estrena en una Lima Sedienta
Medio : Revista Caretas
Fecha : 08.05.2004

Modesto Montoya; Santiago Regalado
Género : Entrevista
Tema : Mil Casos de Cáncer al Año
por el Mal Uso de Rayos- X
Medio : Diario Perú 21. Sección
Ciudad
Fecha : 10.05.2004

Renán Ramírez
Género : Entrevista
Tema : Tema Rayos-X
Medio : Radio Programas del Perú
Fecha : 18.05.2004

Of. de RR.PP.
Género : Nota Periodística
Tema : En el Callao Fiscalizarán
los Servicios de Rayos-X
Medio : Diario Perú 21
Fecha : 20.05.2004

Modesto Montoya
Género : Nota Periodística
Tema : Inspeccionan Uso de
Aparatos de Rayos-X en el Callao
Medio : Diario El Vocero
Fecha : 21.05.2004

Modesto Montoya
Género : Nota periodística
Tema : Supervisarán Consultorios
que Prestan Servicios de Rayos-X
Medio : Diario El Chino
Fecha : 21.05.2004

Modesto Montoya
Género : Nota Periodística
Tema : Supervisarán Servicios de
Rayos-X en el Callao
Medio : Diario Expreso
Fecha : 21.05.2004

Of. de RR.PP.
Género : Nota Periodística
Tema : Supervisan Servicios de
Rayos-X en el Callao
Medio : Diario Perú 21
Fecha : 21.05.2004

Of. de RR.PP.
Género : Nota Periodística
Tema : Chequean Máquinas de
Rayos-X
Medio : Diario Ojo

Fecha : 21.05.2004

Of. de RR.PP.
Género : Nota Periodística
Tema : Controlan Equipos de
Rayos-X en el Callao
Medio : Diario El Comercio
Fecha : 21.05.2004

Modesto Montoya
Género : Nota Periodística
Tema : Guarda con los Rayos-X
Medio : Diario Aja
Fecha : 21.05.2004

Of. de RR.PP.
Género : Nota Periodística
Tema : Chequean Máquinas de
Rayos-X
Medio : Diario Ojo
Fecha : 21.05.2004

Marco Munive
Género : Entrevista
Tema : Consultorios de Rayos-X
son la Muerte
Medio : Diario El Trome
Fecha : 21.05.2004

Marco Munive
Género : Entrevista
Tema : Centros de Rayos-X
Operan sin Licencia
Medio : Diario La República
Fecha : 21.05.2004

Modesto Montoya
Género : Entrevista
Tema : Tópicos de Energía Nuclear
Medio : Canal 7TV
Fecha : 31.05.2004

Roque Cano
Género : Nota Periodística
Tema : Uso de Samario en el
Manejo del Dolor Metastásico
Medio : Diario El Comercio
Fecha : 05.2004

Staff CEMN
Género : Nota Periodística
Tema : Uso de Samario en el
Manejo del Dolor Metastásico
Medio : Diario Oficial El Peruano
Fecha : 05.2004

Staff del CEMN
Género : Nota Periodística
Tema : Uso de Samario en el
Manejo del Dolor Metastásico

Medio : Portal de Periodistas Científicos de la Red Peruana
Fecha : 05.2004

Of. de RR.PP.
Género : Nota Periodística
Tema : Correcta Utilización de Rayos-X
Medio : Revista Medio Empresarial
Fecha : 05.2004

Modesto Montoya
Género : Nota Periodística
Tema : Aplicaciones de Radiotrazadores y Fuentes de Radiación en la Industria
Medio : Revista Construcción, Energía & Minas
Fecha : 05-06.2004

Modesto Montoya
Género : Nota Periodística
Tema : Costos de las Energía Alternativas
Medio : Revista Construcción, Energía & Minas
Fecha : 05- 06.2004

Modesto Montoya
Género : Nota Periodística
Tema : El Hidrógeno como Energía Almacenable
Medio : Revista Construcción, Energía & Minas
Fecha : 05- 06.2004

Modesto Montoya
Género : Nota Periodística
Tema : ¿Qué es un Repositorio Nuclear?
Medio : Revista Construcción, Energía & Minas
Fecha : 05- 06.2004

Modesto Montoya
Género : Nota Periodística
Tema : Usos Industriales de la Tecnología Nuclear
Medio : Revista Construcción, Energía & Minas
Fecha : 05- 06.2004

Modesto Montoya
Género : Nota Periodística
Tema : Aplicaciones de la Energía Nuclear en Minería
Medio : Revista Construcción, Energía & Minas
Fecha : 05- 06.2004

Modesto Montoya
Género : Nota Periodística
Tema : Trazadores en la Minería y Centrales Hidráulicas
Medio : Revista Construcción, Energía & Minas
Fecha : 05-06.2004

Modesto Montoya
Género : Entrevista
Tema : Aplicaciones de la Energía Nuclear
Medio : Radio Programas del Perú. Programa Agenda Educativa
Fecha : 05.06.2004

Of. de RR.PP.
Género : Nota Periodística
Tema : Seguridad en el IPEN
Medio : Revista Proactivo
Fecha : 06 - 07.2004

Modesto Montoya, Marcos Cohen
Género : Entrevista
Tema : Protección Radiológica y Uso de las Radiaciones en Arqueología
Medio : Radio Programas del Perú
Fecha : 28.06.2004

Staff SERA
Genero : Crónica Científica
Tema : Irradiación de Carnes
Medio : Revista Alimentos No. 11 p. 45-47
Fecha : 06.2004

Modesto Montoya
Género : Entrevista
Tema : Los Avances Científicos y Tecnológicos de Nuestro País. Aporte de la Energía Nuclear
Medio : Canal 9 TV
Fecha : 03.07.2004

Modesto Montoya
Género : Entrevista
Tema : Aplicaciones de la Energía Nuclear
Medio : Radio Filarmónica
Fecha : 23.07.2004

Roque Cano
Género : Entrevista
Tema : Medicina Nuclear para el Público en General
Medio : Radio CPN (Programa La Hora Medica)
Fecha : 07.2004

Agustín Zúñiga

Género : Entrevista
Tema : Moderno Reactor de Sudamérica está en el Perú
Medio : Revista Perú Ancash
Fecha : 07 - 08.2004

Of. de RR.PP.
Género : Nota Periodística
Tema : Seis Mil Científicos se Reúnen en Lima
Medio : Diario Perú 21
Fecha : 02.08.2004

Of. de RR.PP.
Género : Nota Periodística
Tema : Roban Material Radiactivo que Produciría Cáncer
Medio : Diario Correo
Fecha : 07.08.2004

Of. de RR.PP.
Género : Nota Periodística
Tema : Choros no Saben que Pueden Morir Feo - Roban Material Radiactivo
Medio : Diario Aja
Fecha : 07.08.2004

Of. de RR.PP.
Género : Nota Periodística
Tema : Lima en Peligro por Robo de dos Fuentes Radiactivas
Medio : Diario Extra
Fecha : 07.08.2004

Of. de RR.PP.
Género : Nota Periodística
Tema : Alerta Nuclear en Lima
Medio : Diario El Popular
Fecha : 08.08.2004

Modesto Montoya
Género : Entrevista
Tema : Pérdida de Fuentes Radiactivas de Cesio
Medio : CPN Radio
Fecha : 09.08.2004

Modesto Montoya
Género : Entrevista
Tema : Pérdida de Fuentes Radiactivas de Cesio
Medio : Radio Programas del Perú.
RPP Noticias
Fecha : 09.08.2004

Modesto Montoya
Género : Conferencia de Prensa
Tema : Pérdida de Fuentes Radiactivas de Cesio

Medios : Canal N, Canal 2TV, Telemundo, Canal 5TV
Fecha : 09.08.2004

Modesto Montoya
Género : Entrevista
Tema : Pérdida de Fuentes Radiactivas de Cesio
Medio : Canal 4TV, Noticiero Matutino
Fecha : 10.08.2004

Of. de RR.PP.
Género : Nota Periodística
Tema : Al Menos 10 Empresas Ilegales Operan con Fuentes Radiactivas
Medio : Diario La República
Fecha : 10.08.2004

Of. de RR.PP.
Género : Nota Periodística
Tema : Especialistas Buscan Material Radiactivo en Fundiciones de Lima
Medio : Diario Correo
Fecha : 10.08.2004

Of. de RR.PP.
Género : Nota Periodística
Tema : Incrementan Búsqueda de Fuentes de Cesio-137
Medio : Diario Perú 21
Fecha : 10.08.2004

Modesto Montoya
Género : Entrevista
Tema : Pérdida de Fuentes Radiactivas de Cesio
Medio : Radio Miraflores
Fecha : 11.08.2004

Modesto Montoya
Género : Entrevista
Tema : Tema Fuentes de Cesio Robadas - Crece la Amenaza Radiactiva en Lima
Medio : Diario Extra
Fecha : 11.08.2004

Modesto Montoya
Género : Entrevista
Tema : Pérdida de Fuentes Radiactivas de Cesio
Medio : CPN Radio, Programa En Defensa del Consumidor
Fecha : 11.08.2004

Modesto Montoya
Género : Entrevista
Tema : Ley de Ciencia, Tecnología e Innovación

Medio : Radio Programas del Perú,
Programa Avance Educativo
Fecha : 14.08.2004

Modesto Montoya
Género : Nota Periodística
Tema : SOS Robo de Fuentes
Radiactivas
Medio : Diario Expreso
Fecha : 15.08.2004

Modesto Montoya
Género : Entrevista
Tema : Aplicaciones de la Energía
Nuclear
Medio : Radio La Inolvidables,
Suma de Opiniones
Fecha : 27.08.2004

Staff SERA
Genero : Crónica Científica
Tema : IPEN Fiscaliza Radiaciones
en CAMISEA
Medio : Revista Rumbo Minero
Fecha : 08.2004

Modesto Montoya
Género : Entrevista
Tema : Tecnología Nuclear se
Emplea en la Salud y en todos los Sectores
Productivos. Ciencia al Servicio de la Vida
Medio : Diario El Peruano
Fecha : 04.09.2004

Modesto Montoya
Género : Conferencia de Prensa
Tema : Banco de Tejidos
Medios : Canal 7TV, Radio Nacional,
CPN Radio, Radio 1160
Fecha : 07.09.2004

Modesto Montoya
Género : Nota Periodística
Tema : IPEN Puede Solucionar
Conflictos Ambientales
Medio : Diario El Peruano
Fecha : 08.09.2004

Modesto Montoya
Género : Entrevista
Tema : Aplicaciones de la Energía
Nuclear
Medio : Radio 1160, La Hora del
Consumidor
Fecha : 09.09.2004

Modesto Montoya
Género : Nota Periodística
Tema : Incrementan Búsqueda de
Fuentes de Cesio-137

Medio : Diario Perú 21
Fecha : 10.09.2004

Modesto Montoya
Género : Nota Periodística
Tema : Especialistas Buscan
Material Radiactivo en Fundiciones de Lima
Medio : Diario Correo
Fecha : 10.09.2004

Modesto Montoya
Género : Entrevista
Tema : Fuentes de Cesio Robadas.
Crece la Amenaza Radiactiva en Lima
Medio : Diario Extra
Fecha : 11.09.2004

Modesto Montoya
Género : Nota Periodística
Tema : SOS Robo de Fuentes
Radiactivas
Fuente : Diario Expreso
Fecha : 15.09.2004

Modesto Montoya
Género : Nota Periodística
Tema : Convocatoria del Instituto
Peruano de Energía Nuclear: Cooperación
Internacional, Innovación y Competitividad
Medio : Revista Gerencia de IPAE
Fecha : 09.2004

Staff SERA
Genero : Crónica Científica
Tema : Normalización de la
Irradiación de Alimentos ¿Resistencia
Psicológica?
Medio : Revista Alimentos No. 13 p.
42-43
Fecha : 09.2004

Modesto Montoya
Género : Nota Periodística
Tema : Convocatoria del Instituto
Peruano de Energía Nuclear- Cooperación
Internacional, Innovación y Competitividad
Medio : Revista Gerencia de IPAE
Fecha : 09.2004

Modesto Montoya
Género : Entrevista
Tema : Tema Medicina Nuclear
Medio : Revista Alimentación y
Salud
Fecha : 11.2004

Modesto Montoya
Género : Crónica Científica
Tema : Ciencias y Tecnologías
Nucleares

Medio : Enciclopedia Temática del Perú. © Orbis Ventures S.A.C difundida por el Diario El Comercio
Fecha : 11.2004

Modesto Montoya
Género : Entrevista
Tema : IPEN Canalizará Apoyo a Empresas que Desarrollen Temas de Interés
Medio : Radio Programas del Perú, RPP Noticias
Fecha: 03.11.2004

Modesto Montoya
Género : Entrevista
Tema : IPEN Ofrece Transferir Recursos al Sector Productivo
Medio : Canal 7TV
Fecha : 11.11.2004

Modesto Montoya
Género : Entrevista
Tema : IPEN Ofrece Transferir Recursos al Sector Productivo
Medio : Radio Programas del Perú, RPP Noticias
Fecha : 14.11.2004

Modesto Montoya
Género : Entrevista
Tema : Rayos-X.
Medio : Canal 4TV
Fecha : 21.11.2004

Modesto Montoya
Género : Entrevista
Tema : Aplicaciones de la Energía Nuclear
Medio : Radio Cadena, Opciones
Fecha : 18.12.2004

Modesto Montoya
Género : Entrevista
Tema : Aplicaciones de la Energía Nuclear
Medio : Canal 19TV, Al Encuentro con Jesús
Fecha : 30.12.2004

ÍNDICE DE AUTORES

A

Aguirre A.	84
Agurto G.	149
Alarcón M.	193
Alvaro G.	193
Aparicio C.	57,81
Arrieta R.	55
Avila J.	203

B

Babiche I.	47
Baltuano O.	60,71
Bauer J.	166
Benavente T.	181
Benites M.	151
Bruna R.	74,87

C

Canaza D.	55
Cano R.	145
Carpio E.	19
Carracedo C.	145
Casanova L.	145
Castro E.	155,159
Castro J.	87,93
Castro M.	151
Cavero L.	151
Cisneros F.	145
Comina G.	37,138
Cóndor R.	151
Condori J.	99,102,106,109,119
Corahua A.	151

D

Defilippi L.	181
Díaz J.	132

E

Elguera V.	193
Espinoza J.	163,166,172
Espinoza L.	193
Espinoza M.	163,166
Estrada W.	3,12,19,37,132,138

F

Félix J.	55
Frants I.	26

G

Gago J.	65
Gallardo A.	93
García M.	65
Gayoso C.	193
Giol R.	55
Gómez H.	145
Gómez J.	57,78,81
González S.	187
Guerrero J.	145

H

Huamanlazo P.	123,129,184
---------------	-------------

J

Jara R.	187
---------	-----

L

Lázaro G.	57,78,81,84
León C.	47
León K.	155,159
León L.	145
Linares M.	123,129,184
Ly M.	166

M

Maghella G.	99,102,109,119
Maguiña J.	102,106,109,119
Maldonado M.	123
Mamani E.	99,109,115,119
Manrique E.	26,33
Martínez J.	187
Martínez R.	151
Medina E.	215,217
Miranda H.	57,81
Miranda J.	151
Montoya Y.	163,166
Morales R.	145
Morote M.	149
Munive M.	60,71
Muñoz L.	145

N

Nájera M. 193
Notari C. 93

O

Olórtegui J. 163
Osoreo J. 187
Ovalle E. 55

P

Petzoldt I. 149
Ponce S. 19,132
Prado M. 6

Q

Quintana Ma. 12
Quintana M. 166
Quispe F. 123

R

Ramirez J. 149
Ramos B. 149
Ramos F. 55
Ravello Y. 63,65,183
Revilla A. 47
Robles A. 149
Rodríguez J. 3,12,19,37,132
Rojas J. 26,33
Rojas R. 102,106,115

S

Saavedra P. 145
Salazar A. 55
Sánchez R. 145
Santiago J. 6
Sebastián C. 109,119,
Seminario C. 151
Solís J. 3,12,19,37,132,138

T

Timoteo O. 172
Tordocillo J. 55

U

Urcia A. 55

V

Valencia J. 99,113,115,213
Vallejos C. 145
Vargas J. 123,129,184
Vela M. 55
Veramendi E. 55
Visurraga R. 106
Vivanco M. 123,129,184

Z

Zapata L. 55,87
Zapata M. 74
Zevallos M. 193
Zúñiga A. 74
Zúñiga P. 19



Informe Científico Tecnológico 2004 por Antonio Prado, Anita Robles, José Solís, Juan Rodríguez, Eds. se distribuye bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-
NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).