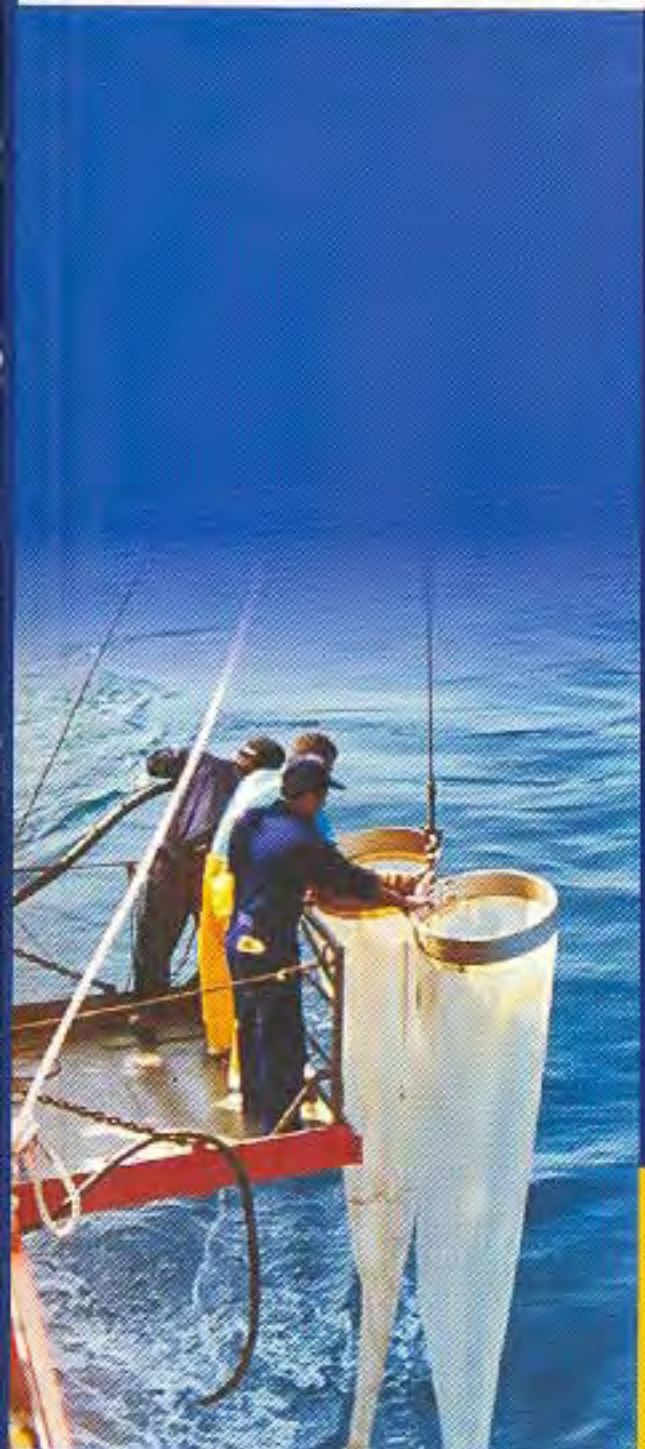




# Informe Científico Tecnológico 2002

**Instituto Peruano de Energía Nuclear**



**FÍSICA Y QUÍMICA NUCLEAR  
INGENIERÍA NUCLEAR  
CIENCIA DE LOS MATERIALES  
APLICACIONES EN LA INDUSTRIA  
APLICACIONES EN BIOLOGÍA  
APLICACIONES EN MEDICINA  
APLICACIONES EN EL MEDIO AMBIENTE  
PROTECCIÓN Y SEGURIDAD RADIOLÓGICA  
SEGURIDAD NUCLEAR  
ASPECTOS DE GESTIÓN**





**INFORME CIENTIFICO TECNOLÓGICO  
2002**

## INSTITUTO PERUANO DE ENERGIA NUCLEAR – IPEN

Presidente: Dr. Modesto Montoya Zavaleta

Director Ejecutivo: Dr. Aurelio Arbildo López

Comité Editor: Carlos Gayoso Caballero  
Teobaldo Cuya Guizado  
Anita Robles Ñique  
Antonio Prado Cuba

Diseño de Carátula: Carlos Linares Alvarez

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](mailto:postmaster@ipen.gob.pe)

---

**ISSN 1684-1662**

Hecho el Depósito Legal N° 1501012003-4067

© IPEN, 2003

Se permite reproducción parcial y referencial, con la obligación de citar la fuente “**Informe Científico – Tecnológico 2002 del IPEN**”.

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

Impreso en Lima - Perú

Julio 2003

# CONTENIDO

	<b>Página</b>
<b>PRESENTACIÓN</b>	<b>V</b>
<b>INDICE DE TRABAJOS</b>	<b>VII</b>
<b>I. FÍSICA Y QUÍMICA NUCLEAR</b>	<b>1</b>
<b>II. INGENIERÍA NUCLEAR</b>	<b>33</b>
<b>III. CIENCIA DE LOS MATERIALES</b>	<b>79</b>
<b>IV. APLICACIONES EN LA INDUSTRIA</b>	<b>115</b>
<b>V. APLICACIONES EN BIOLOGIA</b>	<b>129</b>
<b>VI. APLICACIONES EN MEDICINA</b>	<b>151</b>
<b>VII. APLICACIONES EN EL MEDIO AMBIENTE</b>	<b>165</b>
<b>VIII. PROTECCIÓN Y SEGURIDAD RADIOLOGICA</b>	<b>201</b>
<b>IX. SEGURIDAD NUCLEAR</b>	<b>217</b>
<b>X. ASPECTOS DE GESTIÓN</b>	<b>233</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>247</b>
A. Publicaciones	
B. Presentación de Trabajos a Congresos	
C. Cursos	
D. Eventos Internacionales	
E. Proyectos / Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) Bienio 2001 – 2002	
F. Proyectos / Acuerdo Regional para la Cooperación en América Latina (ARCAL)	
G. Proyectos Regionales OIEA	
H. Contratos de Investigación Ejecutados	
I. Conferencias	
J. Tesis	
K. Visitas de Expertos y otras Personalidades	
<b>ÍNDICE DE AUTORES</b>	<b>261</b>

# PRESENTACIÓN

**E**l Instituto Peruano de Energía Nuclear, cumpliendo sus funciones de investigar y promover acciones para el desarrollo de la energía nuclear y sus aplicaciones en el país, desarrolla permanentemente trabajos en áreas como física nuclear, química nuclear, ingeniería nuclear, seguridad nuclear, protección y seguridad radiológica, ciencias de materiales, medio ambiente, salvaguardias, aplicaciones nucleares, producción de radioisótopos, y medicina nuclear. Asimismo, realiza labores de capacitación y entrenamiento a profesionales y estudiantes.

Para estos fines cuenta con instalaciones científico tecnológicas de avanzada, así como con un plantel de personal científico y técnico altamente calificado.

Entre las principales instalaciones con las que cuenta el IPEN, destaca el Centro Nuclear “Oscar Miró Quesada de la Guerra RACSO”, donde se realiza investigaciones nucleares y aplicaciones en diversos campos como la medicina y la ciencia de los materiales, entre otros.

En su Sede Central, se cuenta con el Centro Superior de Estudios Nucleares, donde se brinda capacitación y entrenamiento a profesionales de diversas áreas y se desarrolla maestrías conjuntamente con las universidades. Adicionalmente, cuenta con un Centro de Medicina Nuclear, ubicado en el Instituto de Enfermedades Neoplásicas, donde se brinda servicios de diagnóstico y tratamiento de algunas enfermedades oncológicas.

Dentro de su función supervisora de las radiaciones ionizantes, el IPEN tiene a su cargo el control, a nivel nacional, del manejo de las radiaciones, para cuyo efecto lleva a cabo inspecciones, otorga licencias, emite normas técnicas y verifica el material nuclear utilizado en el territorio nacional.

Convencidos que la divulgación masiva de los trabajos concluidos constituye un aporte importante al desarrollo nacional, el IPEN ha elaborado el presente “Informe Científico Tecnológico 2002”, que agrupa 59 trabajos en 10 áreas temáticas, y está dirigido al sector público, sector empresarial, comunidad científica, comunidad educativa y público en general.

Finalmente, el IPEN viene estrechando lazos de colaboración con las instituciones científicas y productivas del país, para cumplir con el Plan Estratégico que tiene como visión el desarrollo científico y tecnológico del país, para hacer del Perú una nación con futuro.

Lima, Julio de 2003

**MODESTO MONTOYA ZAVALA**

Presidente

Instituto Peruano de Energía Nuclear

# INDICE DE TRABAJOS

		Página
<b>I. FISICA Y QUIMICA NUCLEAR</b>		<b>1</b>
1	NEUTRON ACTIVATION ANALYSIS AT THE PERUVIAN INSTITUTE OF NUCLEAR ENERGY <i>Bedregal P.</i>	3
2	DETERMINATION OF TRACE ELEMENTS IN WATER SAMPLES BY $k_0$ BASED INSTRUMENTAL NEUTRON ACTIVATION ANALYSIS USING SODIUM AS COMPARATOR <i>Mendoza P.; Ubillús M.; Torres B.; Montoya E.; Bedregal P.</i>	8
3	MONTE-CARLO SIMULATION FOR FRAGMENT MASS AND KINETIC ENERGY DISTRIBUTIONS FROM NEUTRON INDUCED FISSION OF $^{235}\text{U}$ <i>Montoya M.; Saettone E.; Rojas J.</i>	13
4	QUALITY ASSURANCE OF ANALYTICAL RESULTS IN ENVIRONMENTAL SAMPLES BY MEANS OF PARTICIPATION IN INTERCOMPARISON ROUND <i>Torres B.; Mendoza P.; Olivera P.; Ubillús M.; Montoya E.; Bedregal P.</i>	18
5	ANÁLISIS NO DESTRUCTIVO DE ALEACIONES POR FLUORESCENCIA DE RAYOS X <i>Olivera P.</i>	25
6	ANÁLISIS DE SEDIMENTOS POR FLUORESCENCIA DE RAYOS X EN ENERGÍA DISPERSIVA <i>Olivera P.</i>	29
<b>II. INGENIERIA NUCLEAR</b>		<b>33</b>
7	DIMENSIONES DE LA ZONA SENSIBLE DE UN DETECTOR SEMICONDUCTOR COAXIAL DE GeHP <i>Vela M.; Gomes J.</i>	35
8	WIMCIT: AN IN-HOUSE DEVELOPMENT INTEGRATED CODE FOR NEUTRON ANALYSIS IN MTR REACTORS WITH MIXED CORE <i>Cuya T.; Medina R.</i>	37
9	SIMULACION CON EL CÓDIGO MCNP EN EL REACTOR NUCLEAR RP-10 EN SU CONFIGURACIÓN #14, BOC <i>Lázaro G.; Parreño F.</i>	41
10	DETERMINACIÓN DE LA TEMPERATURA NEUTRÓNICA EN LAS FACILIDADES DE IRRADIACIÓN DEL REACTOR NUCLEAR RP-10 <i>Bruna R.; Palacios D.; Montoya E.</i>	45
11	DETERMINACION DE FLUJOS TÉRMICOS Y EPITÉRMICOS MEDIANTE $K_0$ <i>Bruna R.; Palacios D.</i>	49
12	EVALUACIÓN DE FLUJO DE NEUTRONES TERMICOS Y EPITERMICOS EN UN ELEMENTO COMBUSTIBLE NORMAL Y UNA CAJA DE IRRADIACIÓN EN UN REACTOR TIPO MTR <i>Gómez J.; Zapata M.; Brunan R.; Lazaro G.; Parreño F.</i>	52

13	CARACTERIZACION EXPERIMENTAL DE LA COLUMNA TERMICA DEL REACTOR RP-10 <i>Miranda H.; Gómez J.; Aparicio C.; Lázaro G.</i>	58
14	DETERMINACIÓN DE LA POTENCIA TÉRMICA DEL REACTOR NUCLEAR RP-0 POR LAS TÉCNICAS DE RUIDO NEUTRÓNICO Y ACTIVACIÓN NEUTRÓNICA <i>Zapata M.; Bruna R.; Parreño F.</i>	61
15	QUÍMICA DEL AGUA EN EL REACTOR RP-10 DEL CENTRO NUCLEAR "RACSO" <i>Babiche I.; Revilla A.; Palomino R.</i>	65
16	MEJORAS EN LA DETERMINACIÓN DEL QUEMADO DE LOS ELEMENTOS COMBUSTIBLES DEL REACTOR RP-10 (NÚCLEOS 14 AL 24) <i>Cuya T.</i>	70
17	DETERMINACION DEL INVENTARIO RADIOACTIVO DE LOS ELEMENTOS COMBUSTIBLES GASTADOS DEL REACTOR RP-10 <i>Cuya T.; Llamas I.</i>	73
18	LA GESTION DE LOS RESIDUOS RADIOACTIVOS, UN SERVICIO DE PROTECCIÓN AMBIENTAL <i>Rodríguez G.; Cruz W.</i>	77
	<b>III. CIENCIA DE MATERIALES</b>	<b>79</b>
19	SIMULACION CON MONTE CARLO DE LA ORDENACION LOCAL Y FORMACIÓN DE AGREGADOS EN UNA ALEACIÓN MODELO BIDIMENSIONAL <i>Rojas J.; Manrique E.; Torres E.</i>	81
20	PRODUCCION DE CENTROS DE COLOR EN EL TOPACIO NATURAL IRRADIADO CON NEUTRONES EN EL NUCLEO DEL REACTOR RP-10 <i>Gomez J.; Solis J.; Parreño F.; Lazaro G.; Vela M.</i>	87
21	ACTIVACION DEL TOPACIO NATURAL IRRADIADO POR NEUTRONES EN EL NUCLEO DEL REACTOR RP-10 <i>Gomez J.; Parreño F.; Lazaro G.; Vela M.</i>	92
22	SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF ROUGH ELECTROCHROMIC PHOSPHOTUNGSTIC ACID FILMS OBTAINED BY SPRAY-GEL PROCESS <i>Medina A.; Solis J.; Rodríguez J.; Estrada W.</i>	96
23	SPRAY PYROLYSIS DEPOSITED ZINC OXIDE FILMS FOR PHOTO-ELECTROCATALYTIC DEGRADATION OF METHYL ORANGE: INFLUENCE OF THE pH <i>Quintana M.; Ricra E.; Rodríguez J.; Estrada W.</i>	101
24	CHARACTERIZATION AND BUTANOL/ETHANOL SENSING PROPERTIES OF MIXED TUNGSTEN OXIDE AND COPPER TUNGSTATE FILMS OBTAINED BY SPRAY-SOL-GEL <i>Damián M.; Rodríguez Y.; Solis J.; Estrada W.</i>	108
	<b>IV. APLICACIONES EN LA INDUSTRIA</b>	<b>115</b>
25	EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DE LA LAGUNA TERCIARIA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (UNITRAR) DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA, MEDIANTE EL EMPLEO DE I-131 <i>Condori J.; Maghella G.; Mamani E.; Balboa M.; Fustamante N.</i>	117

26	MINAS DE GRAFITO STAEDTLER® COMO ELECTRODO DE TRABAJO DESCARTABLE PARA VOLTAMETRIA DE REDISOLUCION ANODICA <i>Chacón E.; Montoya E.</i>	119
----	---	-----

## **V. APLICACIONES EN BIOLOGIA** **129**

27	INTRACELLULAR LOCALIZATION OF A PHOTSENSITIZER AND CHLORIDE CHANNEL ACTIVATION IN ELECTROCYTES <i>Santiago J.; Prado M.</i>	131
28	DESARROLLO Y APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA FISH EN EL ESTUDIO DE LOS EFECTOS DE LAS RADIACIONES IONIZANTES <i>Espinoza M.; Oliveros N.; Quintana M.; Montez R.</i>	136
29	AISLAMIENTO Y CARACTERIZACIÓN MOLECULAR DE MICROORGANISMOS BIOOXIDANTES DE ARSENOPIRITA <i>Quintana M.; Ly M.; Bauer J.; Montoya Y.; Comallonga L.; Vassel B.; Espinoza M.; Espinoza J.</i>	142
30	CLONING LEISHMANIA TELOMERES IN YEAST BY COMPLEMENTATION <i>Espinoza J.</i>	147

## **VI. APLICACIONES EN MEDICINA** **151**

31	DIAGNOSTIC VALUE OF 99m-Tc GLUCOHEPTONATE SCINTIMAMMOGRAPHY IN THE ASSESSMENT OF PALPABLE BREAST TUMORS <i>Massardo T.; Morales R.; Alonso O.; Cano R.; Aguilar C.; León L.; Velarde R.; Vigil C.; Padhy A.</i>	153
32	LYMPHOSCINTIGRAPHY WITH 99mTc-DEXTRAN AND RADIOGUIDED BIOPSY IN SENTINEL NODE LOCALIZATION IN BREAST CANCER <i>Aguilar C.; Cano R.; Morales R.; Mendoza G. ; Saavedra P.; Mendoza G.; Lopez D.; Carlos I.; Velarde R.</i>	154
33	EVALUATION OF Tc-99m SESTAMIBI SCINTIMAMMOGRAPHY IN THE DIAGNOSIS OF BREAST CANCER PATIENTS <i>Santa Cruz R.; Morales R.; Cano R.; Aguilar C.; López D.; Carlos I.; Vigil C.; Velarde R.; Cisneros F.</i>	155
34	99m Tc -DEXTRAN LYMPHOSCINTIGRAPHY AND RADIO GUIDED BIOPSY FOR LOCALIZING THE SENTINEL NODE IN MALIGNANT MELONAMA <i>Aguilar C.; Saavedra P.; Cano R.; Morales R.; Carlos I.; Lopez D.; Leon L.; Vigil C.; Abugattas J.</i>	156
35	DIAGNOSTIC VALUE OF EARLY 99m-Tc METILENDIPHOSPHONATE SCINTIMA MMOGRAPHY IN THE ASSESSMENT OF PALPABLE BREAST TUMORS <i>Massardo T.; Alonso O.; Zhu H.; Ravishankar U.; Maunda K.; Kabasakal L.; Morales R.; Gonzalez P.; Padhy A.</i>	157
36	CAPTACIÓN FISIOLÓGICA Y ARTEFACTOS EN RASTREO CORPORAL TOTAL CON YODO 131 EN PACIENTES CON CANCER DE TIROIDES <i>Mendoza G.; Cano R.; Morales R.; Flores R.; Saavedra P.; Rojas M.; Morales J.; Salvatierra; Aguilar C.</i>	158
37	CORRELACION ENTRE ANTIGENO PROSTATICO ESPECIFICO, GAMMAGRAFIA OSEA Y GRADO HISTOLOGICO EN PACIENTES CON CANCER DE PRÓSTATA <i>Mendoza G.; Cano R.; Benavente V.; Dyer R.; Saavedra P.; Morales R.; Aguilar C.</i>	159



38	EXPERIENCIA PERUANA EN LA PRODUCCIÓN DE UN KIT LIOFILIZADO DE IgG MARCADO CON Tc- 99m <i>Petzoldt I.; Caballero J.; Robles A.; Agurto G.</i>	160
39	DISEÑO DE UNA FORMULACIÓN PARA LA OBTENCIÓN DE 99m Tc(V) – DMSA <i>Agurto G.; Caballero J.; Petzoldt I.; Otero M.; Morote M.</i>	162
	<b>VII. APLICACIONES EN EL MEDIO AMBIENTE</b>	<b>165</b>
40	RESULTADO DE LOS ISÓTOPOS AMBIENTALES OXIGENO-18 Y DEUTERIO EN AGUAS TERMALES DE “BOTERAS” <i>Valencia J.</i>	167
41	EMISION DE GASES CONTAMINANTES Y DE EFECTO INVERNADERO DEBIDO AL CONSUMO NACIONAL DE ENERGIA EN EL AÑO 2001 <i>Avila J.; Nieto M.; Arrieta R.; Anaya O.; Llamas I.</i>	170
42	REMOCIÓN DE ARSÉNICO DEL AGUA MEDIANTE IRRADIACIÓN SOLAR <i>Clido J.; Nieto J.; Ponce S.; Rodríguez J.; Solís J.; Estrada W.</i>	184
43	DETERMINACION DE BAJOS NIVELES DE TRITIO POR ENRIQUECIMIENTO ELECTROLITICO Y LECTURA POR CENTELLEO LIQUIDO <i>Rodríguez D.; Rojas R.; Valencia J.</i>	192
44	APLICACIÓN DE LOS GEOTERMOMETROS EN LA EXPLORACIÓN DE SISTEMAS GEOTÉRMICOS <i>Valencia J.</i>	196
	<b>VIII. PROTECCION Y SEGURIDAD RADIOLOGICA</b>	<b>201</b>
45	AUTOMATIZACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO QUÍMICO DE RESIDUOS LÍQUIDOS DE LA PLANTA DE GESTION DE RESIDUOS RADIATIVOS <i>Cunya E.; Aguirre A.; Ginés E.</i>	203
46	IMPACTO RADIOLÓGICO AMBIENTAL DEL CENTRO NUCLEAR RACSO: PROGRAMA DE VIGILANCIA RADIOLÓGICA AMBIENTAL <i>Osores J.; Gonzales S.; Martínez J.; López E.; Jara R.; Anaya A.</i>	205
47	CALIBRACION DOSIMETRICA DEL HAZ DE RADIACIÓN DE UNIDADES DE TELETERAPIA DE Co-60 <i>Benavente T.; Rojas E.; Celedonio E.</i>	207
48	CONTROL DE LA CONTAMINACION INTERNA EN EL CENTRO NUCLEAR DEL IPEN <i>Rodríguez D.</i>	209
49	DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN IRRADIADOR TIPO PANORAMICO <i>Benavente T.; Rojas G.; Mora B.</i>	212
50	SEGURIDAD Y VIGILANCIA RADIOLOGICA EN EL REEMPLAZO POR ROTURA DEL CABLE DE IZAJE DEL IRRADIADOR DE LA PIMU <i>Del Valle C.</i>	214
51	MEDICION DE LA RADIACION AMBIENTAL EN EL CENTRO NUCLEAR "RACSO" USANDO DOSÍMETROS TERMOLUMINISCENTES <i>Benavente T.; Celedonio E.</i>	216

	<b>IX. SEGURIDAD NUCLEAR</b>	<b>217</b>
52	MEDICION DEL COEFICIENTE DE REACTIVIDAD POR VACIO EN EL NÚCLEO 7A5 DEL REACTOR RP-0 <i>Gómez J.; Zapata M.; Bruna R.</i>	219
53	COMPARACIÓN TEORICO-EXPERIMENTAL DEL EXCESO DE REACTIVIDAD Y FLUJOS TERMICOS EN EL NÚCLEO DEL REACTOR RP-10 <i>Cuya T.; Bruna R.</i>	221
54	DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE SEGURIDAD PARA LA CONFIGURACIÓN DE NÚCLEO 7A5 DEL REACTOR RP-0 <i>Zapata M.; Bruna R.; Parreño F.; Gómez J.</i>	225
55	EFFECTOS DE REALIMENTACIÓN EN TRANSITORIOS DE EXCURSIONES DE POTENCIA POR INSERCIONES DE REACTIVIDAD EN EL NÚCLEO 23 DEL REACTOR RP10 <i>Lázaro G.</i>	229
	<b>X. ASPECTOS DE GESTION</b>	<b>233</b>
56	PARTICIPACIÓN EN ENSAYOS DE APTITUD INTERLABORATORIOS PARA EL ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DE LOS RESULTADOS DEL ANÁLISIS RADIOMÉTRICO DE MUESTRAS AMBIENTALES Y DE ALIMENTOS <i>López E.; Osoreo J.; Gonzales S.; Martínez J.</i>	235
57	EL CONSUMIDOR LIMEÑO Y SU GRADO DE INFORMACIÓN Y ACEPTACIÓN DE LOS ALIMENTOS CONSERVADOS POR IRRADIACIÓN <i>Prado A.</i>	237
58	GESTION DEL CONOCIMIENTO <i>Condori J.; Kinas D.</i>	243

# *I. Física y Química Nuclear*

# NEUTRON ACTIVATION ANALYSIS AT THE PERUVIAN INSTITUTE OF NUCLEAR ENERGY

Bedregal P. <sup>(1)</sup> [pbedregal@ipen.gob.pe](mailto:pbedregal@ipen.gob.pe)

(1) Chemistry Department – Peruvian Institute of Nuclear Energy (IPEN) / PERU

## ABSTRACT

A description of facilities, analytical procedures and present applications, for the use of neutron activation analysis technique at the Peruvian Institute of Nuclear Energy is provided, future applications of the technique are also presented.

## 1. INTRODUCTION

The Peruvian Institute of Nuclear Energy (IPEN) was created on February of 1975 with the mission of regulating, promoting, supervising and develop the application of nuclear energy on benefit of the national development and well-being of the population. The neutron activation analysis (NAA) laboratory is part of the Chemistry Department at the Institute.

In July 1978 a zero power reactor (RP-0) was constructed as a training facility for the future 10 MW research reactor. This year, the group of NAA was formed and began to applied the technique at this facility <sup>1-3</sup> as a start up of NAA activities in Peru. In 1985, a 14 MeV neutron generator (AID J-25) with a pneumatic transfer system was installed, increased the applications of NAA <sup>4-6</sup>. This facility was decommissioned in 1992. In 1988, the 10 MW research reactor (RP-10) at the Huarangal Nuclear Centre was critical for the first time and reached full power in 1989, this reactor is still working ever since.

The main purpose of the reactor is the production of isotopes (<sup>131</sup>I, <sup>99m</sup>Tc, <sup>192</sup>Ir, <sup>32</sup>P, <sup>35</sup>S, <sup>153</sup>Sm, <sup>24</sup>Na, <sup>165</sup>Dy) but, with this neutron source and the improvement of the chemistry laboratories, the possibilities of NAA application were increased as well as the use of the reactor in neutrography, neutron diffraction and prompt gamma neutron activation analysis.

The applications of the NAA at IPEN are focused in chemical analysis services to external users working in the production areas of the country and for users in the field of

research and development. The main research users are in archaeology, environment, nutrition, mining and manufacturing areas; extensive activity in training of future professionals in Chemistry and related areas are also given in the form of training stages on thesis work.

Until 1992 the comparative method was in use, however in 1993 the  $k_0$ -INAA was developed<sup>7</sup> and is being actually used.

In 1998 the Chemistry Department participated in a project supported by the IAEA on quality assurance in analytical laboratories, as a result, a quality system based on ISO/IEC 17025 Guide <sup>8</sup>, was implemented. It is understood that a lab should not only seek good results but also be efficient. The Department work out the quality manual, procedures and records. The analytical methods were validated and the habits of documentation were also acquired <sup>9-11</sup>.

In spite of the well known advantages of the technique, its application for commercial purposes are limited, so its use has been mainly for research projects.

## 2. FACILITIES FOR THE NAA

The IPEN perform NAA using the following facilities:

### 2.1. Reactor of 10 MW of power (RP-10) <sup>12</sup>

The RP-10 is a pool type reactor with a thermal power of 10 MW, generated by a core containing MTR (material testing reactor) fuel type elements ( $U_3O_8$ ) enriched to 20% in <sup>235</sup>U. Five control rods (fork type) made of cadmium, silver and indium are used to operate the reactor. It is cooled and moderated using light water, graphite and beryllium are used as reflectors. The core is at the bottom of stainless steel cylindrical and open swimming pool, 11 m deep and 4 m of diameter.

For irradiation of samples, there are 9 in-core and 16 out-core positions, 3 radial beam tubes, one tangential beam tube, a radial beam tube



for neutrography, a thermal column and a pneumatic system.

## 2.2. Irradiation facilities

For the irradiation of samples in the RP-10, a pneumatic rabbit system was installed, which consist of a PVC tube (50 m of length and 27 mm of internal diameter), connected to an Al tube of 10,5 m to the irradiation position. The tube is made of 99.7% purity aluminium inserted in an external position of the reactor core (A-1), which is at 17.9 cm from the closest fuel. The flux at this is  $2.6 \cdot 10^{13} \text{ n.cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ . The transfer time of samples is about 12 seconds. Samples are sent into polyethylene capsules of 4.75 cm length and 1.5 cm inner diameter. The vials containing samples are made of polyethylene with 1.14 cm external diameter. The vials are irradiated for a maximum time of 30 minutes.

For irradiation times longer than two hours the in core position (I-9) is used. At this position the thermal flux is  $4.10^{13} \text{ n.cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ . The samples are packed in small polyethylene bags of 1.5x1.5 cm and irradiated in aluminium cans of 6.11 cm in length and 2 cm of internal diameter with a pile up capacity of 10-12 samples.

## 2.3. Measurement facilities

The laboratory has two gamma ray spectrometers available for NAA that are installed in a laboratory close to the reactor. One of Ge detector has 15% of relative efficiency and 1.8 keV resolution at the 1332 keV line of  $^{60}\text{Co}$ . This spectrometry gamma system is used with a MCA PC card linked to a NIM ADC and the sample changer. The second Ge detector has 12% of relative efficiency and 1.8 keV of resolution for the 1332 keV line of  $^{60}\text{Co}$ .

The dbGamma program ®<sup>13</sup>, version 5. is used for data processing.

## 3. ANALYTICAL PROCEDURES

The described procedures using the pneumatic system, are validated<sup>14-15</sup> for the analysis of geological samples such as rock, soil, sediment, clay as well as archaeological ceramics, biological samples are in process. The procedure for in core irradiation for biological and geological samples are in the stage of validation.

### 3.1. Determination of short lived radionuclides by $k_0$ -INAA, using pneumatic system

200 mg sample are placed in polyethylene vials (previously washed with nitric acid) and sealed under heat. Sodium comparator is prepared depositing 2500  $\mu\text{g}$  of sodium standard solution in the vial, that contains 50 mg of cellulose, then it is evaporated under IR lamp and finally sealed using heat. Sample and comparator are packed in a polyethylene capsule to be irradiated for 10 minutes. After 900 seconds of decay time, samples are counted for 800 to 1200 seconds. Sodium comparator is counted for 500 to 800 seconds, after 2 hours of decay time (using the same sample geometry, 13.5 cm). The whole data is registered and the concentration calculated using an in house, Lab Windows based software. Elemental concentrations are calculated by software which was developed in our laboratory, using the values of nuclear constants published by DECORTE and collaborators<sup>16</sup>. Dy, Ti, Mg, Mn, Na, V, Al and Ca are analized using this procedure.

### 3.2. Determination of intermediate and long lived radionuclides by $k_0$ -INAA, using pneumatic system

Sample and comparator are prepared as described above, irradiated between 1800 to 2400 seconds and measured for the first time during 5000 to 7000 s after a 5 day decay in order to determined As, Br, Sm, Yb, La, Sc, Np, K, Na, Fe, Sb. After 10 to 20 days of decay time, a second measurement is made for 10000 to 20000 seconds to determine Ba, Cr, Ce, Co, Cs, Fe, Pa, Hf, Rb, Sc, y Zn. Sodium comparator is counted to the same geometry for 500 to 800 s. The whole data is registered and the concentration calculated using an in house, Lab Windows based software. Elemental concentrations are calculated by software which was developed in our laboratory, using the values of nuclear constants published by DECORTE and collaborators.

### 3.3. $k_0$ -INAA of intermediate and long lived radionuclides, using in core irradiation

Zirconium and gold are used for the determination of thermal to epithermal ratio (f) and the  $\alpha$  parameter. An aliquot of standard solution of each element, is deposited on a good quality filter paper and dried, using a infrared lamp. Similarly, sodium comparators are obtained by depositing 50  $\mu\text{L}$  of a 10  $\text{mg.mL}^{-1}$  solution. The pieces of dry paper are placed inside small polyethylene bags and packed in aluminium foil.

The samples (about 200 – 250 mg) are weighed and sealed in polyethylene bags. Samples, flux monitors and comparators are

alternately piled inside aluminium irradiation cans. The irradiation is carried out for 8 hours in one of the core positions of the 10 MW reactor. Flux monitors and comparators are measured after three and six days respectively, while samples are measured after 7 days for intermediate life radionuclides and 21 days for long life radionuclides.

The relative flux is recorded each 30 s, with a linear response fission chamber and a computer based data acquisition system with software built in LAB Windows CVI V. 5.0 ®. A program developed, using Excel Macros, accomplish the calculation of the corrected saturation factors,  $f$  and  $\alpha$  parameters and concentrations.

Table 1 and table 2 show an examples of the results obtained in the analysis of the frequently used reference material, using the pneumatic system (A-1) and using a core position (I-9), respectively.

**Table 1.** Results of NIST SRM 679 - BRICK CLAY (mg/kg  $\pm$  U, 95%)

Element	Laboratory Value	Certified Value
Al*	10.81 $\pm$ 0.25	11.01 $\pm$ 0.34
Ba	452 $\pm$ 37	432.2 $\pm$ 9.8
Ce	120.5 $\pm$ 2.5	(105)
Cr	125.0 $\pm$ 3.1	109.7 $\pm$ 4.9
Co	26.2 $\pm$ 0.5	(26)
Cs	11.0 $\pm$ 0.4	(9.6)
Dy	6.9 $\pm$ 0.5	-----
Fe*	9.48 $\pm$ 0.13	9.05 $\pm$ 0.21
Hf	5.0 $\pm$ 0.2	(4.5)
K*	2.4588 $\pm$ 0.034	2.133 $\pm$ 0.047
La	52.8 $\pm$ 0.8	-----
Mg*	0.8448 $\pm$ 0.127	0.7552 $\pm$ 0.0088
Mn*	1715 $\pm$ 29	(1730)
Na*	0.1356 $\pm$ 0.0020	0.1304 $\pm$ 0.0038
Rb	209 $\pm$ 11	(190)
Sb	1.1 $\pm$ 0.1	-----
Sm	10.3 $\pm$ 0.1	-----
Th	16 $\pm$ 0.3	(14)
Ti*	0.566 $\pm$ 0.07	0.577 $\pm$ 0.033
V	163.2 $\pm$ 8.6	-----
U	3.4 $\pm$ 0.6	-----
Yb	4.3 $\pm$ 0.2	-----
Zn	157 $\pm$ 16	(150)

\* Results expressed in percentage(%)  
( ) Information values

#### 4. QUALITY ASSURANCE

The laboratory established a Quality System that allowed us improve our laboratory practice, in order to obtain greater accuracy so the laboratory will be nationally accredited.

The main goal is to ensure the accuracy of the data produced, and hence their comparability<sup>17</sup>. The laboratory applies the following means to achieve accuracy in the analytical results:

- Existence of a quality manual; where we have established the mission of the Chemistry Department and the quality policy as well as the technical procedures.
- Trained personnel prepared through specialized courses.
- Good housekeeping of the laboratory; the control of indoor contamination in the lab is monitored constantly. A clean working area is available for handling the analytical samples.
- The use of validated methods.
- The application of statistical control methods such as the use of control charts, regression analysis, t- and F-tests, analysis of variance, etc.
- External quality assurance control; participating in proficiency tests and intercomparison rounds.
- Comparison of results against other methods; such that results can be verified by other independent methods. All methods have their own particular source of error<sup>18</sup>.
- The use of reference materials (RMs) and certified reference materials (CRMs) in chemical analysis is the most important tool, all the analysis are carried out including these RMs and CRMs with their composition similar to the composition of the unknown sample, including blanks and replicates of samples.

**Table 2.** Results of RM IAEA-336 (mg/kg  $\pm$  IC 95%)

Element	Laboratory Value	Certified Value
As	0.63 $\pm$ 0.13	0.63 $\pm$ (0.55-0.71)
Ba	7.03 $\pm$ 2.93	6.4 $\pm$ (5.3-7.5)
Br	11.7 $\pm$ 2.2	12.9 $\pm$ (11.2-14.6)
Ce	1.26 $\pm$ 0.25	1.28 $\pm$ (1.11-1.45)
Cr	1.24 $\pm$ 0.11	1.06 $\pm$ (0.89-1.23)*
Co	0.37 $\pm$ 0.06	0.29 $\pm$ (0.24-0.34)
Cs	0.11 $\pm$ 0.02	0.110 $\pm$ (0.097-0.123)
Fe	397 $\pm$ 68	430 $\pm$ (380-480)
K	1670 $\pm$ 298	1840 $\pm$ (1640-2040)
La	0.57 $\pm$ 0.10	0.66 $\pm$ (0.56-0.76)
Na	300 $\pm$ 50	320 $\pm$ (280-360)
Rb	1.75 $\pm$ 0.64	1.76 $\pm$ (1.54-1.98)*
Sb	0.06 $\pm$ 0.02	0.073 $\pm$ (0.063-0.083)
Sc	0.17 $\pm$ 0.03	0.17 $\pm$ (0.15-0.19)*
Se	0.24 $\pm$ 0.09	0.22 $\pm$ (0.18-0.26)
Sm	0.11 $\pm$ 0.02	0.106 $\pm$ (0.092-0.120)
Yb	0.040 $\pm$ 0.005	0.037 $\pm$ (0.025-0.049)*
Zn	31.5 $\pm$ 5.5	30.4 $\pm$ (27.0-33.8)

\* Information values

## 5. APPLICATIONS OF NAA

According to laboratory records, in the last 7 years, the NAA, has been applied mainly for external customers, internal costumers, quality assurance and research projects<sup>19</sup>, as shown in table 3.

**Table 3.** Percentage of analyzed samples vs application.

<i>Application</i>	<i>No. Samples (%)</i>
External customers	8
Internal customers	18
Quality assurance	10
Research projects	64

**Table 4.** Matrix type and number of samples analyzed for application.

<i>Application</i>	<i>Matrix</i>	<i>No. of samples (%)</i>
External customers	Archaeological	57
	Minerals	39
	Others	4
Internal customers	Lichens	82
	Water	13
	Other	2
Quality Assurance	Environment	59
	Geological	23
	Biological	18
Validation	Sediment	40
	Clay	30
	Soil	30
Research projects	Archaeological	73
	Environmental	13
	Food	10
	Mineral	4

projects has been in the last years the main source of application of the technique.

Table 4 shows that lichens and archaeological have been most analyzed matrices

There were efforts to disclose the technique to the society but the productive sectors of the country were not highly interested, so the economic income was limited.

The internal customers are students working in thesis and the workers of other Departments at

the Institute, that do not pay for the analysis. The laboratory has participated in intercomparison rounds and proficiency test to maintain a high quality level.

## 6. FUTURE APPLICATIONS

The Peruvian Institute of Nuclear Energy has worked its strategic planning and as a consequence the SWOT (strengths, weaknesses, opportunities and threats) analysis has been done. The authorities are demanding to increase the use of the reactor, increase the income of the laboratories and increase production.

NAA can contribute to the new trends with the following future applications:

- a. Peru is a mining country this brings the NAA an opportunity to look for strategic alliances with mining companies for the application of the technique in mineral analysis of non traditional elements. Many elements such as rare earths, nobel metals, Pd, Pt, U, Th, Ga, Zr and others, are used nowadays in technology (nano technology, for instance).
- b. There are external users (universities, other institutes, and people interested in nuclear topics) that can be trained in the use of NAA.
- c. There is a need of application in multidisciplinary and inter institutional research projects under national and international cooperation.
- d. There is a need of quality assurance in the national laboratories, in this sense it is important to divulge trazability and the use of reference materials. The NAA laboratory has the capability to prepare these reference materials and to supply of them to the mining industry, for instance.

### **Acknowledgement**

This work was possible with the cooperation of the Chemical Laboratory staff, which with hard work make NAA alive in spite of economic constraints.

## 7. REFERENCES

- 1) R. Espinoza, P. Mendoza, M. Ramírez. Internal report. NAA using a Zero Reactor Power. 1978.
- 2) B. López, R. Ochoa, R. Espinoza. Determination of vanadium in oil. Chemistry Society of Peru.
- 3) F. Tenorio, P. Mendoza, R. Espinoza. Nuclear Magazine of IPEN. Vol. 3. N° 1 1986.
- 4) B. López, C. Poma, R. Espinoza. Determination of Al, Si, Fe and Mg in different materials with 14 MeV neutrons. Nuclear Magazines of IPEN. Vol. 5 N° 1, 1989.
- 5) A. Arbildo, R. Espinoza, C. Poma, J. Eyzaguirre, H. Hinojosa. Determination of Oxygen in coal using NAA with neutrons of 14 MeV. Nuclear Magazines of IPEN. Vol. 5 N° 1, 1989.
- 6) R. Bejarano, P. Mendoza, R. Espinoza. Determination of Nitrogen and Phosphorus in Kiwicha using NAA in a neutrons generator. Nuclear Magazine of IPEN. Vol. 6 N° 1, 1990.
- 7) E. Montoya. Evaluation and Standardization of NAA using  $k_0$  method at RP-10 nuclear reactor. Thesis, Master degree. Universidad Peruana Cayetano Heredia. 1995.
- 8) ISO/IEC Guide 17025. General requirements .
- 9) P. Bode. JRANC. Vol. 1215, N° I (1997) 51-57.
- 10) P. Bode. Powering the performance by eliminating of error: Quality System and Management in Analytical Laboratories.
- 11) P. Bode. K. Heydorn et al. Basic steps towards a self-sustainable quality system and laboratory accreditation. Accred Qual Assur 3: 197-202. Springer-Verlag. 1998.
- 12) Peruvian Nuclear Centre. Technical Information RP-10.
- 13) Dbgamma CANBERRA Electronique Manual.
- 14) EURACHEM. The Fitness for Purpose of Analytical Methods. A laboratory guide to method validation and related topics. 1998.
- 15) Eurachem/CITAC. Quantifying Uncertainty in Analytical Measurement. Second edition. 2000.
- 16) F. de Corte. Habilitation Thesis, University of Ghent, Faculteit van de Wetenschappen, (1987).
- 17) Techniques and Instrumentation in Analytical Chemistry. Quality Assurance for environmental analysis. Belgium (1995). Ch.8.
- 18) Techniques and Instrumentation in Analytical Chemistry. Quality Assurance for environmental analysis. Belgium (1995). Ch.1.
- 19) Laboratory documentation. File 8. Analysis Information.



# DETERMINATION OF TRACE ELEMENTS IN WATER SAMPLES BY $k_0$ BASED INSTRUMENTAL NEUTRON ACTIVATION ANALYSIS USING SODIUM AS COMPARATOR

Mendoza P. <sup>(1)</sup> [pmendoza@ipen.gob.pe](mailto:pmendoza@ipen.gob.pe); Ubillús M. <sup>(1)</sup> [mubillus@ipen.gob.pe](mailto:mubillus@ipen.gob.pe);  
Torres B. <sup>(1)</sup> [btorres@ipen.gob.pe](mailto:btorres@ipen.gob.pe); Montoya E. <sup>(1)</sup> [emontoya@ipen.gob.pe](mailto:emontoya@ipen.gob.pe);  
Bedregal P. <sup>(1)</sup> [pbedregal@ipen.gob.pe](mailto:pbedregal@ipen.gob.pe)

(1) Chemistry Department- Peruvian Nuclear Energy Institute / Lima, Perú

## ABSTRACT

Neutron Activation Analysis in liquid samples has been a challenge for our laboratory due to the following difficulties: i) to irradiate samples in the polyethylene vials avoiding pressure build up ii) to get an appropriate geometry for irradiation and measurement of liquid samples, and iii) to avoid excessive manipulation of samples. This work shows the development of the method for multi-element trace determination in water samples using  $k_0$  based instrumental neutron activation analysis using sodium as comparator. Samples are concentrated by evaporation in a microwave oven under controlled temperature and irradiated in aqueous solution for short lived radionuclides determination and in pellets for medium and long lived radionuclides determination. The sodium standard was prepared either liquid or solid for the corresponding analysis. After certain decay time it is possible to quantify a group of elements with sufficient sensitivity and accuracy as shown by the analysis of the standard reference material NRCC SLRS-2. This method has been satisfactorily applied for monitoring natural water samples from Lima city and other locations in Peru.

## 1. INTRODUCTION

There is a global interest to improve the water resources management due to an increasing global demand for water which is higher than the current available supplies and to the low quality of water which could be unsafe for human consumption [1].

Human activities pollute the rain water, river water, lake and even the groundwater. The last one, provides drinking water to large part of the population. Most of the time, contamination of surface- and ground-water is caused by chemicals used in agriculture as well as organic compounds

and by heavy metals produced and used by the industry. This chemical waste causes damage to the ecosystem and affects the human health.

The quantitative analysis of trace elements in water samples provides important information for environmental decisions, is very important to making decisions. Water samples are suited ideal to be analysed using spectrometric techniques such as ICP-MS, ICP-ES and AAS; since previous treatment of samples is not required. Trace element determination in water samples by NAA as an alternative certified quantitative analysis is a challenge.

In the case of NAA, liquid sample irradiation have some difficulties because of the production of gas by radiolysis that can leak, in such case it is necessary to use quartz ampoules; the irradiation time should be very well established, limiting long irradiation time which also limit the possibility to increase sensitivity. We should also achieve a homogeneous irradiation and measurement geometry. Other groups treated the samples before irradiation with processes such as; pre-concentration using inorganic adsorbents [2], sulphur co-precipitation [3], evaporation under infrared lamp [4], or ten days pre-concentration in quartz ampoules [5]. These treatments increase the risk of contaminating the samples, which is critical as the amount of the element in samples is small.

In the present work a sensitive, simple and alternative procedure is presented using  $k_0$  based instrumental neutron activation analysis method and using sodium as comparator, in order to avoid dependence on the alpha parameter variation [6]. Sample preparation is performed by evaporating, in a microwave oven, under controlled temperature.. The content of short radionuclides in the samples is determined directly by irradiating a volume of evaporated water sample, while the

content of medium and long live radionuclides is determined by placing a volume of evaporated sample in small discs of filter paper dried under infrared lamp and then pressure to form pellets. The SLRS-2 reference material has been used as an internal control.

This procedure is been applied for the analysis of groundwater coming from wells located near a river that supplies drinking water to a small Peruvian town.

## 2. EXPERIMENTAL

### Sample preparation

NRCC SLRS-2 reference material has been used to test the method according to the following procedure: Approximately, 100 mL sample is weighed in a Pyrex glass vessel, cleaned previously with 5 % neutral extran® and nitric acid 1:1 and then evaporated in the microwave oven MARS-5, under controlled temperature of 85°C, open vessel, during 6 h. When a volume of approximately 10 mL is reached, the vessel is weighed again and the concentration factor determined.

For medium and long lived radionuclides, an aliquot of 600 µL of pre-concentrated sample is deposited on a disc of 70 mm of Whatman 42 filter paper and dried under infrared lamp. The drying distance is 30 cm, so that the temperature received by the sample is less than 60 °C. Using a hydraulic press, pellets of 13 mm of diameter and 2 mm of thick are formed. These pellets are packed into small cleaned polyethylene bags and enveloped in pieces of aluminium foil to be labelled.

Sodium comparators are prepared in the same way, depositing 500 µg of sodium standard solution. Flux monitors are prepared depositing 150 µg and 0.4 µg of standard solutions of zirconium and gold, respectively. Samples, sodium comparators and flux monitors are packed into aluminium can, to be irradiated.

For short lived radionuclides, 1 mL of pre-concentrated sample is deposited in a polyethylene container of 1.25 mL of capacity, previously cleaned with HNO<sub>3</sub> 1:1 and bidistilled water. Sodium comparator is prepared depositing an aliquot of 1 mL of 1000 µg.mL<sup>-1</sup> sodium standard solution,

reproducing sample geometry. Each polyethylene vial containing sample and sodium comparator is packed independently, into a rabbit container. A 500 µg sodium flux monitor is evaporated on a filter paper and attached to each vial. Water samples were prepared in the same way as mentioned above but filtering and acidifying previous to evaporation.

### Irradiation and Measurement

The aluminium can is irradiated 6 hours, in a position of the reactor core; the thermal neutron flux at this position is  $4 \cdot 10^{13} \text{ n.cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ . After two days decay a 10 000 s first counting is performed and a 20 000 s counting after twenty days decay. Flux monitors are count after two days decay for 2 000 s and sodium comparators are counted after 6 days decay for 600 s. The  $f(\alpha)$  and  $(\alpha)$  values are 32 and 0.15 respectively.

The irradiation capsule with the sample and sodium comparator in liquid form, are pneumatically transported and irradiated at a thermal flux of  $2.6 \cdot 10^{13} \text{ n.cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ . These samples are irradiated in a sequential form for 5 min each one.

After a 5 min of decay time, the liquid content of sample and comparator is transferred into a 20 mm diameter polyethylene container, weighed them and completed with deionised water to a volume of 1.5 mL. The counting times are 1200 s and 600 s respectively.

The induced activities of samples, sodium comparators and flux monitors are measured at 60 mm distance from the detector with a less that 5% dead time using a Ge HP CANBERRA GC 1518 detector of 70 cm<sup>3</sup> and 1.9 keV resolution for the 1408 keV <sup>152</sup>Eu peak. The evaluation of gamma spectra was performed using the interactive option of the DBGamma Programme V5.0® program [7]. The photopeaks of Al and V have been evaluated using the Covell integration method [8]. Concentration calculation was determined using the  $k_0$  method, Högdahl convention [9,10]. The nuclear constant was taken from Blaauw [11].

### 3. RESULTS AND DISCUSSION

The results obtained for the reference material SLRS-2 are presented in table 1. The first eight values correspond to the analysis of sample in liquid form and the remainder correspond to the analysis of samples in pellet form

**Table 1.** Elements concentration in SLRS-2 Riverine Water.

Element	Experimental Value (n=10) ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )	Certified Value ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )	Agreement
Al <sup>a</sup>	89 ± 13	84.4 ± 3.4	1.05
Ba	14.9 ± 3.4	13.8 ± 0.3	1.08
Ca <sup>b</sup>	5.63 ± 0.16	5.70 ± 0.13	0.99
Mg <sup>b</sup>	1.59 ± 0.04	1.51 ± 0.13	1.05
Mn	10.5 ± 0.2	10.1 ± 0.3	1.04
Na <sup>b</sup>	2.05 ± 0.04	1.86 ± 0.11	1.10
Sr	32 ± 5	27.3 ± 0.4	1.17
V <sup>a</sup>	0.21 ± 0.08	0.25 ± 0.06	0.84
As	1.11 ± 0.08	0.77 ± 0.09	1.44
Cr	< 20	0.45 ± 0.07	
K <sup>b</sup>	0.81 ± 0.04	0.69 ± 0.09	1.17
Fe	< 300	129 ± 7	
Sb	0.21 ± 0.05	0.26 ± 0.05	0.81
Zn	< 10	3.33 ± 0.15	

<sup>a</sup> Elements evaluated using Covell method

<sup>b</sup> Concentrations expressed in  $\text{mg.L}^{-1}$  uncertainty express as  $\pm U$  (95%)

All the results were corrected by blank contribution and coincidence effect. In general, good agreement is observed from the results. The high discrepancy shown in the potassium result may be explained by the unfavourable nuclear constants ( $\theta = 6.73\%$ ,  $t_{1/2} = 12.36\text{ h}$ ,  $\gamma = 18.8\%$ ) that made difficult the right evaluation of small peaks in presence of high content of sodium ( $>100\text{ mg.L}^{-1}$ ).

Arsenic is other element that shows high discrepancy however it should be taken into account the low concentration of this element. In the case of iron the detection limit is  $300\text{ }\mu\text{g.L}^{-1}$  the same value reported by WHO (1996) as the maximum level contaminant, the sensitivity is not good enough to take decisions. The contribution of zinc in the polyethylene bag hindered to reach a good precision for this element.

**Table 2.** Element concentration in pellets and polyethylene blanks (n = 10).

Element	Polyethylene bag ( $\mu\text{g}$ )	Paper filter pellet and bag ( $\mu\text{g}$ )
As	0.0003 ± 0.0001	
Cr		0.19 ± 0.05
Sb	0.002 ± 0.001	
Zn	0.47 ± 0.02	0.56 ± 0.05

Table 3. Shows the concentration obtained in the evaluation of peaks following the methods mentioned, the evaluation of the emergent area is better for the Covell method.

**Table 3.** Element concentration according evaluation method.

Element	Total Peak Area $\mu\text{g.L}^{-1} \pm U$ (95%) 0.81	Covell Method $\mu\text{g.L}^{-1} \pm U$ (95%)
Al	103 ± 6	89 ± 13
V	0.31 ± 0.04	0.21 ± 0.08

In the case of the irradiation in the pneumatic system the flux variation effect was studied, it was obtained an average relative variation of 5%. Due to the fact that samples and comparators are not irradiated at the same time, a sodium flux monitor was used each time in order to take into account flux variations and a  $C_f$  factor was defined and used for this purpose. This factor is defined as:

$$C_f = \frac{(A_{sp}Na)_c}{(A_{sp}Na)_x}$$

where  
 $A_{sp,Na}$

Counting specific rate of sodium monitor (counts  $\text{s}^{-1}\mu\text{g}^{-1}$ )

c  
x  
Comparator  
sample

By multiplying  $C_f$  by the concentration value determined in  $k_0$  calculation, it is possible to minimize the flux variation error allowing to

irradiate, independently, samples and standards.

**Table 4.** Detection Limits vs. Maximum Contaminant Level (MCL).

Element	Detection Limits ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )	MCL [12] ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )
Al	5	200
Ba	10	700
Ca	100	-----
Mg	50	-----
Mn	0.1	500
Na	10	200 000
Sr	20	-----
V	0.1	-----
As	0.2	10
Cr	20	50
K	300	-----
Fe	300	300
Sb	0.2	5
Zn	10	300

**Table 5.** Water samples analysed following the described method (n = 5).

Element	Concentration $\mu\text{g.L}^{-1}$	Element	Concentrat. $\mu\text{g.L}^{-1}$
Al*	$0.85 \pm 0.02$	Fe*	$3.9 \pm 0.6$
As	$12.0 \pm 1.3$	Mg*	$9.70 \pm 1.4$
Ca*	$68.9 \pm 1.1$	Mn*	$1.36 \pm 0.02$
Cd	$29.6 \pm 5.7$	Na*	$1.46 \pm 0.04$
Co	$5.2 \pm 0.6$	Sb	$0.8 \pm 0.1$
K*	$1.45 \pm 0.5$	Zn*	$4.8 \pm 1.9$

\* Concentrations express in  $\text{mg.L}^{-1}$   
uncertainty express as  $\pm U(95\%)$

As shown in table 4 the detection limits vs. maximum contaminant level adopted by the Peruvian government and in table 5 the typical values analysed in a sample, the

method is suitable to be applied to water analysis.

#### 4. CONCLUSIONS

Results show that the method is appropriate for a complete view of trace element by  $k_0$  Based INAA.

The sensitivity for Fe and Cr are not good for the INAA, so it is recommended the use of radiochemical separation.

#### 5. REFERENCES

- [1] RICKWOOD, PETER. Agua para el desarrollo. Día Mundial del Agua 2002. IAEA Bulletin. Vol. 44. N° 1 (2002).
- [2] LO, J. M.; LIN, K. S.; WEI, J. C.; Lee, J. D. "Evaluation on chemical neutron activation analysis for trace metals in seawater using magnesium oxide as the preconcentration agent", Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, Vol. 216, No. 1 (1997) 121-124.
- [3] MAJOLA, J.; ZIKOVSKY, L. "Determination of 19 elements in mineral waters by coprecipitation with PbS and by NAA", Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, Vol. 220, No. 2 (1997) 145-147.
- [4] LUCACIU, A.; STAICU, L.; SPIRIDON, S.; SCINTEE, N.; ARIZAN, D. "Multielemental determination in some water samples by NA method", Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, Vol. 216, No. 1 (1997) 29-31.
- [5] VEADO, M.A.R.; PINTE, G.; OLIVEIRA, A.H.; REVEL, G. "Application of INAA and ICP-MS to studying the river pollution in the State of Minas Gerais", Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, Vol. 217, No. 1 (1997) 101-106.
- [6] MONTOYA, E.H.; COHEN, I. .M.; MENDOZA, P.; CHAMORRO, B.; BEDREGAL, P., "The correction for non-ideal behavior of the epithermal



- neutron spectrum and the restitution of the simplicity in parametric activation analysis”, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, Vol. 240, No. 2 (1999) 475-479.
- [7] CANBERRA ELECTRONIQUE. DBGamma Program. France (1995).
- [8] HEYDORN, K., BADA, W., “Peak Boundary Selection in Photopeak Integration by the method of Covell”, *Analytical Chemistry*, Vol. 44, No. 14 (1972) 2313-2317.
- [9] HOGDAHL, “Radiochemical Methods of Analysis”, Vol. 1, IAEA, Vienna (1965) 23.
- [10] DE CORTE, F.; SIMONITS, A.; DE WISPELAERE, A.; HOSTE, J., “Accuracy and applicability of the  $k_0$  standardization method”, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, Vol. 113, No. 1 (1987) 145-161.
- [11] MENNO B. “The  $k_0$  - Consistent IRI Gamma-ray Catalogue for INAA”, Interfacultair Reactor Instituut van de Technische Universiteit Delft (1996)
- [12] WORLD HEALTH ORGANIZATION. “Guías para la calidad del agua de bebida”. (1996).

# MONTE-CARLO SIMULATION FOR FRAGMENT MASS AND KINETIC ENERGY DISTRIBUTIONS FROM NEUTRON INDUCED FISSION OF $^{235}\text{U}$

Montoya M. <sup>(1),(2)</sup> [mmontoya@ipen.gob.pe](mailto:mmontoya@ipen.gob.pe); Saettone E. <sup>(2)</sup>; Rojas J. <sup>(1),(3)</sup> [vrojas@ipen.gob.pe](mailto:vrojas@ipen.gob.pe)

(1) Instituto Peruano de Energía Nuclear / Lima, Perú

(2) Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Ingeniería / Lima, Perú

(3) Facultad de Ciencias Físicas, Universidad Nacional Mayor de San Marcos / Lima, Perú

Keywords:  $^{235}\text{U}$ , Mass Yield, Neutron Emission, Monte Carlo, Energy Distribution

## ABSTRACT

Mass and kinetic energy distribution of nuclear fragments after neutron induced fission of  $^{235}\text{U}$  have been studied using a Monte-Carlo simulation. Besides that the pronounced peak in the standard deviation of the kinetic energy  $\sigma_E(m)$  at the mass number around  $m = 110$  was reproduced, a second peak was found at  $m = 126$ . These results are in good agreement with experimental data obtained by Belhafaf *et al.* We have concluded that the obtained results are consequence of the characteristics of neutron evaporation for the fragments and sharp variation on primary mass yield curve.

## 1. INTRODUCTION

Since the discovery of the neutron induced fission of uranium by Hahn and Strassmann in 1938 [1], a big effort to measure the fission parameters and to understand the involved process was spent. Nowadays several aspects of heavy nuclei fission seem to be clarified. Meitner and Frisch suggested a theoretical explanation based on a nuclear liquid-drop model [2], and in a recent paper [3] this model was revisited and pointed out the nuclear surface-curvature terms and their effects.

It is known that the de-excitation by fission of heavy nuclei depends of the quantum properties of the saddle point and the associated fission barrier. The detection of fission isomers have been interpreted by the secondary well in the fission barrier [4]. The nascent fragments begin to be formed at the saddle point and the system fall down to the fission valley (energetically preferred paths to fission) and end at the scission configuration where fragments interact only by Coulomb force. At scission, fragments had acquired a pre-scission kinetic energy. Over

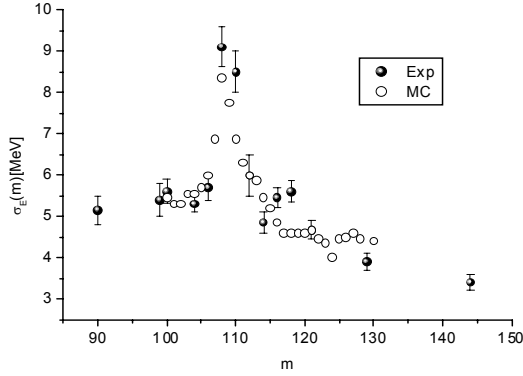
the fission valley, the system could be described by collective variables (deformation, vibration, rotation, etc.) and intrinsic variables (quasi-particles excitations). Nevertheless, the dynamic of fission process is not completely understood. An open question is the coupling between collective and intrinsic degrees of the freedom during the descend from the saddle to scission.

In the low-energy fission, several final fragment characteristics can be explained in terms of a static scission model of two coaxial juxtaposed deformed spheroidal fragments, provided shell effects, affecting the deformation energy of the fragments. These shell effects corrections, determined by Strutinsky prescription and discussed by Dickmann *et al.* [5] and by Wilkins [6], subsequently generate secondary minima in the total potential energy surface of fragments having some particular neutron or proton shell configurations. If the final fragment characteristics were governed by the properties of the fragments themselves, a basic argument in any statistical theory, one would expect an increase in the width of the kinetic energy distribution curve for fragment masses,  $A$ , having the above mentioned special neutron or proton shell arrangements.

In order to search an answer to this question the most studied fission parameters are the mass  $F(A)$  and kinetic energy  $E_K(A)$  distribution of primary (pre-neutron emission) fragments. Nevertheless, measurement can be carried out only on final fragments (post neutron emission) mass ( $m$ ) and kinetic energy  $E_K(m)$  distribution. Therefore it is crucial to find out the relation between  $E_K(m)$  and  $E_K(A)$  distributions.

For neutron induced fission of  $^{235}\text{U}$ , the  $E_K(m)$  distribution was measured by Brissot *et al.* [7]. This distribution was represented by the mean

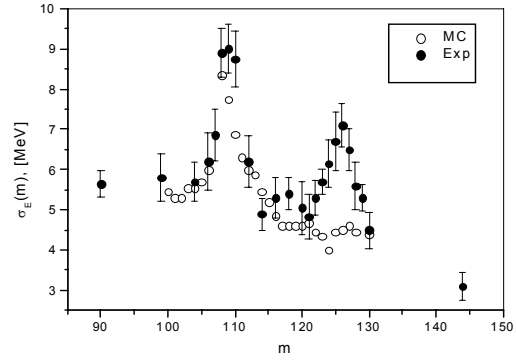
value of the kinetic energy  $\overline{E}_K$  and the standard deviation of kinetic energy  $\sigma_{EK}(m)$ , as function of the final mass  $m$ . Fig. 1, shows the one pronounced peak of  $\sigma_{EK}(m)$  at  $m = 110$ , and Monte-Carlo simulation of  $\sigma_{EK}(m)$  from a primary distribution without peaks. This result suggests that the peak does not exist at the  $\sigma_{EK}(m)$  of primary fragment kinetic energy as function of the primary fragment mass.



**Figure 1.** Experimental (full circles) and simulated by Monte-Carlo (open circles) standard deviation of final fragment kinetic energy as function of the final mass [7].

In a latter experiment, Belhafaf *et al.* [8] repeated the experiment of Brissot *et al.* for neutron induced fission of  $^{235}\text{U}$ , obtaining also another peak around  $m = 126$  (see Fig. 2). A Monte-Carlo simulation made by these authors, from a distribution without a peak, did not reproduce the experimental on  $\sigma_{EK}$  at  $m = 126$ , only the peak at 110. They suggested that this peak must exist in the primary fragment distribution. They have fitted the experimental data from a distribution with a peak at  $m = 126$ .

In this paper, we present a new Monte-Carlo simulation results for low energy fission of  $^{235}\text{U}$ . Both mass and kinetic energy distributions on the primary and the final fission fragments were numerically calculated. It is shown that both peaks at  $m = 110$  and  $126$  on  $\sigma_{EK}$ , as function of the final mass  $m$ , were reproduced without assuming certain initial structure.



**Figure 2.** Experimental (full circles) and simulated by Monte-Carlo (open circles) standard deviation of final fragment kinetic energy as a function of the final mass [8].

## 2. MONTE-CARLO SIMULATION MODEL

We assume that total kinetic energy distribution of fission fragments is approximated to the normalized Gauss distribution [11]

$$P(E) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{(E - E_0)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (1)$$

where  $E$  and  $E_0$  are the total kinetic energy and most probable total kinetic energy, respectively, and  $\sigma$  is the variance of total kinetic energy.

It is known that for thermal neutron induced fission of  $^{235}\text{U}$  nuclei preferentially splits asymmetrically in two fission fragments [12,13]. Then we have a heavy  $A_H$  and light  $A_L$  fragments, so that  $A_L + A_H = A_0 = 236$ .

Let  $\overline{E}_{KT}(A)$  and  $\sigma_{EKT}(A)$  be the mean of initial total kinetic energy and the standard deviation of kinetic energy distribution as a function of fragment mass  $A$ . These distributions without peaks are assume as input data for simulation. Let  $\langle \nu \rangle$  be the average number of neutrons emitted by fragments.

The total number of emitted neutrons will be a function of the excitation energy  $U$ .

$$U = Q - E_{KT} \quad (2)$$

where  $Q$  is the available energy for fission and  $E_{KT}$  is the initial total fragments kinetic energy. In order to simulate the mass and kinetic energy distribution of the fragments for each fission event, the total kinetic energy  $E_{KT}$  is hosen

randomly from a Gaussian distribution with a mean value in  $\overline{E_{KT}}(A)$  and standard deviation  $\sigma_{EKT}(A)$

The primary fragment kinetic energy are given as,

$$E_{KP}(A) = E_{KT}(A) \frac{A}{A_0}, \quad (3)$$

We assume that the neutron emission by fragments take place according to the expression,

$$\nu(A) = \langle \nu(A) \rangle \left\{ 1 + \frac{E_{KT}(A) - \overline{E_{KT}}(A)}{3\sigma_{KET}(A)} \right\} \quad (4)$$

The final mass of the fragment is,

$$m = A - \nu \quad (5)$$

We assume that the lost of energy by fragments take place only due to the neutron evaporation but not by gamma radiation or other processes. Thus, if we neglect recoil effects of neutron emission the final kinetic energy is given as

$$E_{KF} = E_{KP} \left(1 - \frac{\nu}{A}\right) \quad (6)$$

The total number of fission events of  $^{236}\text{U}$  for an acceptable statistic during the simulation was of the order of  $10^8$ . The random numbers with required normal distribution were generated using the method of Box-Muller.

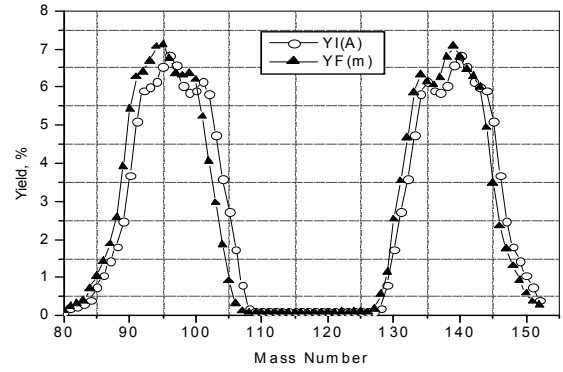
The standard deviation of interested quantities, like the kinetic energies of final fragments given by the eq. (6) were calculated as,

$$\sigma_{EKF}^2(m) = \frac{\sum_{j=1}^{N_j} E_{KFj}^2(m)}{N_j(m)} - \langle E_{KF}(m) \rangle^2 \quad (7)$$

where  $\langle E_{KF}(m) \rangle$  is the most probable final kinetic energy of fragment with mass  $m$ , and  $N_j(m)$  is the number of fission for a given mass.

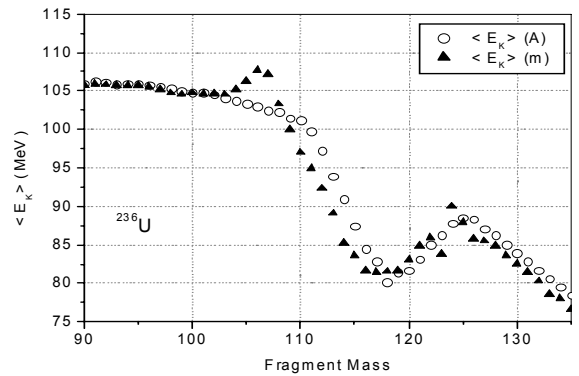
### 3. RESULTS OF SIMULATIONS AND DISCUSSION

The simulated final mass yield curve ( $m$ ) and the primary mass yield curve  $Y(A)$  is presented in Fig. 3. The  $Y(m)$  is shifted from  $Y(A)$ , due to the neutron emission



**Figure 3.** Monte-Carlo simulation results for initial (o) and final (▲) mass yields from neutron induced fission of  $^{235}\text{U}$ .

The total primary kinetic energy, generated as mentioned above in sect.2, have a Gaussian distribution. Both the primary and the final fragment kinetic energy distribution were derived from the total kinetic energy distribution using the eq.(3) and (6). Fig. 4 shows the simulated mean fragment kinetic energy, for primary (o) and final (▲) fragments as a function of the fragment mass.



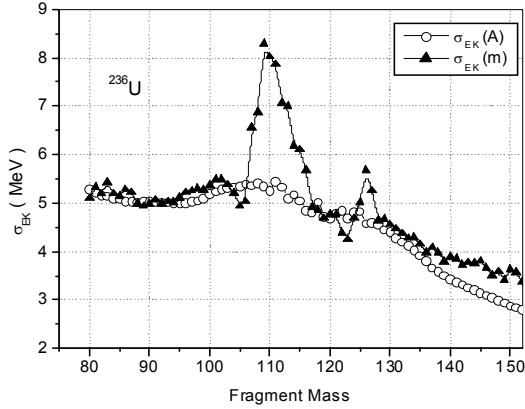
**Figure 4.** Average kinetic energy of initial (o) and final (▲) fragments for neutron induced fission of  $^{235}\text{U}$ .

Notice that the difference of both curves around the fragments mass at 110 and at 125. For the symmetrical fission fragments ( $A=118$ ) the kinetic energy present minimum with an approximately 81 MeV.

Fig. 5 shows both primary and final fragment kinetic energy standard deviation from its mean

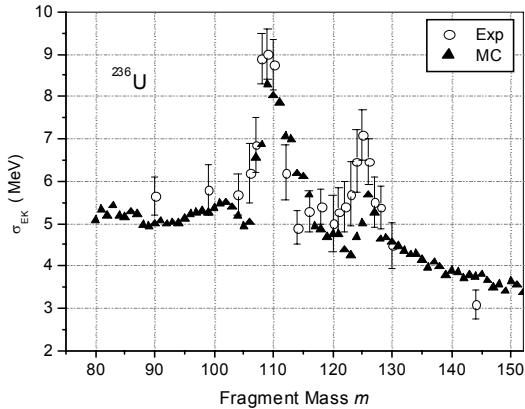


value as a function of the fragment mass. One relevant feature is the appearance of a pronounced peak at  $m = 110$ , and another small peak around  $m = 126$ . It is pointed out that in the simulation of the primary fragment kinetic energy distribution (see fig.5, open circles), has no peaks over the fragment mass between 80 and 150.



**Figure 5.** Simulation results of the standard deviation of kinetic energy for final ( $\blacktriangle$ ) and primary ( $\circ$ ) fragment mass for neutron induced fission of  $^{235}\text{U}$ .

In the Fig.6, the experimental data and the present Monte-Carlo ( $\blacktriangle$ ) simulation results for fragment kinetic energy standard deviation were plotted. The simulated results fitted well the experimental data.



**Figure 6.** Standard deviation of fragment kinetic energy distribution as function of the fragment mass: ( $\blacktriangle$ ) - present MC results, ( $\circ$ ) experimental data [8].

The initial total kinetic energy used, and the simulated primary fragments kinetic energies has no peaks. The behavior of the standard deviation of final kinetic energy distribution is not being caused by the structure on the primary kinetic energy distribution. The presence of peaks could be associated with neutron emission peculiarities. Average neutron number of emitted

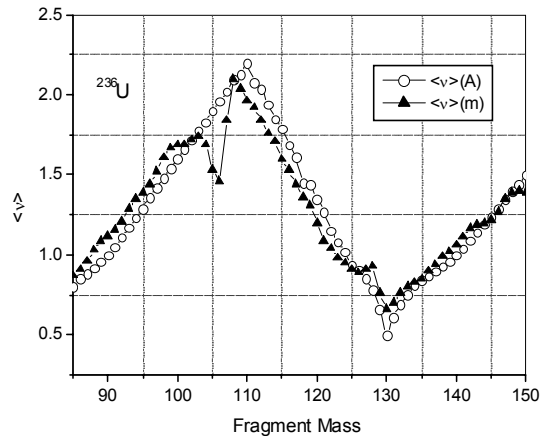
by fragments as a function of the primary fragment mass  $A$  and as a function of the final fragment mass  $m$ , respectively, are presented in Fig. 7. The neutron emission, produced a peculiar structure on  $\nu(m)$  curve, that is not shown on primary data for  $\nu(m)$ , are produced.

### 3.1 INTERPRETATION FOF NEUTRON EMISSION EFFECTS ON FINAL MASS AND KINETIC ENERGY DISTRIBUTION

In the Monte-Carlo simulation of an experiment at low energy fission, we assume that there is no recoil by neutron emission from the fragment, which then loose kinetic energy by just losing mass.

For light fragment this shift is significant, because the width of  $E_{KF}$  distribution may be hence enlarge approximately by 1 MeV. To better understand this effect, let us assume that the neighborhood of  $m = 100$ , the average  $E_K$  is 100 MeV, and the standard deviation  $\sigma_{EK}$  is 6 MeV. Let us also assume that fragments in the higher part of  $E_K$  distribution ( $E_K > 100$  MeV) emit 0 neutron, and fragments in the lower part of  $E_K$  distribution ( $E_K < 100$  MeV) emit 1 neutron. If the

yield and  $\overline{E}_K(A)$  curves are flat, i.e., for each value of  $m$ , half of fragments corresponds to  $A_L = m_L + 1$ , the  $E_{KF}$  distribution will be approximately 1 MeV larger than  $E_{KP}$  distribution.



**Figure 7.** The average number of emitted neutrons from neutron induced fission of  $^{235}\text{U}$ : ( $\circ$ ) as function of primary fragment mass  $m$ , ( $\blacktriangle$ ) - as function of final fragment mass  $A$ .

The  $E_{KF}$  distribution width is very dependent of the mass yield curve. In the above case, if there is a sharp increasing of yield for  $m$  to  $m-1$ , the

width of  $E_{KF}$  distribution is depleted approximately to the half. For  $m = 100$ , only the higher half of the  $E_{KP}$  distribution ( $E > 100$  MeV) will be taken into account. This is because for this half of  $E_{KP}$  distribution there is no neutron emission. If the yield curve continues to increase, the width will be also depleted.

When the Y curve returns to be flat, the  $\sigma_{EKF}$  will return to be similar to  $\sigma_{EKP}$  around the inflection point of yield mass. If the Y curve fall down with diminishing of A,  $\sigma_{EKF}$  will fall again, producing a peak on this curve.

#### 4. CONCLUSION

In this work, on a simple model for the neutron emission by fragments a Monte-Carlo simulation for mass and kinetic energy distribution of thermal neutron induced fission fragments has been considered. Final fragments -post neutron emission- have eroded kinetic and mass values in comparison with initial -pre neutron emission- fragment kinetic energy and mass values. This fact, combined with sharp variation on primary mass yield curve as a function of primary mass, produce structures on final values distributions. In the case of neutron induced fission of  $^{235}\text{U}$ , peaks at  $m = 110$  and  $m = 126$  on  $\sigma_{EKF}$  are produced as an effect of neutron emission by fission fragments.

Since experimental investigations do not provide any information on the initial energy distribution of single fission fragments and due to crucial effect of neutron emission on final fragments mass and kinetic energy distribution, Monte-Carlo simulation is useful in order to relate primary and final fragments distributions.

#### 5. REFERENCES

- [1] Hahn O and Strassmann F, Naturwissenschaften **27**,11 (1939)
- [2] Meitner L and Frisch O.R, Nature (London) **143**, 239 (1939)
- [3] Pomorski K, Dudek J, Phys.Rev.**C67**, 044316 (2003)
- [4] Bostereli M, Fiset E.O, Nix J.R, Norton J.L, Phys. Rev. **C5**, 1050 (1972)
- [5] Dickmann F. and Dietrich K, Nucl. Phys. **129**,241 (1969)
- [6] Wilkins B.D, Steinberg E.P. and Chasman R.R., Phys. Rev. **C14** (1976) 1832
- [7] Brissot R, Bocquet J.P., Ristori C, Crançon J, Guet C.R, Nifenecker H.A. and Montoya M, Proc- 4th Symp. On Physics and Chemistry of Fission ; Jülich, 1989, Vol. 2 (IAEA, Vienna, 1980) p.99
- [8] Belhafaf D, Bocquet J.P., Brissot R, Ristori Ch, Crançon J, Nifenecker H, Mougey J and Ramururthy V.S, Z. Physik **309** (1983) 253
- [9] Itkis M.G, Kondratiev N.A, Kozulin E.M, Oganessian Yu, Pokrovsky I.V, and Prokhorova E.V, Phys. Rev. **C59**, 3172 (1999)
- [10] Sida J.L, Armbruster P, Bernas M, Bocquet J.P, Brissot R, and Faust H.R, Nuclear Phys. **A502** (1989) 233
- [11] Ahmadov H, Gonul B, and Yilmaz M, Phys. Rev. **C63** ,024603 (2001)

# QUALITY ASSURANCE OF ANALYTICAL RESULTS IN ENVIRONMENTAL SAMPLES BY MEANS OF PARTICIPATION IN INTERCOMPARISON ROUND

Torres B. <sup>(1)</sup> [btorres@ipen.gob.pe](mailto:btorres@ipen.gob.pe); Mendoza P. <sup>(1)</sup> [pmendoza@ipen.gob.pe](mailto:pmendoza@ipen.gob.pe);  
 Olivera P. <sup>(1)</sup> [polivera@ipen.gob.pe](mailto:polivera@ipen.gob.pe); Ubillús M. <sup>(1)</sup> [mubillus@ipen.gob.pe](mailto:mubillus@ipen.gob.pe);  
 Montoya E. <sup>(1)</sup> [emontoya@ipen.gob.pe](mailto:emontoya@ipen.gob.pe); Bedregal P. <sup>(1)</sup> [pbedregal@ipen.gob.pe](mailto:pbedregal@ipen.gob.pe)

(1) Chemistry Department - Peruvian Nuclear Energy Institute/ Lima, Peru

## ABSTRACT

In developing countries, limited resources in the laboratories hinder quality assurance. One way to overcome this problem is to participate in international interlaboratory comparison rounds in order to assess the reliability and accuracy of the results, given by a particular laboratory.

Considering that nuclear analytical techniques play an important role in the determination of minor and trace elements in biological and environmental samples, we report the performance of our neutron activation analysis and x ray fluorescence laboratories and how these laboratories have improved the quality of their results by participating in international analytical programmes for environmental samples such as: sediments, air filters, soil, water, algae, and herbs.

The results of our participation in intercomparison round for quality assurance organized by AQCS-IAEA, and other institutes are presented, out of 103 reported results 91 were satisfactory.

## 1. INTRODUCTION

As a result of industrialization for improving human life quality, global environmental conditions have changed rapidly and the international concern on environmental pollution is very high. Therefore, accuracy and reliability in determination of toxic as well as nutrient elements in environmental samples including air, soil, and water are very important to understand the pollution problems. Instrumental neutron activation analysis (INAA) and the recently developed x ray fluorescence (EDRXF) have become two of the most powerful techniques for the non-destructive, simultaneous multielemental analysis of trace elements of environmental and biological samples.

In the last ten years our laboratories have participated in intercomparison rounds, for collaborative studies in candidate reference material, in proficiency tests, to trace systematic errors in the routine, to assure the reproducibility of our results, and; to demonstrate our analytical capacities, accuracy and bias.

Considering the ISO 17025<sup>1</sup> annual requirement for quality assurance, our laboratory participated in the IAEA activities under the AQCS programmes and others as shown in Table 1.

**Table 1.** Participation in Interlaboratory Comparison.

Date	Organizer	Kind of comparison	Sample
September, 1996	IAEA-AQCS <sup>2</sup>	Intercomparison run	IAEA-392 algae
February, 1998	IAEA- XRF Seibersdorf Laboratory <sup>3</sup>	Proficiency Test	IAEA SL-1 sediment
May, 2000	IAEA- Section of Nutritional and Health <sup>4</sup>	Quality Control Study NAT 7	Air Filter P and V
July, 2000	IAEA-ARCAL XXVI RLA/4/013 <sup>5</sup>	Proficiency Test	IAEA SL-1
January, 2001	Institute of Nuclear Chemistry and Technology Warszawa-Poland <sup>6</sup>	Collaborative study on the determination of trace elements in two candidate reference material	Tea leaves, Mixed Polish herbs
April, 2002	IAEA-ARCAL RLA/80/31 <sup>7</sup>	Exercise of intercomparison laboratory	Water 110402 A Water 100402 A
May, 2002	IAEA- Swedish International Food Administration <sup>8</sup>	Interlaboratory Test	Simulated diet D Carrot purée

As a result of many intercomparison rounds, enough useful information, to assess laboratory performance, are available.

## 2. FACILITIES AND METHODS

### Facilities and equipments for $k_0$ based neutron activation analysis

The RP-10 IPEN Nuclear reactor's is a pool type reactor with a thermal power of 10 MW generated by a core containing MTR TYPE fuel element 20 % U-235 enriched ( $U_3O_8$ ). Five control rods (fork type) made of Cadmium, silver and Indium are utilised to operate the reactor. Graphite and Beryllium reflector elements surround the core. Samples are irradiated in a well thermalized position about 15 cm. out the core, (Neutron flux  $1.0 * 10^{14} \text{ n * cm}^{-2} * \text{s}^{-1}$ )

### Analytical procedure

Samples were carried out by the  $k_0$  neutron activation analysis method. Standard solutions containing 10000  $\mu\text{g Na}$  were prepared, 250  $\mu\text{L}$  or 50  $\mu\text{L}$  of this solution were put into a polyethylene vials depending on irradiation time. Samples (about 100mg) also were prepared and put into polyethylene vials; sample and standard were encapsulated and irradiated, with a nominal thermal flux in the range  $1.6$  to  $3 * 10^{13} \text{ n cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  and cadmium to epi-cadmium flux ratio about 66 and 33. Gamma spectrometry measurements were carried out with a CANBERRA GC1518 intrinsic Germanium detector with 1.8 keV of resolution and relative efficiency of 15 %, coupled to a CANBERRA 2025 amplifier connected to a CANBERRA S 100 multichannel card. Spectra mathematical processing was carried out using the DBGamma V 5.0 programme.  $F$ ,  $\alpha$  and saturation factor were calculated using macros developed in Excel. The concentration was done using a software developed at our laboratory.

### Facilities and equipment of X Ray Fluorescence Energy dispersive

The System of Energy Dispersive of X Ray Fluorescence (EDXRF) has a spectrometer with  $^{109}\text{Cd}$  source, an ORTEC Si-Li detector with a resolution of 190 eV at 5.9 keV, a multichannel PC card PCA-II Nucleus used for spectra analysis.

### Analytical procedure

The sample was dried at 80 °C during 20 hr. About 1 g of dry sample was taken mixed with 0.1 g of pure cellulose, homogenised and pelletised, the pellets 25 mm of diameter were measured at the x ray fluorescence system using  $^{109}\text{Cd}$  as a source during 56000 s, because of the low activity of the radioactive source (0.07055 mCi). The spectra evaluation was made using AXIL software and the element concentration calculated by elemental sensitivity method.

## 3. RESULTS AND DISCUSION

The results were reported according to the requirements of the organisers in nearly all of the events we reported for each of the six replicate required including their respective standard deviation. The results were evaluated considering the recommendations given by the Guide ISO/IEC 43 Proficiency Testing by Interlaboratory Comparison<sup>9</sup>, and following the standard IAEA procedure for an interlaboratory comparison<sup>6</sup>. The results corresponding to our laboratories are shown in Fig. 1 to 11 and the discussion is centred on the unsatisfactory results. In order to assess the analytical process, six kinds of certificate reference material: SRM 1648, IAEA 336, BCR-CRM-320, NIST 1573 a, simulated diet A and NIST 679 were chosen as common environmental samples, the results for the reference material used in each event are shown in Tables 2 and 3.

Table 2 Analytical results (in mg/kg) for environmental reference material

Element	Lichen IAEA 336		Urban Particulate SRM 1648		River Sediment BCR-CRM-320	
	This work n = 6	Certified Values R. Values 95 %	This work n = 6	Certified Values	This work n = 6	Certified Values
Al	714	(680)	3.32 ± 0.07 *	3.27 ± 0.16 *	79.1 ± 3.7	76.7 ± 3.4
As	0.64 ± 0.05	0.63 ± 0.08	117 ± 6	115 ± 10		
Br	12.08 ± 0.8	12.9 ± 1.7	---	---		
Co	-----	-----	17 ± 1	18		
Cr	0.98 ± 0.16	(1.06)	423 ± 11	403 ± 12	160 ± 3	138 ± 7
Cu	4.6 ± 0.7	3.6 ± 0.5	---	---		
Fe	438 ± 45	430 ± 50	4.00 ± 0.15 *	3.91 ± 0.10 *		
K	1872 ± 183	1840 ± 200	1.04 ± 0.07 *	1.05 ± 0.01 *		
Mn	63.9 ± 4.2	63 ± 7	766 ± 0.18	(860)		
Na	317 ± 21	320 ± 40	-----	-----		
Sb	-----	-----	48 ± 2	(45)		
Sc	----	-----	6.6 ± 0.2	(7)		
Ti	----	----	0.40 ± 0.03 %	(0.4)		
V	1.47 ± 0.10	(1.47)	129 ± 4	140 ± 3		
Zn	32.7 ± 3.4	30.4 ± 3.4	0.48 ± 0.02 %	0.476 ± 0.014 %	157 ± 16	142 ± 3

( ) Reference value \* results in %

Table Nº 3 Analytical results (in mg/kg) for environmental reference materials

Element	Tomato leaves NIST 1573 a		Simulated diet A		Brick clay NIST 679	
	This work n = 6	Certified Values	This work n = 3	Certified Values	This work n = 5	Certified Values
Al	513 ± 82	(598)	-----	-----	10.81 ± 0.25	11.01 ± 0.34 *
As	-----	-----	-----	-----	9.4 ± 0.2	-----
Ca	4.8 ± 0.1 *	5.5 *	-----	-----	-----	-----
Cl	6694 ± 168	(6600)	-----	-----	-----	-----
Co	-----	-----	< 0.05	0.021 ± 0.01	26.2 ± 0.5	(26)
Cr	-----	-----	-----	-----	125 ± 31	109.7 ± 4.9
Cu	-----	-----	< 3	2.60 ± 0.15	-----	-----
Fe	-----	-----	86.25 ± 2.75	81.2 ± 4.8	9.48 ± 0.13 *	9.05 ± 0.21 *
K	2.60 ± 0.09	(246)	11943 ± 227	11222 ± 372	2.46 ± 0.03 *	2.13 ± 0.03*
La	2.39 ± 0.2	(2.3)	-----	-----	-----	-----
Mg	10.6 ± 0.02 *	(1.2)	-----	-----	0.85 ± 0.13 *	0.755 ± 0.009*
Mn	237 ± 4	(246)	5.53 ± 0.01	5.69 ± 0.47	1715 ± 29	(1730)
Na	128 ± 7	(136)	1731 ± 38	1613 ± 48	1356 ± 20	1304 ± 38
Rb	-----	-----	9.45 ± 0.84	8.85 ± 0.07	209 ± 11	(190)
Sb	-----	-----	-----	-----	1.1 ± 0.1	-----
Sc	0.09 ± 0.02	(0.1)	-----	-----	23.4 ± 0.4	-----
Ti	-----	-----	-----	-----	0.566 ± 736 *	0.577 ± 0.033*
V	0.93 ± 0.14	(0.835)	-----	-----	163.2 ± 8.6	-----
Zn	-----	-----	-----	-----	157 ± 16	(150)

( ) Reference value \* results in %

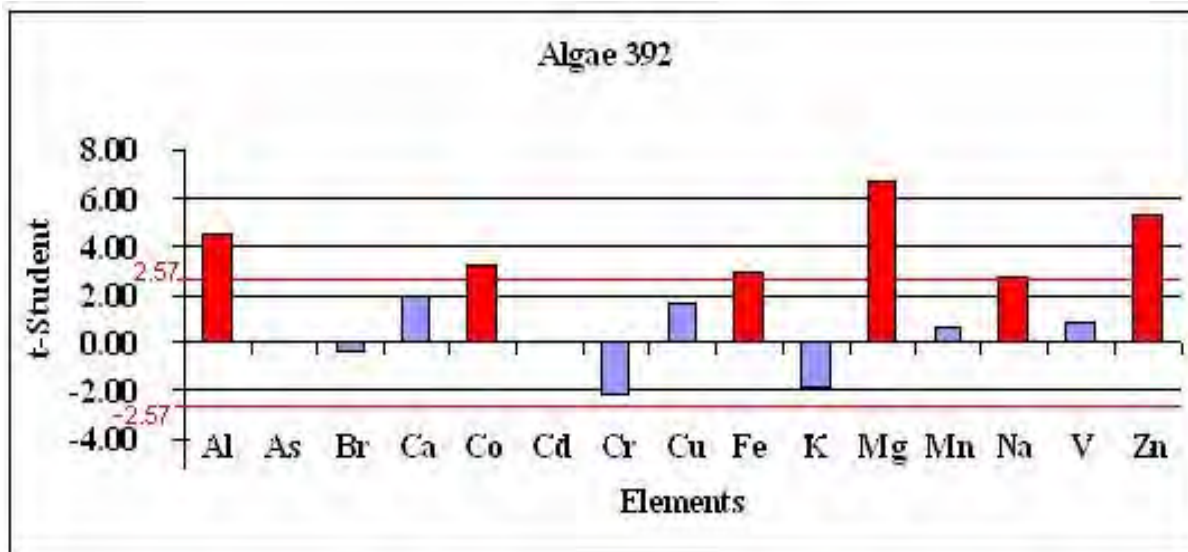


Figure 1. Evaluation by t-student of Algae 392 sample.

In order to compare our results with the intercomparison accepted mean, we calculated the t-student for Algae 392 sample, absolute values of t-student higher than 2.57 are considered an unsatisfactory. For 15 elements analysed, 6 had questionable results, which are shown as dark bars in Fig 1. The concentration of Al, Mg, Na and Zn were high due the influence of sample vial; this is a polyethylene material which contains: 29 µg of

Al, 2.4 µg of Mg, 2.8 µg of Na and 58 µg of Zn and they were not discounted from the calculus; the methodology was changed afterwards in order to avoid this error. The high value reported for Co to a radioactive contamination of the detector which was used at that time. The Fe value is the result of very poor statistic counting for that level of concentration.

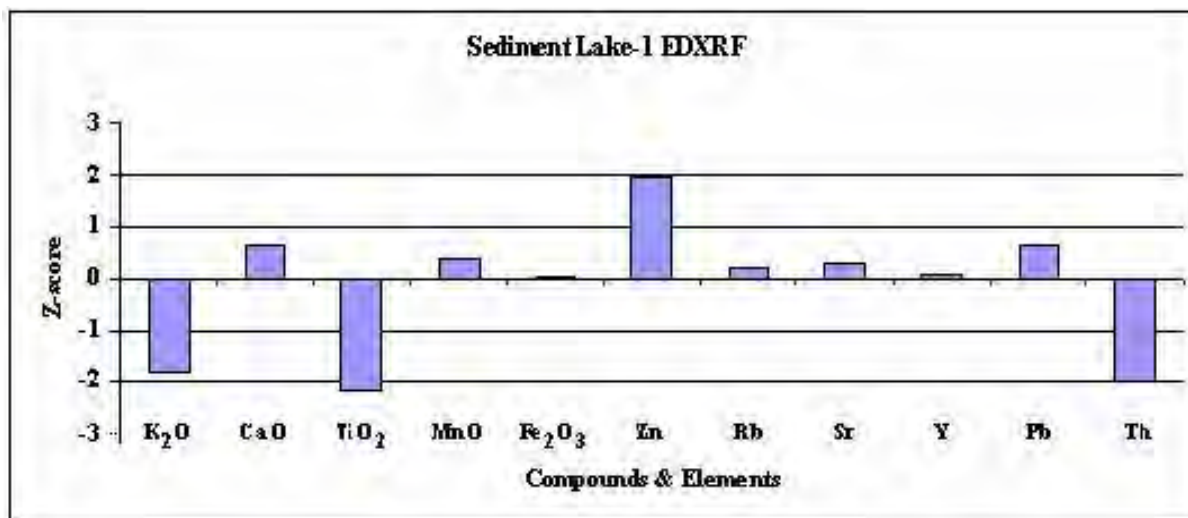
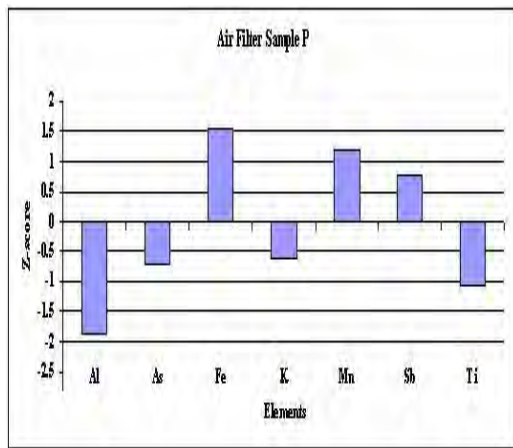


Figure 2. Evaluation by Z-score of IAEA SL-1 sediment by XRFDE.

Figure 2 shows the results of evaluation by Z-score for the proficiency test in trace elements in IAEA SL-1, sediment lake sample, there

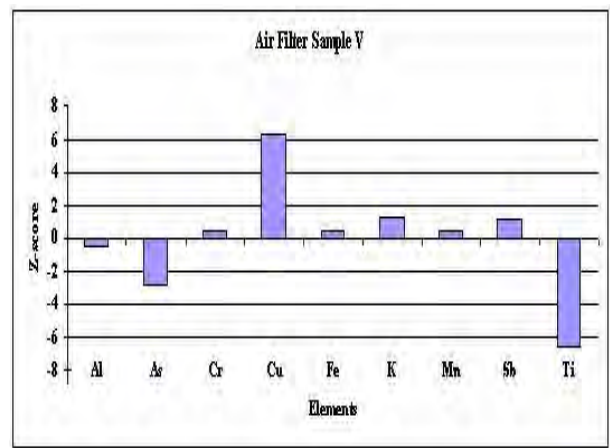
were not unsatisfactory Z-score so all determinations passed the test.





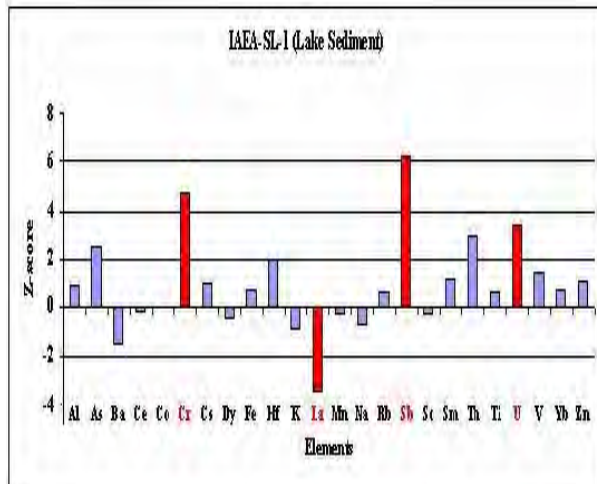
**Figure 3.** Evaluation by Z-score of air filter sample P.

Figure 3 shows the results of the NAT 7 quality control study, for the air filter sample P, we can observe that all results were satisfactory. In the case of the air filter sample V (Fig. 4) as the concentration of the elements were too low, we irradiated during 1800 s instead of our standard



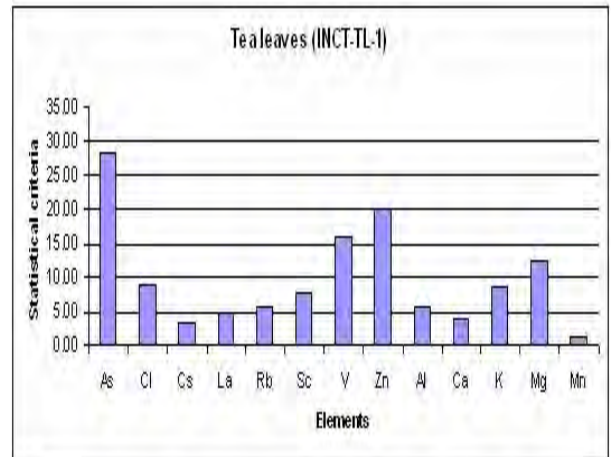
**Figure 4.** Evaluation by Z-score of air filter sample V.

of 60 s in our routine procedures, this produced a high Cu concentration and low Ti concentration due to spectral interference of  $^{56}\text{Mn}$  Compton edge, and an inadequate evaluation of  $^{66}\text{Cu}$  at 1039 keV and  $^{51}\text{Ti}$  at 320 keV.



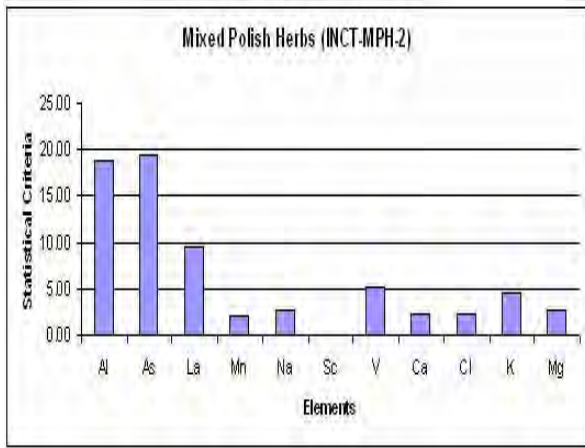
**Figure 5.** Evaluation by Z-score of IAEA SL-1 sample INNA- $k_0$

In relation to the proficiency test in Lake Sediment sample IAEA-SL-1, 24 elements were reported, 4 of them were unsatisfactory (see Fig 5). Sb concentration was rather high because the contribution of  $^{56}\text{As}$  at 562.8 keV in  $^{122}\text{Sb}$  at 563.8 keV was not corrected. The Cr, U and La elements with low energy presented problems with the calculated efficiency curve then, they needed a new calibration in efficiency curve.



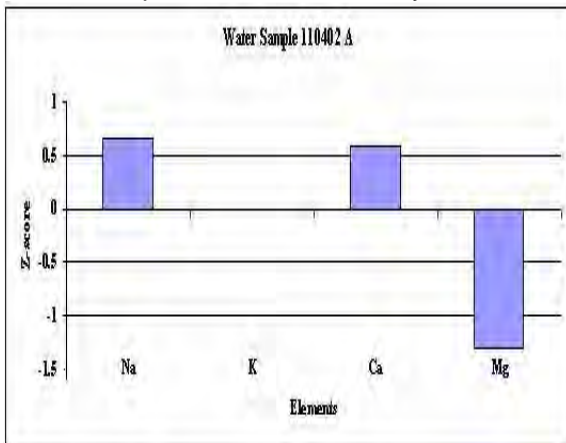
**Figure 6.** Evaluation by Statistical Criteria of Tea Leaves (INCT-TL-1)

Figure 6 shows the evaluation of tea leaves (INCT-TL-1) sample, the results calculated according to statistical criteria<sup>6</sup>, out of 13 results, 3 of them were unsatisfactory. The As and Mg were reported under limit of quantification, and the Zn was slightly high because the vials had zinc and we did not discounted.



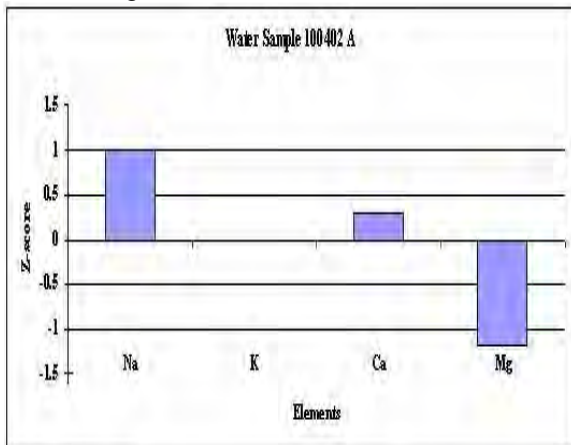
**Figure 7.** Evaluation by Statistical Criteria of Mixed Polish herbs.

The evaluation of the results according to statistical criteria of the mixed polish herbs (INCT-MPH-2) is illustrated in Figure7, all of 11 elements reported were satisfactory



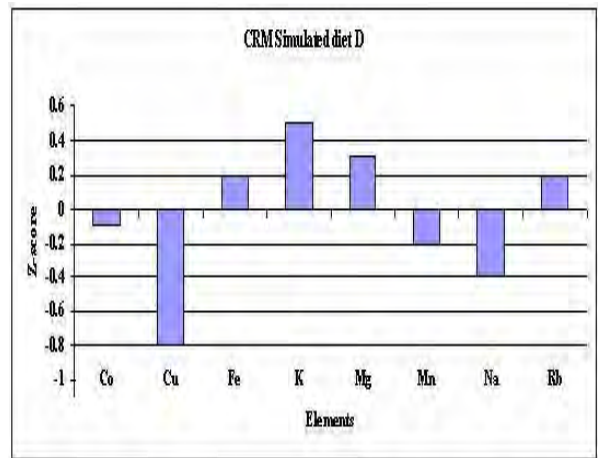
**Figure 8.** Evaluation by Z-score of Water 110402 Sample.

In relation of water sample (Figure 8) It shows, 3 out of 4 elements were satisfactory. The K value reported was also satisfactory because we reported K = <10 mg/L and the accepted value was 6.1 mg/L

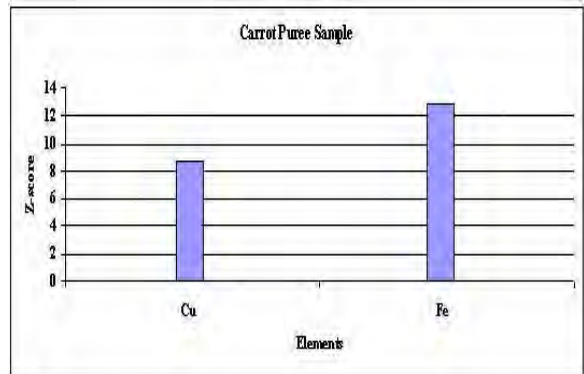


**Figure 9.** Evaluation by Z-score of Water 100402 sample.

Figure 9 shows the proficiency test for water samples, we did not have unsatisfactory results, inclusive K was satisfactory, because we reported result was K = <10 mg/L, and the accepted value was 0.63 mg/L



**Figure 10.** Evaluation by Z-score of Simulated diet D Sample.



**Figure 11.** Evaluation by Z-Core of Carrot purée sample.

The proficiency test in food samples (Fig.10), CRM Simulated diet D sample illustrated we did not have unsatisfactory results and the carrot purée sample our reported results (Fig 11) were under limit of detection: Cu <2 mg/kg and Fe < 20 mg/kg, The accepted results were Cu = 0.515 mg/kg, and Fe = 2.386 mg/kg

**Table 4.** Shows the evolution of our performance along the time in which out of 108 reported results, 93 were satisfactory and, 15 unsatisfactory.

Z-score	1996 Sept.	1998 Feb.	2000 May	2000 July	2001 Jan.	2002 April	2002 May
Z < 3	9	11	14	20		8	10
Z > 3	6	0	2	4		0	0
Statistical Criteria IAEA <20% < 10%					21		
Statistical Criteria IAEA >20% > 10%					3		

#### 4. CONCLUSIONS

In the last two proficiency test carried out in 2002, our result passed the test, showing that our quality control was improved, as we take into account all of our error sources.

The participation in this events allowed us to study the trackability, to know the budget of errors, improving them, to take the corrective actions and over all to be convinced that without a quality system under of the requirements of the ISO 17025 would have been more difficult to reach tangible conclusions about quality control.

#### 5. ACKNOWLEDGEMENTS

The authors want to give our acknowledgements to the IAEA for giving us the opportunity of improving our results by its different programmes, activities and projects through experts, assessors and auditors.

#### 6. REFERENCES

- 1) Norma Técnica Peruana NTP-ISO/IEC 17025 2001. Requisitos generales para la competencia de laboratorios de ensayo y calibración 2001-02-15, 1º ed.
- 2) Burns K. Preliminar statistical evaluation of the intercomparison run iaea-390 trace elements in three different level algae IAEA-0391 / IAEA-0392 / IAEA-0393 IAEA/al/101p.

3) Final report of the proficiency test for xrf laboratories, IAEA laboratory at Seibersdorf, ptxrf-iaea/01/may-2002.

4) Bleise A.; Smodis B.; Quality control study nat-7 for the determination of trace and minor elements in dust artificially loaded on air filters. IAEA, Vienna, February 2002 NAHRES– 68.

5) Cortés E.; Gras N.; Informe del ensayo de aptitud ARCAL XXVI RLA / 4 / 013. Comisión Chilena de Energía Nuclear, CCHEN junio del 2000.

6) Preparation and certification of the Polish reference material mixed polish herbs (inct-mph-2) and tea leaves (inct-tl-1) for inorganic trace analysis. Institute of Nuclear Chemistry and Technology, raport ichtj. serie A nr 4/2002 ISSN 1425-7343 Warszawa, Poland.

7) Marin S.; Cornejo S; Villalobos J.; Arlegui O.; Olave S.; Informe ejercicio de comparación interlaboratorios de química básica proyecto IAEA/RLA80/3. Laboratorio de Análisis Químico del Centro de Estudios Nucleares Aguirre, Comisión Chilena de Energía Nuclear, Santiago de Chile, 2002.

8) Swedish National Food Administration IAEA-CRP Interlaboratory test for trace elements in foods simulated diet d carrot purée, January 2003.

9) ISO/IEC Guide 43 – 1; 1997 (e) proficiency testing by interlaboratory comparisons.

# ANÁLISIS NO DESTRUCTIVO DE ALEACIONES POR FLUORESCENCIA DE RAYOS X

Olivera P. <sup>(1)</sup> [polivera@ipen.gob.pe](mailto:polivera@ipen.gob.pe)

(1) Departamento de Química – IPEN / Lima, Perú

## RESUMEN

Se ha implementado un procedimiento de análisis multielemental de aleaciones utilizando un método no destructivo. El método se basa en el bombardeo directo de la muestra con un haz de rayos gamma proveniente de una fuente de Am-241 y mediante la evaluación del espectro de fluorescencia de rayos-x obtenido, se identifica y cuantifica los elementos presentes. Para la evaluación de los espectros se utilizó el software Quantitative X-Ray Analysis System (QXAS) Versión 3.5 y el método de sensibilidad elemental, proporcionado por el OIEA. El método es aplicable a aleaciones de Au, Ag, Cu, Ni, Zn, Pd, etc. en concentraciones del orden de % con un error de  $\pm 5\%$ . Puede ser utilizado como una herramienta de control de calidad en joyas

## ABSTRACT

A procedure has been implemented for multielemental analysis of alloys using a nondestructive method. The method is based on the direct bombing of the sample with a beam of gamma photons from Am-241 source, and by the evaluation the spectrum obtained, the present elements are identified and quantifies. For the evaluation the spectrum, the software Quantitative X-Ray Analysis System (QXAS) version 3.5, and Elemental Sensitivities Method, provided by the IAEA was used. The method is applicable to alloys of Au, Ag, Cu, Ni, Zn, Pd, etc. in concentrations the order % with an error of  $\pm 5\%$  It can to be used as the quality control of jewels.

## 1. INTRODUCCION

El tiempo dedicado a la elaboración de objetos de joyería, el alto costo de la materia prima utilizada, la necesidad de garantizar la calidad del producto y los procedimientos de análisis convencionales, muchas veces no van de la mano ya que requieren de la destrucción del

objeto a analizar con las consecuentes pérdidas de tiempo y dinero.

La técnica de análisis por fluorescencia de rayos-x en energía dispersiva, independientemente del tamaño de la muestra es capaz de determinar la concentración de sus elementos presentes sin necesidad de destruirla, simplemente exponiendo una superficie representativa de ella con un haz de fotones gamma.

## 2. FUNDAMENTO TEORICO

Los fotones gamma de 59.5 KeV que emite el Am-241, al interactuar con los electrones de un átomo expulsan a estos generando un hueco, el que es inmediatamente cubierto con un electrón superior (de una capa superior) generando como consecuencia la emisión de rayos X característicos del elemento irradiado; estos rayos X permiten identificar y cuantificar al elemento en cuestión. Mediante la determinación de la sensibilidad elemental de algunos elementos estándar; con:

$$S_i = \frac{I_i * f_A}{t * A * C_i}$$

Donde:

- S<sub>i</sub>** Sensibilidad del elemento *i*
- I<sub>i</sub>** Área neta del pico de la línea característica del elemento *i*
- f<sub>A</sub>** Factor de Absorción
- t** tiempo de conteo
- A** Actividad de la fuente radiactiva
- C<sub>i</sub>** Concentración de elemento *i*

Se tratan separadamente las líneas K $\alpha$  de las líneas L $\alpha$ . El ajuste a una función polinomial de las sensibilidades elementales calculadas con el número atómico Z del elemento *i*, mediante:

$$\frac{S_i(Z)}{\mu_m(Z)} = a_0 + a_1 \cdot Z + a_2 \cdot Z^2 + a_3 \cdot Z^3 + \dots$$

o

$$\log \left[ \frac{S_i(Z)}{\mu_m(Z)} \right] = b_0 + b_1 \cdot Z + b_2 \cdot Z^2 + b_3 \cdot Z^3 + \dots$$

Donde:

$\mu_m(Z)$  es el coeficiente de atenuación másico para el elemento cuyo número atómico es Z

Este procedimiento calcula la sensibilidad como una función del número atómico, lo más importante, es que calcula por interpolación y extrapolación, las sensibilidades de elementos no disponibles en el laboratorio.

### 3. EQUIPOS Y MATERIALES

Fuente de excitación:

Am-241

Actividad: 25 mCi

Período de Semidesintegración: 458,4a

#### Sistema de Espectrometría de Rayos X:

1. Detector de Silicio – Litio, marca ORTEC, Modelo SLP 10190
2. Fuente de alto voltaje Marca ORTEC, Modelo 459
3. Amplificador marca CANBERRA, Modelo 2025
4. Portanim BNC Modelo AP-2H.
5. Osciloscopio Marca TRIO Modelo CS-1830.
6. Tarjeta multicanal Modelo PCA (NUCLEUS) incorporado a una computadora AT/ 386 Marca DATAWORLD con procesador matemático (monitor Modelo VGA Marca VIEWSONIC)

### 4. TRABAJO EXPERIMENTAL

Geometría de irradiación: Se muestra en la figura 1.

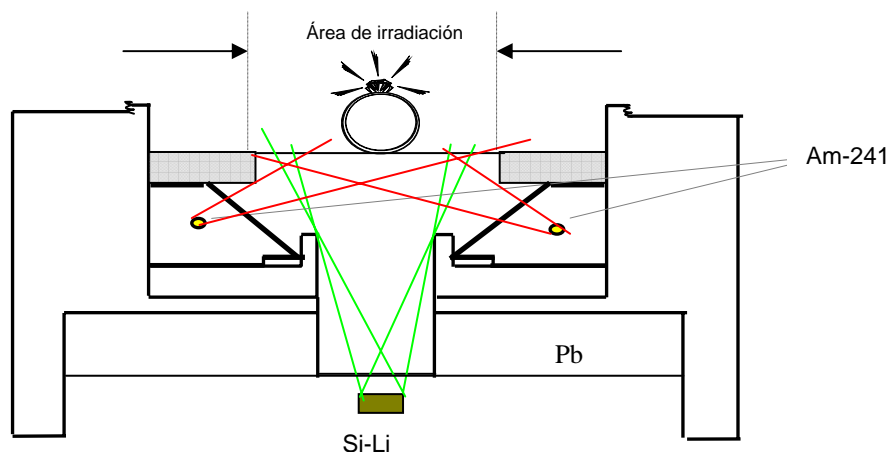


Figura 1. Geometría de irradiación directa de muestras con Am-241

#### Calibración del Sistema:

Se utilizó láminas metálicas de 99.99% de pureza de Ti, Ni, Cu, Pb, Ta y pastillas de KBr, U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>, HgCl<sub>2</sub>, Sr((NO)<sub>3</sub>) y SnCl<sub>2</sub> de alta pureza que fueron irradiados por 200 s, para generar un archivo de calibración por el método de sensibilidad elemental.

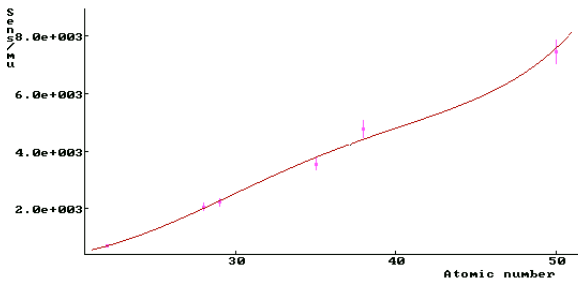
#### Preparación de la muestra:

Se ubicó la muestra, previamente se limpió la superficie, sobre un mylar, dentro del área de

irradiación, en una posición al azar (Fig. 1) y se irradió por 500 segundos; se repitió este paso por 10 veces variando, cada vez, la zona de exposición.

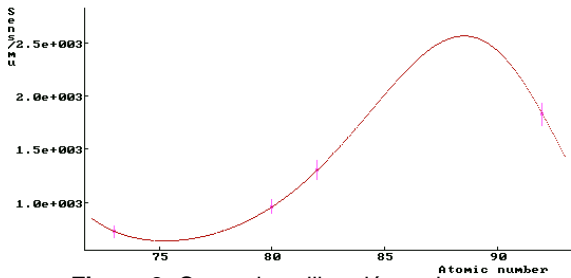
Se evaluaron los espectros acumulados (fig. 4), se identificó los elementos presentes y se determinó las concentraciones de los mismos utilizando el archivo de calibración cuyas curvas se muestran en las figuras 2 y 3.

Calibration file: C:\AKIL\SPECT\AM-241\CALIBRA\AM241-02.CAL  
 Created on: 06-24-2002 Calibration date: 07-12-2002

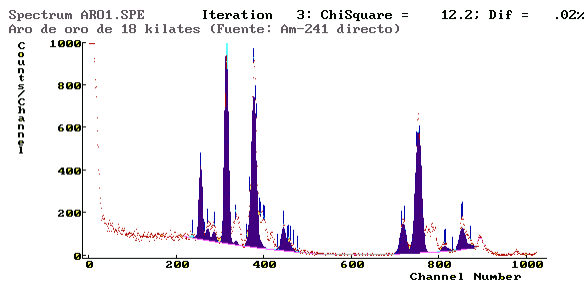


**Figura 2.** Curva de calibración en base a sus líneas K

Calibration file: C:\AKIL\SPECT\AM-241\CALIBRA\AM241-02.CAL  
 Created on: 06-24-2002 Calibration date: 07-12-2002



**Figura 3.** Curva de calibración en base a sus líneas L



**Figura 4.** Espectro de Fluorescencia de Rayos X de un aro de oro de 18 K

**Tabla 1.** Resultados del análisis de una sortija de oro de 18 K

Elemento	Conc. %	$\sigma$	CV
<b>Cu</b>	<b>23.12</b>	0.93	4.03
<b>Zn</b>	<b>&lt; 1.2</b>		
<b>Pd</b>	<b>0.80</b>	0.03	3.72
<b>Ag</b>	<b>3.26</b>	0.18	5.56
<b>Au</b>	<b>72.70</b>	1.00	1.38

**Tabla 2.** Resultados del análisis de una medalla de oro de 18 K, irradiado en 10 diferentes áreas de su superficie.

Elemento	Prom	$\sigma$	CV
<b>Ni</b>	1,60	0,24	15,21
<b>Cu</b>	23,22	0,25	1,09
<b>Zn</b>	0,61	0,23	37,82
<b>Pd</b>	0,23	0,03	13,04
<b>Ag</b>	3,40	0,14	4,23
<b>Au</b>	70,94	0,19	0,27

**Tabla 3.** Resultados del análisis de la misma medalla de oro de 18 K, variando la posición de la pieza en el area de irradiación.

Elemento	Prom	$\sigma$	CV
<b>Ni</b>	2,75	1,38	50,18
<b>Cu</b>	27,64	2,44	8,84
<b>Zn</b>	1,15	0,61	52,68
<b>Pd</b>	0,13	0,03	21,68
<b>Ag</b>	2,67	0,35	13,22
<b>Au</b>	65,99	4,34	6,57

## 5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El método parte de la premisa de que la muestra es homogénea, de matriz conocida, representativa y no tiene películas superficiales (bañado).

De la Tabla 2, se puede concluir que la muestra es homogénea y se observa un buen grado de precisión en los valores obtenidos.

De la Tabla 3, se puede observar, que para casos de muestras pequeñas, como sortijas, medallas u otros objetos cuya dimensión sea menor al área de irradiación es importante que la muestra esté ubicada en el punto central del área de irradiación, donde se ha encontrado concentraciones en el rango de valores mostrados en la Tabla 2.

## 6. CONCLUSIONES

Pese a utilizar solo K, Ti, Ni, Cu, Br, Sr, Sn, Ta, Hg, Pb, y U, la técnica permite determinar elementos cuyo  $18 < Z < 51$  mediante sus líneas K y elementos cuyo  $72 < Z < 93$ .

Es una técnica versátil, que permite analizar diferentes tipos de muestras, como: metales



puros y diversas aleaciones como soldaduras y bronce.

Es posible detectar al mismo tiempo varios elementos presentes en el material de análisis.

La técnica es NO DESTRUCTIVA, ya que el material puede ser utilizado sin problemas después del análisis.

Es rápida, con buena precisión y bajo costo. Puede ser utilizado como una herramienta de control de calidad en joyas.

## **7. REFERENCIAS**

- [1] Manual de software Quantitative X-Ray Analysis System (QXAS) Version 3.5
- [2] Bertín E. Principles and Practice of X-Ray Spectrometric Analysis, 1979

# ANÁLISIS DE SEDIMENTOS POR FLUORESCENCIA DE RAYOS-X EN ENERGÍA DISPERSIVA

Olivera P. <sup>(1)</sup> [polivera@ipen.gob.pe](mailto:polivera@ipen.gob.pe)

(1) Departamento de Química – IPEN / Lima, Perú

## RESUMEN

Se ha analizado mediante Fluorescencia de Rayos X en Energía Dispersiva con excitación radio isotópica, una muestra desconocida de sedimento junto a un material de referencia, de matriz similar (SL-1/IAEA). Los errores observados fueron menores del 10% en la mayoría de los casos, excepto para el Ti. Se utilizó una fuente anular de Cd-109 para la excitación de los elementos y un detector semiconductor de Si(Li), acoplado a una tarjeta multicanal incorporado en una PC para la detección de los rayos X característicos. Se ha usado el método de sensibilidad elemental para la determinación de concentraciones de los elementos presentes en rango de número atómico de 19 a 42 (K a Mo) mediante sus líneas  $K\alpha$  y de 50 a 93 (Sn a U), mediante sus líneas  $L\alpha$ .

## ABSTRACT

An unknown sediment sample beside a certified sample of similar matrix (SL-1/IAEA) were quantitatively analysed by energy dispersive X-ray fluorescence with radioisotopic excitation. The observed errors were less than 10% for the majority of the elements except for Ti. Annular radioactive source Cd-109 were utilized for the excitation of elements while a Si(Li) semiconductor detector compled to a multichannel emulation card inserted in a PC was used for the detection of the characteristic X-rays. The Elemental Sensitivities method was used for the determination of the concentrations of elements presents, on the range of atomic number 20 to 42 (K to Mo) by  $K\alpha$  lines and 50 to 93 (Sn a U), by  $L\alpha$  lines.

## 1. INTRODUCCIÓN

El Organismo Internacional de Energía Atómica, con cierta frecuencia, organiza Test de Eficiencia para Laboratorios de Fluorescencia de Rayos X, con la finalidad de evaluar la calidad de los resultados, que

los laboratorios asistidos por ellos, entregan a sus usuarios. En esta ocasión se trató de analizar una muestra de sedimento, considerado como una muestra de origen ambiental.

Los fotones gamma

## 2. EQUIPOS Y MATERIALES

### Fuente de excitación:

Fuente radiactiva de Cd-109  
Actividad : 0.07055mci al 26-02-02

### Sistema de espectrometría de rayos-x:

1. Detector de Silicio – Litio, marca ORTEC, Modelo SLP 10190
2. Fuente de alto voltaje Marca ORTEC, Modelo 459
3. Amplificador marca CANBERRA, Modelo 2025
4. Portanim BNC Modelo AP-2H.
5. Osciloscopio Marca TRIO Modelo CS-1830.
6. Tarjeta multicanal Modelo PCA (NUCLEUS) incorporado a una computadora AT/ 386 Marca DATAWORLD con procesador matemático.

## 3. TRABAJO EXPERIMENTAL

Tabla 1. Elementos utilizados para la calibración en energía del sistema.

Energías (Kev)	Elementos	Canal
4.508	Ti	154
5.894	Mn	208
8.04	Cu	294
15.744	Zn	603

### Calibración del Sistema en Energía

La calibración en energías es el paso previo para la identificación de elementos, se irradió láminas de: Ti, Mn, Cu, Zr de 99.99% de pureza simultáneamente durante 500s

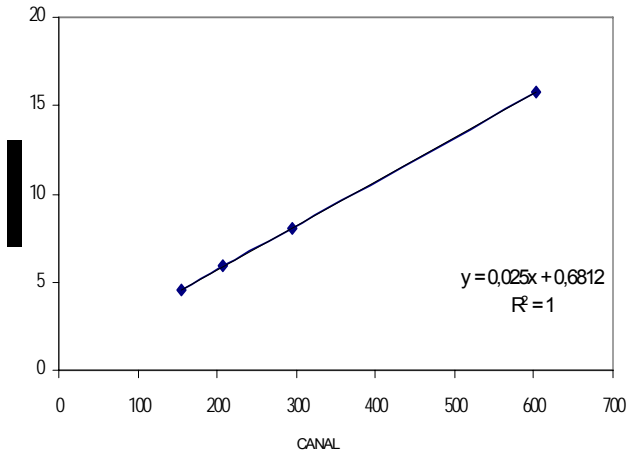


Figura 1. Curva de calibración de Energía vs Canal.

### Calibración en sensibilidad elemental

#### Angulo de incidencia

Se determinó el ángulo de incidencia con la siguiente fórmula:

$$\phi = \text{Arcsen} \left[ \frac{mc^2}{E_0 E_s} (E_0 - E_s) - 1 \right]$$

Donde:

$$E_0 = 22,101 \text{Kev}$$

$$mc^2 = 511 \text{Kev}$$

$$E_s = 20.55$$

$$\phi_{Al} = 48.17^\circ$$

Tabla 2. Elementos utilizados para la calibración en sensibilidad elemental.

Elem	Forma química	% de pureza	Espesor Másico (g/cm <sup>2</sup> )
K	KBr	99.50	1.23598 0
Ti	metal	99.99	0.112745
Mn	Mno2	99.00	0.3062
Fe	FeSo4.7H2O	99.50	0.500271
Co	metal	99.00	0.23428
Ni	metal	99.99	0.044872
As	As2O3	89.83	0.370167
Br	Kbr	99.50	1.235980
Sr	Sr(NO3)2	99.00	0.8158309
Mo	MoO3	99.50	0.1941423
Ag	metal	99.99	0.0791749
Sn	SnCl2.2H2O	99.0	0.3642688
Cs	CsCl	99.50	1.161855
Ba	Ba(NO3)2	99.4	1.210922
Gd	metal	99.99	0.0401066
Dy	metal	99.99	0.1300886
Ta	metal	99.99	1.6500
Hg	HgCl	99.90	∞
Pb	metal	99.90	1.059632
U	U3O8	89.94	0.211561

En las figuras (2 y 3) se muestran las curvas de calibración por sensibilidad elemental de los elementos de la línea K $\alpha$ . Y L $\alpha$ .

### Análisis de muestras

Se trabajó paralelamente con la muestra desconocida y un material de referencia.

### Determinación de la humedad

Se calentó las muestras a 105 °C por 24 horas.

### Preparación de la pastilla para su irradiación

Se pesó aproximadamente 900mg de muestra y de material de referencia y 100mg de aglutinante orgánico "celulosa" (C<sub>6</sub>H<sub>10</sub>O<sub>5</sub>). Para cada uno, se homogenizó la mezcla agitando vigorosamente el frasco cerrado durante 15 minutos, se preparó las pastillas correspondientes y se determinó su espesor.

Tabla 3. Condiciones de irradiación de la muestra y el material de referencia.

Muestra	Humedad (%)	Espesor másico	Concentración Celulosa (%)
Desconocida	5.77948	0.2032701	9.99
MR SL-1	5.84566	0.209952	9.88

### Irradiación y medición de las pastillas

Tiempo de irradiación: 56000 s.

En la Figura 4 se muestra un espectro de la muestra desconocida

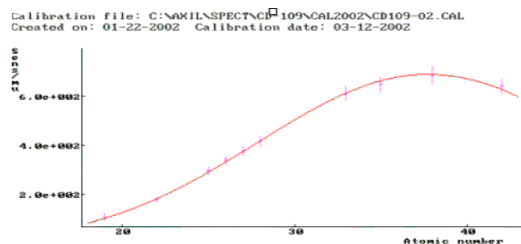


Figura 2. Curva de calibración por sensibilidad elemental de la línea K

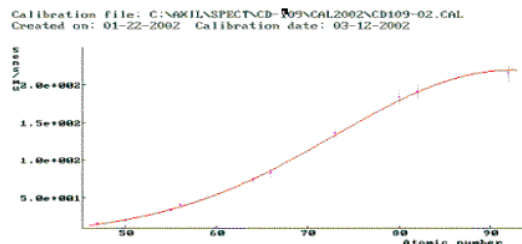


Figura 3. Curva de calibración por sensibilidad elemental de la línea L

Spectrum OIEA-D7.SPE Iteration 4: ChiSquare = 59.0; Dif = .01%  
 OIEA-FRX 9.98% celulosa (0.2032701g/cm<sup>2</sup>)

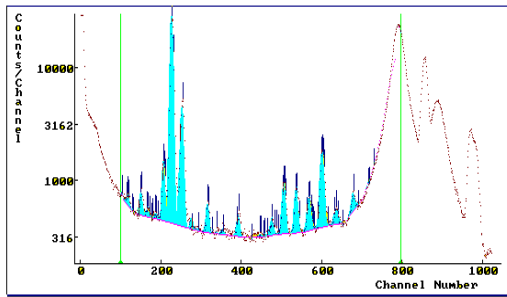


Figura 4. Espectro de la muestra.

Tabla 4. Resultados de análisis de la muestra desconocida y el material de referencia.

Elem.	Muestra desconocida (mg/Kg)	Material de Referencia SL-1 (mg/Kg)	Valor certf.	Error (%)
K	13558 ± 1039	15051 ± 1533	15000	0
Ca	2554 ± 625	2523 ± 895	2500	1
Ti	4717 ± 289	6277 ± 407	5170	21
Mn	3518 ± 92	3691 ± 87	3460	7
Fe	67505 ± 1160	68798 ± 1100	67400	2
Zn	254 ± 10	235 ± 6	223	5
Rb	115 ± 2	116 ± 2	113	3
Sr	82 ± 2	82 ± 1	80	3
Y	86 ± 1	88 ± 1	85	4
Zr	240 ± 2	249 ± 2	241	3
Nb	20 ± 1	16 ± 1	17	-6
Pb	40 ± 7	39 ± 5	37.7	3
Th	11 ± 2	13 ± 2	14	-7

## 4. CONCLUSIONES

La técnica aplicada da resultados con alto grado de exactitud, como se observa en la tabla 4, habiendo obtenido errores menores al 10%, excepto para el Ti, para el que se observa un error del 21 %.

El uso de un material de referencia, certificado similar a la muestra desconocida, analizado en paralelo con la misma, permite garantizar la calidad de los resultados.

El Cd-109 como fuente de excitación permite, dadas las energías de sus fotones de 22.101 KeV ( $K\alpha$  de Ag), 24.928 KeV ( $K\beta$  de Ag) y 88 KeV ( $\gamma$ ), determinar elementos cuyos Z, se encuentran entre 19 a 42 y 50 a 92, vale decir, del K al Mo y del Sn al U, respectivamente.

Es una técnica versátil, que permite analizar diferentes tipos de muestras, como sedimentos, arcillas, suelos, etc.

## 5. REFERENCIAS

- [1] Manual de software Quantitative X-Ray Analysis System (QXAS) Version 3.5
- [2] Strelt C. and Wobrauschek P. Practical Course X-Ray Analytical Methods, 1998
- [3] Bertín E. Principles and Practice of X-Ray Spectrometric Analysis, 1979

## ***II. Ingeniería Nuclear***

# DIMENSIONES DE LA ZONA SENSIBLE DE UN DETECTOR SEMICONDUCTOR COAXIAL DE GeHP

Vela M. <sup>(1)</sup> [mvela@ipen.gob.pe](mailto:mvela@ipen.gob.pe); Gomes J. <sup>(1)</sup> [jjgb76@yahoo.com](mailto:jjgb76@yahoo.com)

(1) Departamento de Cálculo, Análisis y Seguridad – IPEN / Lima, Perú

## RESUMEN

En este trabajo se presenta el comportamiento de la sensibilidad de un detector coaxial de GeHP respecto de la llegada del haz de radiación colimado en la dirección frontal como lateral. Los resultados muestran que, para una configuración horizontal o vertical del criostato, existe una dirección preferencial de detección. A partir de los perfiles de sensibilidad se obtuvo un estimado de la dimensión sensible del cristal semiconductor del detector.

## 1. INTRODUCCIÓN

Para el análisis cuantitativo de fuentes radioactivas gamma es necesario conocer la eficiencia de fotopico del sistema de medición lo cual se determina usando fuentes patrón de geometría puntual para una determinada distancia fuente-detector; pero en ciertos casos el tamaño de la fuente a analizar hace que no se pueda considerar como puntual y es necesario conocer el tamaño de región sensible del detector para hacer las correcciones necesarias y determinar la variación de la eficiencia.

Para resolver este problema en el Grupo de Física de Reactores, se acudió al manual de operación del detector, CANBERRA año 81-82 y no presentaba este detalle técnico, por lo cual se planteó realizar un experimento que permita estimar las dimensiones de la zona sensible del detector de GeHP.

## 2. PROCEDIMIENTO Y EQUIPO EXPERIMENTAL

- a) El equipo experimental consistió en:
- Un detector de GeHP, Marca CANBERRA, Modelo 7229P
  - Un ADC Modelo 8701
  - Un amplificador CANBERRA, Modelo 2025
  - Una fuente de alto voltaje CANBERRA Modelo 3106D

- Una tarjeta de adquisición de datos S100 asociado a un programa de análisis de espectros gamma GENIE 2000
- Una fuente puntual de calibración de Am-241 de 22.81  $\mu$ Ci
- Un colimador cilíndrico de plomo de diámetro interno 2.0 mm x 30 mm.

- b) El conjunto fuente - colimador se colocó en la parte frontal del detector de GeHP y se desplazó a lo largo de todo el diámetro, 76 mm, en intervalos de 1 mm con tiempos de conteo de 5 minutos cada uno. El mismo procedimiento se realizó para la parte lateral en un rango de 70 mm. La disposición experimental se presenta en la Figura 1.

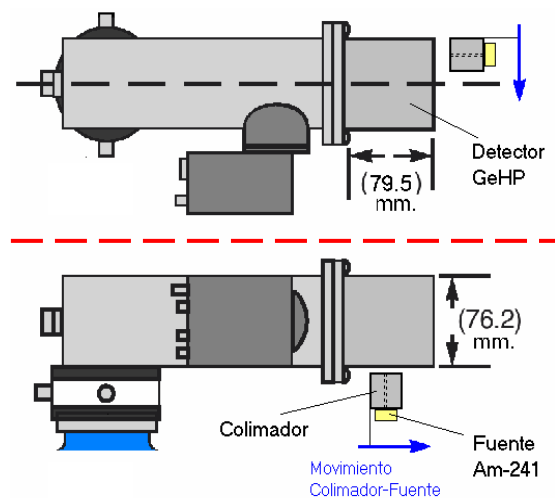
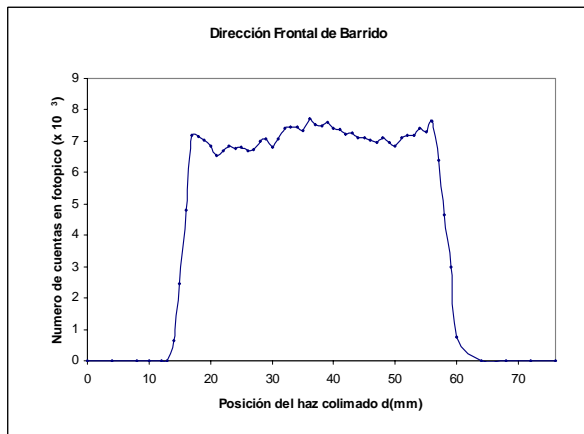


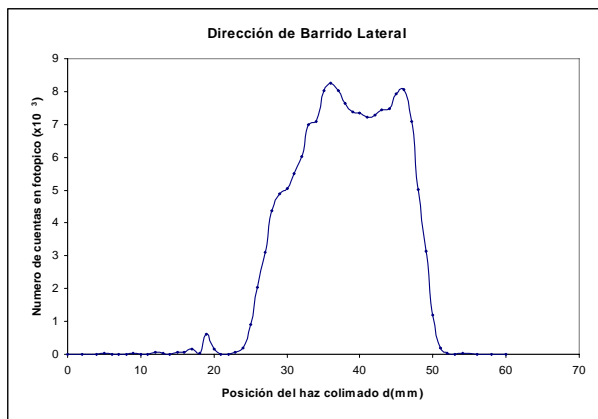
Figura 1. Disposición de la fuente – colimador y detector de GeHP.

## 3. TRATAMIENTO DE DATOS

Se graficó las cuentas netas del fotopico correspondiente a la energía de emisión del Am-241, 59 keV, para cada una de las posiciones del colimador y se obtuvo los siguientes perfiles de sensibilidad.



**Figura 2.** Perfil de sensibilidad del detector en la dirección coaxial.



**Figura 3.** Perfil de sensibilidad del detector en la dirección lateral.

## 4. RESULTADOS

- En un detector de GeHP la dirección preferencial de detección para un haz colimado de radiación gamma es la dirección axial.
- De los perfiles de sensibilidad obtenidos se estima que la zona de detección es de geometría cilíndrica de 30 mm de diámetro x 10 mm.

## 5. REFERENCIAS

- 1) Debertin K; Helmer R. Gamma- and X-Ray Spectrometry with Semiconductor Detector, Physical Sciences & Engineering Division, 1988.
- 2) Knoll, Glenn F. Radiation Detection and Measurement, John Wiley & Sons, 1989.



# WIMCIT: AN IN-HOUSE DEVELOPMENT INTEGRATED CODE FOR NEUTRON ANALYSIS IN MTR REACTORS WITH MIXED CORE

Cuya T. <sup>(1)</sup> [rcuya@ipen.com.pe](mailto:rcuya@ipen.com.pe); Medina R. <sup>(2)</sup> [jerryleelewis\\_pe@yahoo.com](mailto:jerryleelewis_pe@yahoo.com)

(1) *Departamento de Calculo Análisis y Seguridad – IPEN / Lima, Perú*  
 (2) *Facultad de Física – Universidad Nacional Mayor de San Marcos / Lima, Perú*

## ABSTRACT

So far, Peruvian nuclear research reactors RP-10 and RP-0 have been operating only with uranium oxide fuel elements ( $U_3O_8+Al$ ). In the future RP-10 reactor will operate with mixed cores ( $U_3Si_2+Al$ ,  $U_3O_8+Al$ ). For this reason the calculus capacity has to be increased in order to be able to handle the new fuel management. Since preparation of nuclear libraries for diffusion calculation requires a significant amount of computational and human resources a new tool that processes libraries generation and diffusion calculations is necessary.

For this reason the WIMCIT code was developed. The main feature of this code is to integrate WIMS and CITATION codes. The user can generate nuclear libraries in different groups (from 1 to 18) in the range of 0-10MeV automatically. They are generated from the WIMS output and then interpolated to create an input to CITATION according to the user specifications. Both the flux and power profiles can be calculated in different transverse sections. The output from the diffusion calculations is processed and different physical parameters of the reactor are displayed to the user.

Others WIMCIT capabilities are, flux calculation, power profiles, burn-up average by element, control rod interaction in the core and fuel management in mixed core. The WIMCIT code has been validated on the experimental data from the RP-10 fresh core to the current core (Number 24).

## 1. CONTENT

### Development

The code was development in Delphi programming language for Windows 98 and its migration to UNIX platform has begun.

The integrated WIMCIT code use the following neutron methodology as we can see in the Fig. 1 and 2.

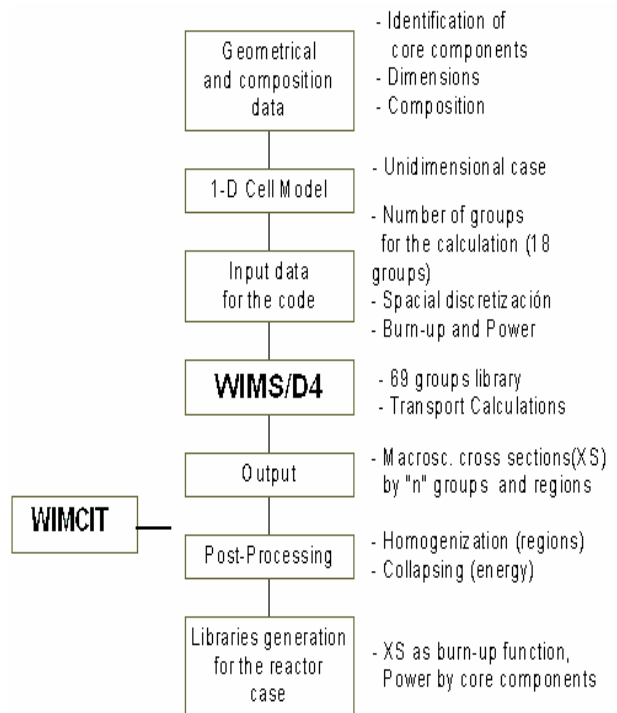


Figure 1. Cell calculation methodology.

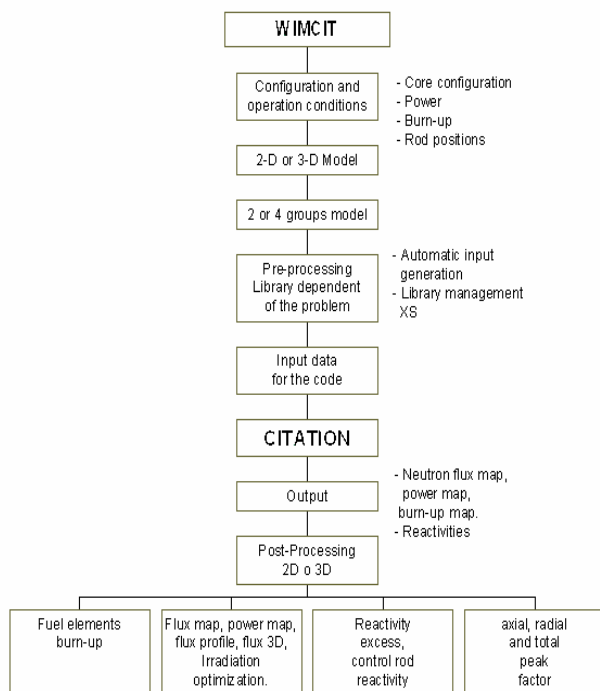


Figure 2. Diffusion calculation methodology.

### Main capabilities

The integrated code WIMCIT lets us to evaluate the following parameters:

- (1) Flux distribution for four and two energy groups.

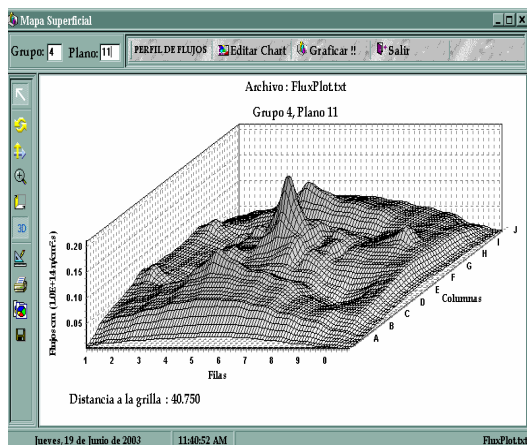


Figure 3. Flux distribution in the RP-10 core.

- (2) Burn-up distribution.

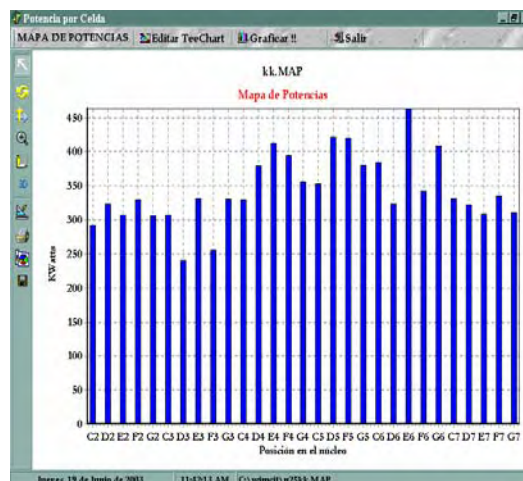


Figure 4. Burn-up for each fuel element position in the RP-10 core.

- (3) Excess reactivity.
- (4) Power distribution for each position in the core.

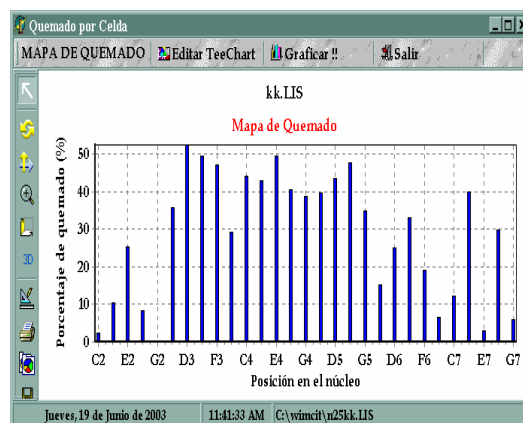


Figure 5. Power in Kilowatts for each fuel element position in the RP-10 core.

- (5) Flux distribution per rod and column.

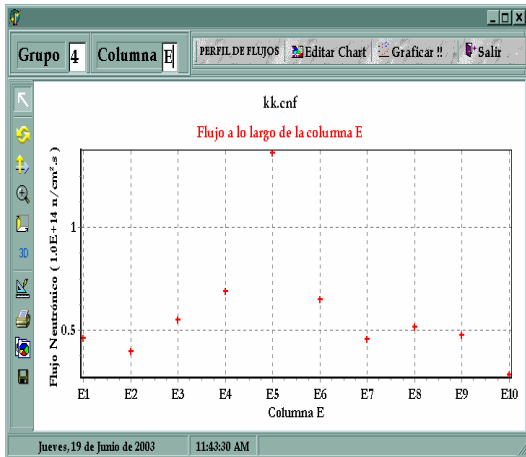


Figure 6. Flux distribution along the column E in the RP-10 core.

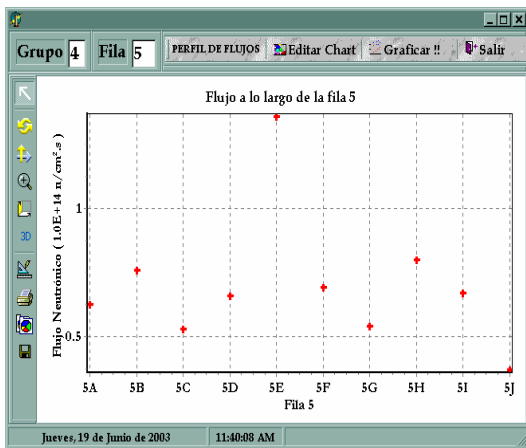


Figure 7. Flux distribution along the rod Nro. 5 in the RP-10 core.

(6) Axial power.

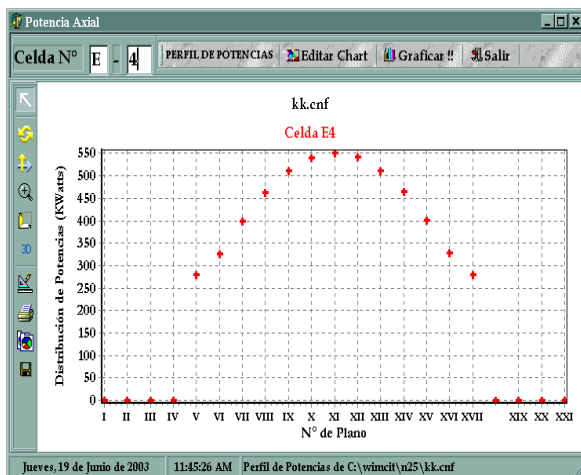


Figure 8. Axial power profile along the E5 irradiation position.

(7) Axial Flux.

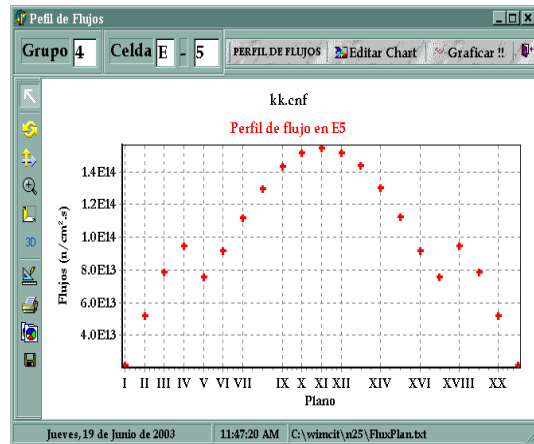


Figure 9. Axial thermal flux profile along the E5 irradiation position.

(8) Peak factors, etc.

The calculation can be made in 2D or 3 D dimensions. The fuel management can be made directly with its easy user interface as will see in the Fig. 10.



Figure 10. WIMCIT user interface.

Main limitations:

- (1) The calculations are made with control rods totally extracted.

## 2. REFERENCIAS

- 1) Teobaldo Cuya G., Richard Mediana C., Desarrollo de Software para cálculo neutrónico de del RP-10 a 2 grupos de energía. RT: 004-2002-DGI/DR/CASE/NT, Huarangal-Perú, 2002.
- 2) Version IAEA, "WIMS code for cells calculations", 2000.
- 3) Teobaldo Cuya G. Comparación cálculo - experimento del exceso de reactividad y flujos térmicos en el núcleo del RP-10 usando una nueva metodología de calculo neutrónico. RT:002-2003-INST/DR/CASE/NT.
- 4) T.B. Fowler, D. P. Vondy, G. W. Cunninham, Nuclear reactor core analysis code: CITATION, Oak Ridge National Laboratory, 1972, USA.

# SIMULACION CON EL CÓDIGO MCNP EN EL REACTOR NUCLEAR RP-10 EN SU CONFIGURACIÓN #14, BOC

Lázaro G. <sup>(1)</sup> [glazaro@ipen.gob.pe](mailto:glazaro@ipen.gob.pe); Parreño F. <sup>(1)</sup> [fparreno@ipen.gob.pe](mailto:fparreno@ipen.gob.pe)

(1) Departamento de Cálculo Análisis y Seguridad Nuclear – IPEN / Lima, Perú

## RESUMEN

Se presenta los resultados de exceso de reactividad del núcleo del reactor RP-10 en su configuración 14. Este exceso de reactividad ha sido calculado con MCNP4B con un modelo que describe en detalle las características de los elementos combustibles normales y de control, así como de cada elemento que constituye la configuración de trabajo #14. Este modelo fue previamente utilizado en el RP-0, ha sido aplicado en la configuración de arranque para el cálculo del exceso de reactividad y criticidad con diferentes posiciones de barras. En todos los casos hay una muy buena aproximación de los resultados de MCNP con los valores experimentales.

## 1. INTRODUCCIÓN

En este trabajo se evalúa el exceso de reactividad, a partir del cálculo del  $K_{eff}$ , de la configuración nuclear 14 del Reactor RP-10 con todas las barras de control fuera del núcleo. Los cálculos teóricos son realizados para una geometría tridimensional, en conjunto en cada uno de los elementos que constituyen la configuración nuclear de arranque del RP10 #14. Para este propósito se aplica el Método de Monte Carlo con MCNP4B[3]. El modelo de cálculo se valida con mediciones experimentales de la puesta en servicio[5] y con cálculos realizados con WIMS CITATION y PUMA Ref. [6], para el núcleo de arranque del RP10.

## 2. CÁLCULO

El código MCNP4B[3] fue utilizado con la biblioteca de datos ENDF/B-VI proveído por Los Alamos National Laboratory. En el presente trabajo, los cálculos fueron realizados en una SUN WORKSTATION de 200 MHz. y en una PC de 500 MHz de la DCAS/DGI.

## MODELO DE CÁLCULO

La geometría utilizada en el modelo de cálculo del presente reporte es descrita en el Progress Report #1[1], (Fig.[4]; 2,3,4). La configuración nuclear 14 (Fig.1) del RP-10 fue modelada de acuerdo a una configuración real, tal como fue realizado para las configuraciones 6 y 7 del RP-0. Este modelo de cálculo es descrito en el Progress Report #2 [2].

Las secciones eficaces para los nucleidos fueron tomadas desde evaluaciones ENDF/B-VI. En el cálculo, las librerías para el tratamiento térmico  $S(\alpha,\beta)$  fueron usadas para el agua y grafito. Debe tenerse en cuenta, que los datos de secciones eficaces en esta biblioteca tienen como referencia los 300 grados Kelvin. Por lo tanto deben generarse datos a la temperatura correspondiente de evaluación experimental para cálculos más precisos, la cual puede asumirse como una fuente de error que será tomada en cuenta y corregida con el código NJOY.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1				NG	PI	BCF	PI	NG		
2				NG	NN006	NN005	NN007	NG		
3				PI	BS2	NN001	BC1	PI		
4			NG	NN013	NN002	PI	NN003	NN015	NG	
5			NG	NN014	BC2	NN004	BS3	NN016	NG	
6				PI	NN008	NN009	NN010	PI		
7				NG	NN011	BS1	NN012	NG		
8				NG	PI	NG	PI	NG		
9										
10										

Figura 1. Configuración 14 del RP-10.

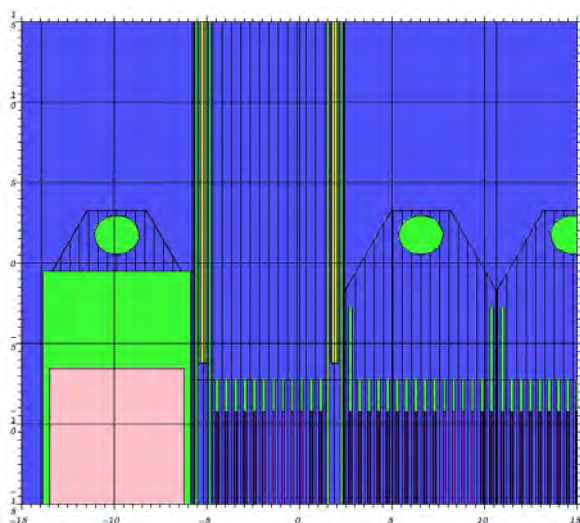
## 3. RESULTADOS

Se utilizan las tarjetas KCODE (criticidad del sistema) y KSRC (distribución espacial inicial de las fuentes puntuales) para describir la fuente. Los casos fueron evaluados considerando un tamaño de fuente de 5000 historias y 2000 ciclos totales, para determinar el exceso de

reactividad con barras extraídas y el exceso teórico (error) de reactividad en posición de crítico.

En la Tabla 1 se presenta el valor de exceso de reactividad, para la configuración nuclear 14, obtenidos por simulación (modelo teórico) con el código MCNP4B y experimentalmente [5].

El resultado teórico del exceso de reactividad fue evaluado considerando totalmente extraídas las barras de control y de seguridad al mismo tiempo, es decir para: BS1 (100%), BS2 (100%), BS3 (100%), BC1 (100%), BC2 (100%) y BCF (100%). Como se indica en la tabla 1, se obtuvo un valor de exceso de reactividad de 6770 pcm con una incertidumbre de 37 pcm.



**Figura 2.** Detalle del modelo utilizado con MCNP al representar la parte superior de los elementos combustibles y los grafitos de la configuración No 14 del RP10. Se puede ver las asas del manipuleo de los elementos, la disposición de las barras de control, y la disposición axial de cada elemento en su posición final en el arreglo del núcleo.

El resultado experimental del exceso de reactividad fue obtenido del procedimiento de calibración de barras [6] y equivalía inicialmente a 8200 pcm. Este resultado fue corregido por efectos de perturbación con el código PUMA[6] en dicha referencia; entre las barras que fueron manipuladas durante la calibración: BS3, BC1 y BC2. Los valores para las perturbaciones fueron de 150 pcm (BS3-BC1), 500 pcm (BS3-BC2) y 790 pcm (BC2-BC1). El exceso de reactividad es entonces 8200 pcm – 150

pcm – 500 pcm – 790 pcm = 6790 pcm, tal como se indica en la tabla 1.

**Tabla 1.** Excesos de reactividad para la configuración 14 del RP-10.

MCNP4B[3]	Experimenta l [5], [6]
6770 ( $\pm 37$ ) pcm	6790 pcm

Este valor se consiguió considerando un buen grado de detalle (Fig 2) de la posición de barras 100% extraídas, ya que se observó cierto grado de influencia en el valor del Keff.

Para propósitos de confirmar los resultados de MCNP para el exceso de reactividad de puso a prueba el modelo empleado en el cálculo de criticidad con barras de control insertadas. Los valores experimentales en la puesta en servicio se muestran en la Tabla 2. En la Tabla 3 se presentan resultados teóricos del valor de reactividad, evaluados considerando la extracción porcentual de barras de control y de seguridad, en forma simultanea, para cada una de las posiciones de crítico experimental, de la tabla 1, consideradas en el procedimiento de calibración de barras de la configuración nuclear 14 [6].

Puede observarse que, para las diversas posiciones de crítico, el único porcentaje de extracción que varía corresponde al de la BC1, entre el 31,1% y 31,5%. Los valores de reactividad fluctúan entre los 75 ( $\pm 26$ ) pcm y 188 ( $\pm 37$ ) pcm, respectivamente. No se precisan incertidumbres experimentales acerca de esta dispersión de valores de posición de crítico para la BC1., pero en estas 4 puestas a crítico se obtuvieron 4 posiciones diferentes de crítico con la misma barra BC1, en el mismo día.

**Tabla 2.** Valores de reactividad en estado crítico para la configuración 14 del RP-10.

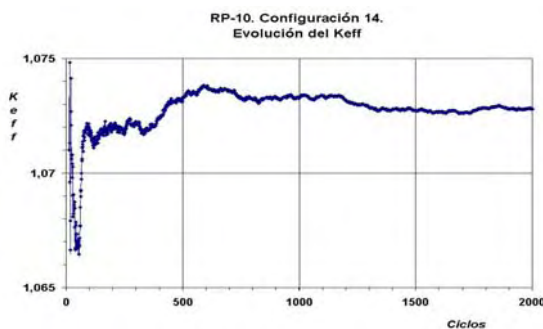
RP10 Configuración N <sup>o</sup> 14						
% de extracción – posiciones de crítico						
1	BS1	BS 2	BS 3	BC1	BC2	BCF
2	100	100	100	31,5	0	100
3	100	100	100	31,4	0	100
4	100	100	100	31,2	0	100
5	100	100	100	31,1	0	100



**Tabla 3.** Valores calculados con MCNP4B para cada posición de la tabla 1.

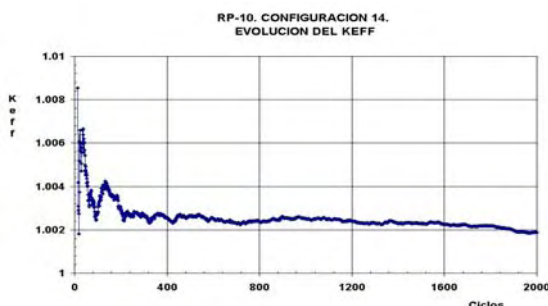
Posiciones de crítico	MCNP4B [3]
	$\rho (\pm \Delta\rho)$ pcm
1	188 ( $\pm 37$ ) pcm
2	136 ( $\pm 26$ ) pcm
3	139 ( $\pm 25$ ) pcm
4	75 ( $\pm 26$ ) pcm

En la Figura 3 y 4 se presentan las fluctuaciones en el cálculo del Keff, para el exceso de reactividad y fluctuaciones para posición de crítico de la tabla 2, observadas durante la simulación.



**Figura 3.** Variación del valor del Keff como función del número de ciclos, para la simulación del exceso de reactividad de la Configuración 14 del RP-10.

Se observan grandes fluctuaciones en el valor del Keff durante los primeros ciclos. Esto se debe a que se está conformando la distribución espacial de la fuente y, el número de ciclos evaluados hasta ese momento es insuficiente para realizar una estadística confiable. Posteriormente se hace notoria la convergencia del Keff a los valores señalados en las Tablas 1 y 3.



**Figura 4.** Variación del valor del Keff como función del número de ciclos, para la simulación de la posición experimental de crítico de la Configuración 14 del RP-10.

## 4. CONCLUSIONES

1. El valor experimental del exceso de reactividad, obtenido indirectamente de la calibración de barras de control y seguridad, y que equivale a 6790 pcm, cae dentro de las evaluaciones teóricas del exceso de reactividad de MCNP4B que da como resultado 6770 ( $\pm 37$ ) pcm. Esto nos permite validar que el modelo de cálculo teórico empleado es el más correcto diseñado para el RP10.
2. De la simulación de las posiciones de crítico experimental dadas en la tabla 2 se obtienen valores para el Keff entre 1.00075 ( $\pm 0.00026$ ) y 1.000188 ( $\pm 0.00025$ ). Lo que equivale a un exceso de reactividad entre los 75 ( $\pm 26$ ) pcm y 188 ( $\pm 37$ ) pcm. Con un mayor número de posiciones de crítico se tendrá una mejor estadística. Otra fuente de error está en la composición de las barras de control (análisis de sensibilidad en impurezas), barras de seguridad, barra fina y estructuras anexas asociadas. Pues a diferencia del cálculo de exceso de reactividad (donde las barras están totalmente extraídas) no hay influencia de las barras.
3. Con fines de lograr mayor precisión y exactitud, es necesario conocer y hacer ingresar en el modelo de cálculo aquellos factores experimentales de perturbación que provocan la dispersión de valores en la posición de crítico de la barra BC1.

## 5. REFERENCIAS

- (1) **Datos para la modelación del RP0;** Progress Report #1, Proyecto ARCAL XLIV; Gerardo Lázaro M., Fernando Parreño, Mariano Vela; Julio 2000.
- (2) Simulación con el código MCNP4B del Reactor RP0 en su configuración N°6; Progress Report #2, Proyecto ARCAL XLIV; Gerardo Lázaro M., Fernando Parreño, Mariano Vela; Agosto 2000.
- (3) MCNP. Monte Carlo N-Particle transport Code System. CCC-660; Oak Ridge National Laboratory. J. Briesmeister.



- (4) Planos de los ECN, ECC, RG, RB; PL-01425/81f; PL-01440/82 .
- (5) Planillas de calibración de barras de control del RP-10. Diciembre 1988.
- (6) Análisis por cálculo de las experiencias físicas de la puesta en servicio del reactor peruano: RP-10. M. Higa, M. Madariga. CNEA, 1988.

# DETERMINACIÓN DE LA TEMPERATURA NEUTRÓNICA EN LAS FACILIDADES DE IRRADIACIÓN DEL REACTOR NUCLEAR RP-10

Bruna R. <sup>(1)</sup> [rbruna@ipen.gob.pe](mailto:rbruna@ipen.gob.pe); Palacios D. <sup>(1)</sup> [dpalaciosv@hotmail.com](mailto:dpalaciosv@hotmail.com);  
Montoya E. <sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> Departamento de Cálculo, Análisis y Seguridad – IPEN / Lima, Perú  
<sup>(2)</sup> Dirección General de Promoción y Desarrollo Tecnológico – IPEN / Lima, Perú

## RESUMEN

Se determinó la temperatura neutrónica en cuatro distintas posiciones de irradiación del reactor nuclear RP-10 en su configuración 24 a la potencia de 300Kw, para ello se empleó el método directo propuesto por De Corte y colaboradores en 1993. Se presentan los resultados de la temperatura neutrónica en estas cuatro posiciones del núcleo del reactor y se discuten los resultados obtenidos.

## 1. INTRODUCCIÓN

La caracterización del espectro neutrónico de un reactor nuclear de investigación es esencial para el aprovechamiento óptimo de sus diversas facilidades de irradiación como herramienta de investigación y desarrollo.

Entre los parámetros importantes podemos mencionar, entre otros al  $\phi_{th}$ ,  $\phi_{tepi}$ ,  $\alpha$  (exponente que describe la no idealidad del flujo epitérmico) y  $T_n$  (temperatura neutrónica), este último parámetro a sido tradicionalmente difícil de medir, por la falta de métodos experimentales adecuados.

En 1993, De Corte y col. (1) propusieron un método directo basado en el uso de la constante  $K_0$  y del formalismo de Westcott modificado para tener en cuenta los efectos de la no idealidad del  $\phi_{tepi}$ .

## 2. PARTE TEORICA

Según De Corte y colaboradores [1], la temperatura neutrónica se puede determinar experimentalmente de manera directa mediante la ecuación:

$$\frac{\left[ \frac{T_{esp} M}{\theta_\gamma \sigma_o \varepsilon_p} \right]_{Lu}}{\left[ \frac{T_{esp} M}{\theta_\gamma \sigma_o \varepsilon_p} \right]_{1/v}} = \frac{g_{Lu}(T) + r(\alpha) \sqrt{T/T_o} s_{o,Lu}(\alpha)}{g_{1/v}(T) + r(\alpha) \sqrt{T/T_o} s_{o,1/v}(\alpha)} \quad (1)$$

Donde:

$T_{esp}$ : tasa específica de contaje.

$M$ : peso atómico.

$\theta_\gamma$ : abundancia isotópica.

$\sigma_o$ : sección eficaz térmica de captura.

$\varepsilon_p$ : eficiencia de contaje medida en el detector.

$g(T)_{Lu}$ : factor de corrección de Westcott para el Lutecio.

$g(T)_{1/v}$ : factor de corrección de Westcott para el monitor 1/v.

$S_o(\alpha)$ : medida de la sección transversal para neutrones térmicos o epitérmicos y se define:

$$s_o(\alpha) = s_o \cdot (E_r)^{-\alpha} \cdot (1eV)^\alpha \quad (2)$$

$E_r$ : energía de resonancia.

$r(\alpha) \sqrt{T/T_o}$ : índice espectral modificado de Westcott.

La utilidad de la ecuación 1 reside en determinar el factor de Westcott  $g(T_n)$  para un monitor no ideal como el Lu-176, para luego obtener la temperatura neutrónica  $T_n$  por interpolación de los valores publicados por Westcott [2]. El uso de la ecuación (1) requiere el conocimiento previo del índice espectral de Westcott, el cual se puede determinar de manera relativamente sencilla, mediante la ecuación (3):

$$r(\alpha) \sqrt{\frac{T}{T_o}} = \frac{\frac{k_{o,1} \varepsilon_{p,1}}{k_{o,2} \varepsilon_{p,2}} g(T)_1 - \frac{T_{esp,1}}{T_{esp,2}} g(T)_2}{\frac{T_{esp,1}}{T_{esp,2}} s_{o,2}(\alpha) - \frac{k_{o,1} \varepsilon_{p,1}}{k_{o,2} \varepsilon_{p,2}} s_{o,1}(\alpha)} \quad (3)$$

$k_0$ : constante K sub-cero.

El uso del Zirconio como comparador bi-isotópico fue propuesto por De Corte y col. [3], las constantes nucleares de los isótopos encontrados Zr-95 y Zr-97 han sido objeto de cuidadosas determinaciones periódicas [4].

El Zirconio a sido propuesto como comparador bi-isotópico, especialmente adecuado para la determinación de flujos neutrónicos[1] debido a que presenta las siguientes ventajas:

1. Es un comparador bi-isotópico que cancela errores por efectos geométrico tales como depresión y apantallamiento.
2. La separación  $I_o/\sigma_o$  para los dos isótopos del Zr-95 es notablemente grande.
3. El Zr-94 genera dos picos, el Zr-95(724.2 Kev y 756.7 Kev) y el Zr-97 m(743 Kev) lo que nos permite una energía efectiva del Zr-95 que coincide con la del Zr-97(compara dos señales de la misma energía esto evita errores en una eventual calibración en eficiencia).

El uso de la ecuación (3) requiere el conocimiento del grado de no idealidad del espectro neutrónico epitérmico, el cual se expresa mediante el parámetro  $\alpha$ , este parámetro debe ser medido brevemente, y una manera apropiada de obtenerlo es empleando la ecuación siguiente(5):

$$(a-b)\left(\frac{Q_{o1}-0.429}{E_{r1}^{\alpha}}\right)-a\left(\frac{Q_{o2}-0.429}{E_{r2}^{\alpha}}\right)+b\left(\frac{Q_{o3}-0.429}{E_{r3}^{\alpha}}\right)=0 \quad (4)$$

$$a=\left(1-\frac{T_{s2}}{T_{s1}}\cdot\frac{K_{o1}}{K_{o2}}\cdot\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2}\right)^{-1} \quad (5)$$

Las constantes empleadas son[6]:

#### Zirconio , Zr

Z =	40				
Mass (g/mol) =	91.22				
	<b>Abundance (%)</b>	<b>X-sect. (b)</b>	<b>Q0</b>	<b>F-cd</b>	<b>Er (eV)</b>
94Zr	17.38	0.0533	5.05	1	6260
96Zr	2.8	0.0213	248	1	338
<b>Measured</b>	<b>T1/2</b>				
<b>95Nb</b>	<b>35.15 d</b>	<i>E (keV)</i>	<i>Intensity (abs)</i>	<i>K0</i>	
<b>95Zr</b>	<b>64 d</b>	<i>E (keV)</i>	<i>Intensity (abs)</i>	<i>K0</i>	
		724.2	4.444E-01	9.321E-05	
		756.7	5.486E-01	1.149E-04	
<b>97mNb</b>	<b>1 m</b>	<i>E (keV)</i>	<i>Intensity (abs)</i>	<i>K0</i>	
		743.4	9.795E-01	1.296E-05	

$$b=\left(1-\frac{T_{s3}}{T_{s1}}\cdot\frac{K_{o1}}{K_{o3}}\cdot\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_3}\right)^{-1} \quad (6)$$

Donde:

$$Q_o = \frac{I_o}{\sigma_o} : \text{razón de secciones eficaces.}$$

Los subíndices 1, 2 y 3 corresponden al Zr-97, Zr-95 y Au-198.

### 3. PARTE EXPERIMENTAL

Se emplearon como monitores hojuelas de Zr de 20 mg, filtros circulares, del mismo diámetro, saturados de una solución de Au (1g Au en 1L de solución) y hojuelas 2 mg del mismo diámetro de Al-Lu al 2.7%.

Tabla 1.

Monit or	Masa (mg)	T <sub>1/2</sub>	Diámetro (cm)	Pureza
<sup>197</sup> Au	0.005	2.6935 días		1g/L
<sup>95</sup> Zr	20 - 25	64.02 días	0.5	99.98
Zr-97		16.91 horas		
<sup>176</sup> Lu	0.05 - 0.08	6.734 días	0.5	2.7%

Adicionalmente, se utilizó el siguiente equipo:

Una multicanal y detector GeHp marca Canberra, una balanza analítica marca Toledo- modelo AT261, sensibilidad 0.01mg y una micropipeta marca Pendorff, 0.5ml.

Los monitores se encapsularon en canes de aluminio de forma circular de 6.6x2.3cm.

### Lutecio , Lu

Z =	71
Mass (g/mol) =	174.97

	Abundance (%)	X-sect. (b)	Q0	Er (eV)
175Lu	97.41	16.7	34.8	16.1
176Lu	2.59	2100	0.614	0.158

Measured	T1/2				
<b>176mLu</b>	<b>3.68 h</b>	<i>E (keV)</i>	<i>Intensity (abs)</i>	<i>K0</i>	<i>Comment</i>
		88.4	8.760E-02	1.730E-02	K0
<b>177Lu</b>	<b>6.71 d</b>	<i>E (keV)</i>	<i>Intensity (abs)</i>	<i>K0</i>	<i>Comment</i>
		113.0	6.400E-02	3.630E-02	not 1/v
		208.4	1.100E-01	6.050E-02	not 1/v

### Oro , Au

Z =	79
Mass (g/mol) =	196.97

	Abundance (%)	X-sect. (b)	Q0	Er (eV)
197Au	100	98.7	15.7	5.65

Measured	T1/2				
<b>198Au</b>	<b>2.696 d</b>	<i>E (keV)</i>	<i>Intensity (abs)</i>	<i>K0</i>	<i>Comment</i>
		411.8	9.550E-01	1.000E+00	K0
		675.9	1.060E-02	1.110E-02	

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

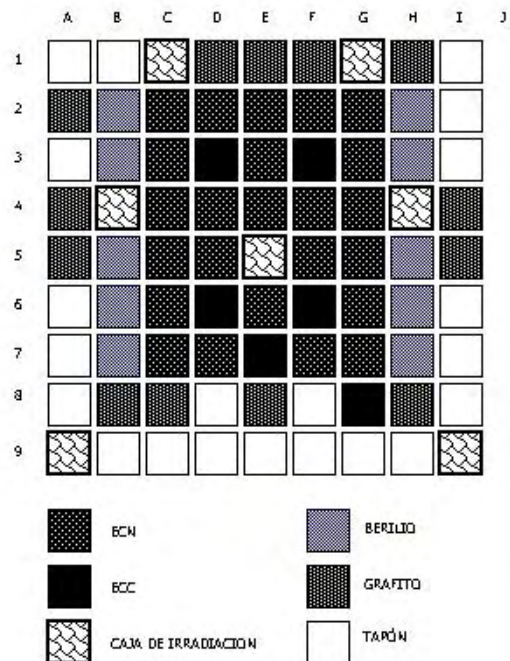
En la tabla 2, se presentan los resultados de calcular la temperatura neutrónica en cuatro posiciones del reactor a 300Kw en el modo convección natural. Los tiempos de irradiación fueron de 1 hora.

Tabla 2.

CAJA	E5(4X)	B4(4X)	H4(4X)	G1(4X)
T <sub>n</sub> (C)	30.5	29.7	26.3	28.4
ERROR	0.1	0.2	0.1	0.1

Cabe resaltar que en el modo de operación por convección natural la temperatura promedio del refrigerante es de 30C° por lo que es necesario continuar realizando mediciones en el mayor número de zonas del núcleo del reactor a fin de tener caracterizado el comportamiento de este parámetro en todo el núcleo.

NUCLEO 24



## 5. REFERENCIAS

- [1] DE CORTE, F.; SIMONITS, A.; BELLEMANS, F.; FREITAS, M. C.; JOVANOVIC, S.; SMODIS, B.; ERDTMANN, G.; PETRI, H.; DE WISPELAERE, A.; "Recent Advances in the  $k_0$  - Standardization of Neutron Activation Analysis: Extensions, Applications, Prospects"; J. Radioanal. Chem. (1993) 169 (1): 125 - 158.
- [2] NORMAN E. HOLDEN; "Temperature Dependence of The Westcott  $g$  Factor For Neutron Reactions in Activation Analysis"; Technical Report; Pure Appl. Chem., Vol. 71, No. 12, pp. 2309-2315, 1999.
- [3] SIMONITS, A.; DE CORTE, F.; HOSTE, J.; "Single - Comparator Methods in Reactor Neutron Activation Analysis"; J. Radioanal. Chem. (1975) 24: 31 - 46.
- [4] EL NIMR, T.; DE CORTE, F.; MOENS, L.; SIMONITS, A.; HOSTE, J.; "Epicadmium Neutron Activation Analysis (ENAA) Based on The  $k_0$ -Comparator Method"; J. Radioanal. Chem.; (1981) 67(2): 421-435.
- [5] NEUTRON ACTIVATION TABLES; Gerhard Erdman; Volumen 6; Germany 1976; 146pag; Editorial Vellag Chemie.
- [6] Menno Blaauw  
<http://iriexp.iri.tudelft.nl/~rc/fmr/k0ww3/intro2.htm>, Last Update: 12/01/98

# DETERMINACION DE FLUJOS TÉRMICOS Y EPITÉRMICOS MEDIANTE $k_0$

Bruna R. <sup>(1)</sup> [rbruna@ipen.gob.pe](mailto:rbruna@ipen.gob.pe); Palacios D. <sup>(1)</sup> [dpalaciosv@hotmail.com](mailto:dpalaciosv@hotmail.com)

(1) Departamento de Cálculo, Análisis y Seguridad – IPEN / Lima, Perú

## RESUMEN

En el presente trabajo se presenta la metodología para la medición de flujos térmicos y epitérmicos mediante el método  $k_0$ . Los resultados obtenidos demuestran la factibilidad de realizar mediciones a alta potencia, mediante este método, en las facilidades del núcleo del reactor RP-10.

**Palabras claves:** flujo de neutrones,  $k_0$ , reactor nuclear.

## ABSTRACT

In this paper we presented the methodology for thermal and epithermal neutron flux measurement by  $k_0$  method. The results obtained shown the feasibility of using these measures in high power in the RP-10 reactor in-core facilities.

**Key words:** neutron activation analysis,  $k_0$ , nuclear reactor.

## 1. OBJETIVO

Determinar experimentalmente flujo térmico y epitérmico mediante el método  $k_0$  a potencias térmicas de 50Kw a 7Mw del reactor RP-10 y luego comparar los

resultados con el método de la razón de cadmio.

## 2. METODO EXPERIMENTAL

Mediciones de la actividad absoluta de hojuelas de zirconio desnudas, hojuelas de oro en solución en la posición de irradiación C4(4Y) a 50Kw, 200Kw, 300Kw y 7000Kw de potencia térmica.

## 3. PARTE TEÓRICA

El método  $k_0$  en 1975 fué propuesto por Simonits, De Corte and Hoste (1), como un procedimiento del análisis por activación neutrónica, que combina la simplicidad del método absoluto con precisión del método del comparador.

El método  $k_0$  ha sido aplicado en sus diferentes formulaciones en el método de análisis por activación con neutrones epicadmicos.

Las ecuaciones para la determinación del flujo por el método  $k_0$  se deducen de éstas relaciones reordenándolas en forma conveniente:

$$\phi_{th} = \frac{(A_{as-97} \cdot K_{97} \cdot Q_{95} \cdot G_{epi-95} - A_{as-95} \cdot K_{95} \cdot Q_{97} \cdot G_{epi-97})}{m \cdot (Q_{95} \cdot G_{epi-95} \cdot G_{th-97} - Q_{97} \cdot G_{epi-97} \cdot G_{th-95})} \quad (1)$$

$$\phi_{epi} = \frac{(A_{as-95} \cdot K_{95} \cdot G_{th-97} - A_{as-97} \cdot K_{97} \cdot G_{th-95})}{m \cdot (Q_{95} \cdot G_{epi-95} \cdot G_{th-97} - Q_{97} \cdot G_{epi-97} \cdot G_{th-95})} \quad (2)$$

Donde:

$A_{as-97}$ ,  $A_{as-95}$ : actividades absolutas de saturación de los radioisótopos Zr-95 y Zr-97.

$K_{95}$ ,  $K_{97}$ : Factor de activación para los radioisótopos Zr-95 y Zr-97.

$Q_{95}$ ,  $Q_{97}$ : Constante Q para los radioisótopos Zr-95 y Zr-97.

$G_{th-95}$ ,  $G_{th-97}$ ,  $G_{epi-95}$ ,  $G_{epi-97}$ : Factores de corrección los radioisótopos Zr-95 y Zr-97.

## 4. RESULTADOS

Se emplearon monitores en forma de hojuelas de Zr de 20 mg, filtros circulares del mismo diámetro saturados de una solución de Au (1g Au en 1L de solución) y hojuelas de oro de 2 mg del mismo diámetro.

Adicionalmente, se utilizó el siguiente equipo:

Un multicanal y detector GeHp marca Canberra, una balanza analítica marca Toledo- modelo AT261, sensibilidad 0.01mg y una micropipeta marca Pendorff, 0.5ml.

Los monitores se encapsularon en canes de aluminio de forma circular de 6.6x2.3cm.

Las constantes empleadas son [3]:

Zirconio, Zr

Z =		40			
Mass (g/mol) =		91.22			
	<b>Abundance (%)</b>	<b>X-sect. (b)</b>	<b>Q0</b>	<b>F-cd</b>	<b>Er (eV)</b>
94Zr	17.38	0.0533	5.05	1	6260
96Zr	2.8	0.0213	248	1	338
<b>Measured</b>	<b>T1/2</b>				
<b>95Nb</b>	<b>35.15 d</b>	<i>E (keV)</i>	<i>Intensity (abs)</i>	<i>K0</i>	
<b>95Zr</b>	<b>64 d</b>	<i>E (keV)</i>	<i>Intensity (abs)</i>	<i>K0</i>	
		724.2	4.444E-01	9.321E-05	
		756.7	5.486E-01	1.149E-04	
<b>97mNb</b>	<b>1 m</b>	<i>E (keV)</i>	<i>Intensity (abs)</i>	<i>K0</i>	
		743.4	9.795E-01	1.296E-05	

Oro, Au

Z =		79		
Mass (g/mol) =		196.97		
	<b>Abundance (%)</b>	<b>X-sect. (b)</b>	<b>Q0</b>	<b>Er (eV)</b>
197Au	100	98.7	15.7	5.65

En la tabla 1 se presentan los resultados de las mediciones realizadas a diferentes potencias térmicas del reactor RP-10, en

la caja de irradiación C4-4Y. Los tiempos de irradiación fueron de 1 hora.

**Tabla 1.** Resultados para la posición **C4-4Y**.

Kw	flujo térmico				Kw	flujo epitérmico			
	ZR	%Error	AU	%Error		ZR	%Error	AU	%Error
<b>50</b>	2.77E+11	1.2	3.17E+11	2.4	<b>50</b>	1.50E+10	1.3	1.59E+10	5.2
<b>200</b>	9.4E+11	1.3	1.2E+12	2.3	<b>200</b>	5.01E+10	1.5	6.22E+10	5.1
<b>300</b>	1.64E+12	1.7	1.79E+12	2.5	<b>300</b>	8.30E+10	1.1	9.60E+10	5.4
<b>7000</b>	4.43E+13	1.8	3.69E+13	3.1	<b>7000</b>	2.33E+12	1.8	2.82E+12	6.1

Igualmente, se irradiaron monitores preparados a partir de una solución de oro y monitores sólidos en forma de hojuela, simultáneamente; y que después de medir sus actividades absolutas, son determinados sus flujos térmicos y epitérmicos mediante el método de la razón de cadmio y Westcott respectivamente. (Tabla 2).



**Tabla 2.** Medidas comparativas a baja potencia para la posición **C4-4Y**

Potencia(KW)	Corriente de cámara(Amp)	Hojuelas de Oro	Flujo térmico (n/cm <sup>2</sup> .s)	Flujo epitérmico (n/cm <sup>2</sup> .s)	%Error
3.0	6.00E-09	Líquida	3.79E+10	1.12E+09	5.1
		Sólida	3.66E+10	1.00E+09	8.0

## 5. BIBLIOGRAFIA

- [1] SIMONITS, A.; DE CORTE, F.; HOSTE, J.; "Single - Comparator Methods in Reactor Neutron Activation Analysis"; J. Radioanal. Chem. (1975) 24: 31 - 46.
- [2] DE CORTE, F.; SIMONITS, A.; BELLEMANS, F.; FREITAS, M. C.; JOVANOVIC, S.; SMODIS, B.; ERDTMANN, G.; PETRI, H.; DE WISPELAERE, A.; "Recent Advances in the  $k_0$  - Standardization of Neutron Activation Analysis: Extensions, Applications, Prospects"; J. Radioanal. Chem. (1993) 169 (1): 125 - 158.
- [3] Menno Blaauw  
<http://iriexp.iri.tudelft.nl/~rc/fmr/k0www3/intro2.htm>, Last Update: 12/01/98.

# EVALUACIÓN DE FLUJO DE NEUTRONES TÉRMICOS Y EPITÉRMICOS EN UN ELEMENTO COMBUSTIBLE NORMAL Y UNA CAJA DE IRRADIACIÓN EN UN REACTOR TIPO MTR

Gomez J. <sup>(1)</sup> [jjgb76@yahoo.com](mailto:jjgb76@yahoo.com); Zapata M. <sup>(1)</sup> [Magaly\\_balcazar@yahoo.com](mailto:Magaly_balcazar@yahoo.com);  
 Bruna R. <sup>(1)</sup> [rbruna@ipen.gob.pe](mailto:rbruna@ipen.gob.pe); Lazaro G. <sup>(1)</sup> [glazaro@ipen.gob.pe](mailto:glazaro@ipen.gob.pe);  
 Parreño F. <sup>(1)</sup> [fparreno@ipen.gob.pe](mailto:fparreno@ipen.gob.pe)

<sup>(1)</sup> *Departamento de Cálculo, Análisis y Seguridad – IPEN / Lima, Perú*

## RESUMEN

Para el flujo de neutrones térmico y epitérmico se obtuvieron las distribuciones espaciales (sección axial y radial) de un elemento combustible normal tipo MTR del reactor RP-0 y una caja de irradiación del reactor RP-10. La distribución depende de la ubicación de los monitores de flujo en el núcleo del reactor.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los reactores peruanos RP-0 y RP-10 son de tipo MTR. El tratamiento experimental para la medición de flujo de neutrones térmicos y epitérmicos se realizó utilizando hojuelas de indio y oro con y sin cobertores de cadmio, activados por la irradiación de neutrones.

En la sección 2 se presenta el procedimiento experimental para la evaluación de la distribución de flujos. Se describe la ubicación en laminas de aluminio (espadas) de las hojuelas de indio y oro, su ubicación en la caja del combustible normal y en la caja de irradiación. En la sección 3 se presentan los resultados de las mediciones.

## 2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Los elementos combustibles normales tienen una forma de paralelepípedo con 16 placas de U-238 enriquecido al 20% (U-235) (ver Fig. 2(a)), la caja de irradiación es una caja de aluminio vacía en forma de paralelepípedo (Fig. 2(b)). La irradiación se realizó en la posición del elemento combustible E4(2-3, 5-6, 11-12, 15-16) del RP-0, y la caja de irradiación G1 del RP-10.

### 2.1 Preparación de monitores de flujo de neutrones térmicos y epitérmicos

Se usaron planchas de aluminio (“espadas”) para distribuir y fijar las hojuelas de indio y oro (Fig. 1), y posteriormente fueron insertadas en

las cajas de elemento normal y en la de irradiación, como se muestra en la figura 3.

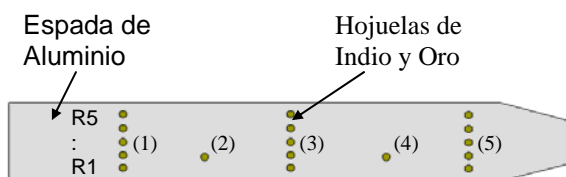


Figura 1. Esquema de la espada de aluminio con los monitores de activación.

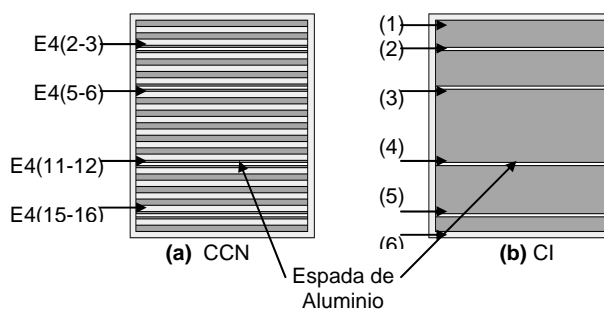


Figura 2. Esquema de (a) la Caja de elemento de Combustible Normal y (b) la Caja de Irradiación.

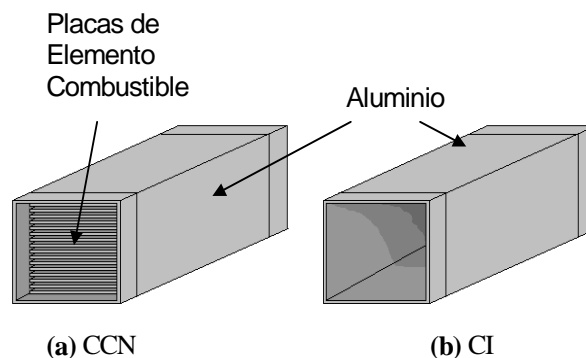


Figura 3. Esquema de la posición de las espadas en la CCN y la CI.

## 2.2 Ubicación en el Núcleo de los reactores RP-0 y RP-10

En la figura 4 y 5, se tiene el esquema del núcleo del reactor RP-0 y RP-10 respectivamente, donde se pueden ubicar las posiciones de los elementos combustibles normales y las cajas de irradiación.

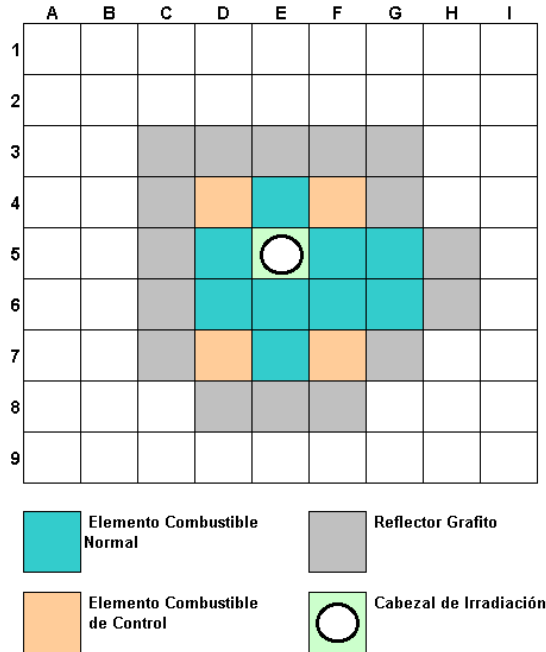


Figura 4. Esquema del núcleo del Reactor RP-0 (vista superior).

Ambos reactores son de tipo MTR, cada caja de elemento combustible normal contiene 16 placas de combustible ( $U_3O_8$ ) y cada caja de control 12 placas, las cajas de irradiación son cajas de aluminio vacías que son usadas para las diferentes aplicaciones que se da al reactor. El RP-0 tiene una potencia máxima de 10W y el RP-10 de 10MW.

En la Fig. 1 la espada de aluminio esta orientada en forma axial (1, 2, 3, 4 y 5) y radial (R1, R2, R3, R4 y R5). Las espadas son colocadas (insertadas) en las posiciones como se indica en la figura 3; posteriormente son ubicadas en el núcleo del reactor.

En el RP-0 (Fig. 4) es ubicada la caja de elemento combustible E5 y cuatro espadas de aluminio son ubicadas entre las placas de combustible 2-3, 5-6, 11-12 y 15-16 (Fig. 3(a)).

En el RP-10 (Fig. 5) se ubica la caja de irradiación G1 y seis espadas de aluminio están

ubicadas en las posiciones (1), (2), (3), (4), (5) y (6) (ver Fig. 3(b)).

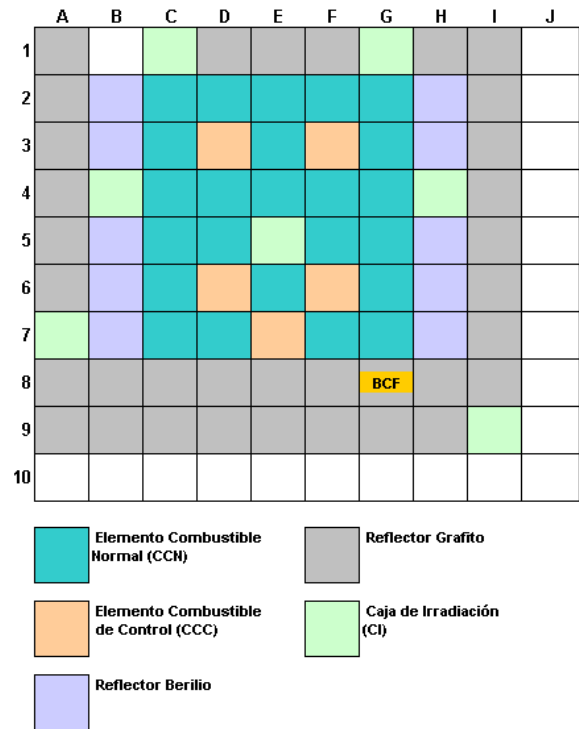


Figura 5. Esquema del núcleo del Reactor RP-10 (vista superior).

## 3. RESULTADOS

La Tabla 1 muestra los parámetros de irradiación en el núcleo de los reactores RP-0 y RP-10, los cuales fueron: la posición en el núcleo, los monitores de activación empleados (hojuelas) y la potencia.

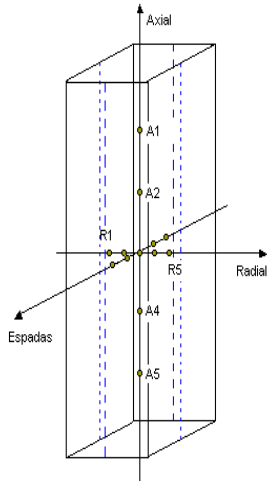
Tabla 1. Parámetros de Irradiación.

Reactor	Posición en el Núcleo	monitores	Corriente - Potencia
RP-0	E4	Indio	0.1 e -6 A. (5 W)
RP-10	G1	Oro	0.6 e -8 A. (3.6 KW)

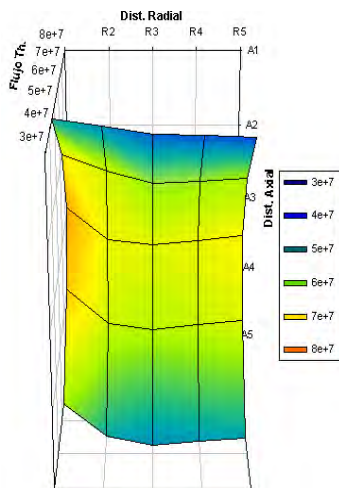
Todas las irradiaciones se realizaron en 1 hora.

La medición de las actividades de las hojuelas se realizó con una cadena de espectrometría gamma asociada a una PC y a un detector de INa (Canberra) para las hojuelas de indio en el RP-0, y un detector de GeHP (Canberra) para las hojuelas de oro en el RP-10.

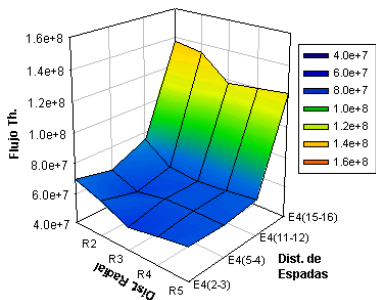
En las figuras 6 se observa la distribución en la zona central de las cajas de los monitores de activación (radial, axial y por espadas) y en la figura 7 el flujo térmico según esta distribución en el CCN.



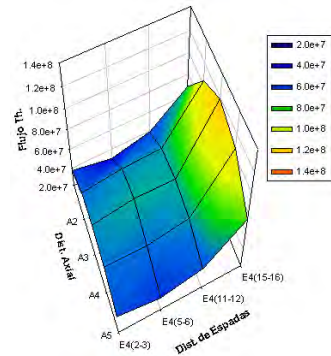
**Figura 6.** Esquema de la distribución en la zona central de la caja (CCN, CI) .



**Figura 7 (a).** Distribución del flujo térmico en la dirección axial y radial en el CCN.

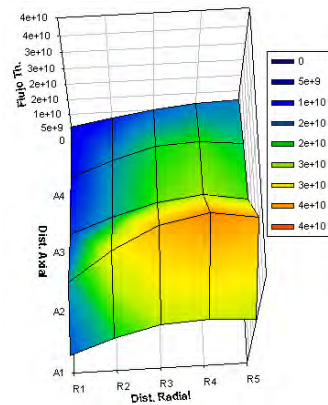


**Figura 7 (b).** Distribución del flujo térmico en la dirección radial según la ubicación de las espadas en el CCN.

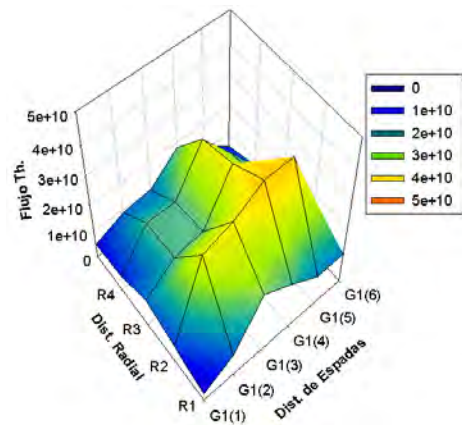


**Figura 7 (c).** Distribución del flujo térmico en la dirección axial según la ubicación de las espadas en el CCN.

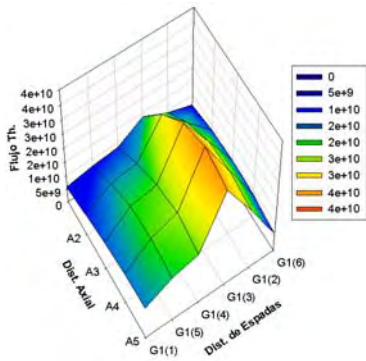
En la figura 8 se muestra la distribución del flujo térmico en los 3 ejes centrales de la CI según la figura 6.



**Figura 8 (a).** Distribución del flujo térmico en la dirección axial y radial en el CI.



**Figura 8 (b).** Distribución del flujo térmico en la dirección radial según la ubicación de las espadas en el CI.



**Figura 8 (c).** Distribución del flujo térmico en la dirección axial según la ubicación de las espadas en el CI.

En las tablas 2 y 3 se detallan los flujos de neutrones térmicos y Epitérmicos ( $n_g/cm^2s$ ) en la caja del elemento combustible normal (CCN) por espadas insertadas que tienen los monitores de activación distribuidos en forma radial (R1... R5) y axial (A1... A5), y en las tablas 4 y 5 los flujos en la caja de irradiación (CI).

**Tabla 2.** Flujo de neutrones térmicos en la CCN.

<b>Distribución Radial</b>					
Ax.	R1	R2	R3	R4	R5
<b>E4 (2-3)</b>					
A1	4.33E+07	4.01E+07	3.71E+07	3.59E+07	3.47E+07
A2	6.23E+07	5.73E+07	5.01E+07	5.22E+07	5.43E+07
A3	6.92E+07	6.35E+07	5.48E+07	5.81E+07	6.14E+07
A4	6.31E+07	5.81E+07	5.08E+07	5.38E+07	5.67E+07
A5	4.70E+07	4.40E+07	4.05E+07	4.26E+07	4.46E+07
<b>E4 (5-6)</b>					
A1	3.45E+07	3.09E+07	2.98E+07	3.40E+07	3.81E+07
A2	5.78E+07	5.13E+07	5.42E+07	5.51E+07	5.60E+07
A3	6.39E+07	5.66E+07	6.05E+07	6.06E+07	6.06E+07
A4	5.58E+07	4.76E+07	5.00E+07	5.15E+07	5.31E+07
A5	4.39E+07	3.45E+07	3.46E+07	3.84E+07	4.22E+07
<b>E4 (11-12)</b>					
A1	4.52E+07	4.20E+07	3.87E+07	3.80E+07	3.73E+07
A2	7.01E+07	5.86E+07	5.64E+07	5.77E+07	5.89E+07
A3	7.53E+07	6.21E+07	6.01E+07	6.18E+07	6.35E+07
A4	7.09E+07	5.84E+07	5.62E+07	5.78E+07	5.94E+07
A5	5.50E+07	4.51E+07	4.23E+07	4.35E+07	4.46E+07
<b>E4 (15-16)</b>					
A1	7.89E+07	7.33E+07	6.77E+07	7.14E+07	7.51E+07

A2	1.21E+08	1.17E+08	1.04E+08	1.06E+08	1.09E+08
A3	1.37E+08	1.34E+08	1.18E+08	1.20E+08	1.22E+08
A4	1.26E+08	1.21E+08	1.06E+08	1.08E+08	1.09E+08
A5	9.36E+07	8.32E+07	7.28E+07	7.26E+07	7.24E+07

**Tabla 3.** Flujo de neutrones epitérmicos en la CCN.

<b>Distribución Radial</b>					
Ax.	R1	R2	R3	R4	R5
<b>E4 (2-3)</b>					
A1	6.86E+06	6.36E+06	5.88E+06	5.69E+06	5.50E+06
A2	9.64E+06	8.86E+06	7.75E+06	8.07E+06	8.40E+06
A3	1.06E+07	9.76E+06	8.42E+06	8.93E+06	9.44E+06
A4	9.43E+06	8.68E+06	7.60E+06	8.04E+06	8.48E+06
A5	6.32E+06	5.91E+06	5.44E+06	5.72E+06	6.00E+06
<b>E4 (5-6)</b>					
A1	6.06E+06	5.42E+06	5.23E+06	5.96E+06	6.69E+06
A2	9.11E+06	8.08E+06	8.53E+06	8.67E+06	8.82E+06
A3	9.90E+06	8.77E+06	9.37E+06	9.38E+06	9.39E+06
A4	8.70E+06	7.43E+06	7.80E+06	8.04E+06	8.29E+06
A5	6.97E+06	5.48E+06	5.50E+06	6.10E+06	6.70E+06
<b>E4 (11-12)</b>					
A1	7.62E+06	7.08E+06	6.53E+06	6.41E+06	6.29E+06
A2	1.18E+07	9.86E+06	9.49E+06	9.71E+06	9.92E+06
A3	1.27E+07	1.05E+07	1.01E+07	1.04E+07	1.07E+07
A4	1.18E+07	9.70E+06	9.34E+06	9.60E+06	9.86E+06
A5	8.52E+06	6.99E+06	6.55E+06	6.73E+06	6.91E+06
<b>E4 (15-16)</b>					
A1	9.53E+06	8.85E+06	8.17E+06	8.62E+06	9.07E+06
A2	1.33E+07	1.29E+07	1.14E+07	1.17E+07	1.20E+07
A3	1.47E+07	1.44E+07	1.27E+07	1.29E+07	1.31E+07
A4	1.40E+07	1.35E+07	1.19E+07	1.20E+07	1.22E+07
A5	1.22E+07	1.08E+07	9.49E+06	9.46E+06	9.43E+06

**Tabla 4.** Flujo de neutrones térmicos en la CI

<b>Distribución Radial</b>					
Ax.	R1	R2	R3	R4	R5
<b>G1 (1)</b>					
A1	2.79E+09	3.18E+09	5.33E+09	3.67E+09	2.50E+09
A2	3.82E+09	4.17E+09	7.63E+09	4.97E+09	2.47E+09
A3	4.93E+09	5.36E+09	9.86E+09	6.28E+09	2.58E+09
A4	5.42E+09	6.33E+09	1.14E+10	6.99E+09	2.53E+09
A5	5.50E+09	6.14E+09	1.18E+10	7.20E+09	2.16E+09
<b>G1 (2)</b>					
A1	4.67E+09	6.89E+09	7.08E+09	1.18E+10	5.56E+09
A2	6.98E+09	1.19E+10	1.29E+10	2.36E+10	7.64E+09
A3	9.07E+09	1.52E+10	1.72E+10	3.16E+10	8.29E+09
A4	9.81E+09	1.78E+10	1.80E+10	3.26E+10	7.20E+09
A5	1.06E+10	1.59E+10	1.65E+10	3.17E+10	5.82E+09
<b>G1 (3)</b>					
A1	5.34E+09	7.12E+09	8.07E+09	1.37E+10	9.29E+09
A2	7.60E+09	1.25E+10	1.41E+10	2.61E+10	1.70E+10
A3	9.76E+09	1.69E+10	1.87E+10	3.46E+10	2.17E+10
A4	1.18E+10	1.81E+10	2.10E+10	3.78E+10	2.30E+10
A5	1.21E+10	1.68E+10	1.84E+10	3.52E+10	2.18E+10
<b>G1 (4)</b>					
A1	8.91E+09	1.20E+10	1.35E+10	1.58E+10	1.10E+10
A2	1.40E+10	2.35E+10	2.58E+10	3.05E+10	1.53E+10
A3	1.81E+10	3.15E+10	3.44E+10	4.00E+10	1.66E+10
A4	2.07E+10	3.28E+10	3.80E+10	4.21E+10	1.52E+10
A5	2.27E+10	3.18E+10	3.54E+10	4.18E+10	1.25E+10
<b>G1 (5)</b>					
A1	6.15E+09	8.17E+09	9.31E+09	1.56E+10	7.40E+09
A2	9.09E+09	1.54E+10	1.68E+10	3.07E+10	1.05E+10
A3	1.16E+10	2.01E+10	2.19E+10	4.03E+10	1.12E+10
A4	1.26E+10	1.99E+10	2.32E+10	4.20E+10	9.32E+09
A5	1.39E+10	1.94E+10	2.16E+10	4.16E+10	7.71E+09
<b>G1 (6)</b>					
A1	4.19E+09	5.56E+09	6.34E+09	1.06E+10	7.31E+09
A2	4.52E+09	7.64E+09	8.35E+09	1.49E+10	9.95E+09
A3	4.75E+09	8.29E+09	9.01E+09	1.59E+10	1.06E+10
A4	4.58E+09	7.20E+09	8.40E+09	1.48E+10	9.28E+09
A5	4.16E+09	5.82E+09	6.49E+09	1.19E+10	7.62E+09

**Tabla 5.** Flujo de neutrones epitérmicos en la CI.

<b>Distribución Radial</b>					
Ax.	R1	R2	R3	R4	R5
<b>G1 (1)</b>					
A1	3.78E+07	4.03E+07	7.34E+07	6.56E+07	1.86E+08
A2	8.33E+07	9.01E+07	1.73E+08	1.50E+08	2.24E+08
A3	1.15E+08	1.26E+08	2.55E+08	2.00E+08	2.53E+08
A4	1.32E+08	1.44E+08	2.98E+08	2.32E+08	2.54E+08
A5	1.25E+08	1.36E+08	2.85E+08	2.10E+08	1.99E+08
<b>G1 (2)</b>					
A1	6.89E+07	1.18E+08	1.21E+08	2.20E+08	5.59E+08
A2	1.60E+08	2.69E+08	2.72E+08	5.22E+08	6.76E+08
A3	2.32E+08	3.60E+08	3.67E+08	7.40E+08	7.36E+08
A4	2.73E+08	3.85E+08	3.90E+08	8.05E+08	6.87E+08
A5	2.62E+08	3.60E+08	3.66E+08	7.65E+08	5.35E+08
<b>G1 (3)</b>					
A1	7.35E+07	1.23E+08	1.29E+08	2.34E+08	2.08E+08
A2	1.70E+08	2.71E+08	2.94E+08	5.65E+08	4.89E+08
A3	2.56E+08	3.70E+08	4.04E+08	8.18E+08	6.40E+08
A4	3.00E+08	3.91E+08	4.26E+08	8.81E+08	6.85E+08
A5	2.86E+08	3.65E+08	3.98E+08	8.31E+08	6.14E+08
<b>G1 (4)</b>					
A1	1.34E+08	2.20E+08	2.35E+08	3.87E+08	1.12E+09
A2	3.31E+08	5.22E+08	5.64E+08	9.45E+08	1.39E+09
A3	5.14E+08	7.40E+08	8.15E+08	1.32E+09	1.60E+09
A4	6.15E+08	8.05E+08	8.79E+08	1.45E+09	1.56E+09
A5	5.96E+08	7.65E+08	8.32E+08	1.30E+09	1.20E+09
<b>G1 (5)</b>					
A1	1.20E+08	1.97E+08	2.10E+08	3.83E+08	9.73E+08
A2	2.89E+08	4.54E+08	4.91E+08	9.42E+08	1.25E+09
A3	4.03E+08	5.80E+08	6.38E+08	1.29E+09	1.31E+09
A4	4.79E+08	6.26E+08	6.84E+08	1.41E+09	1.25E+09
A5	4.39E+08	5.64E+08	6.13E+08	1.28E+09	9.01E+08
<b>G1 (6)</b>					
A1	3.39E+08	5.59E+08	5.96E+08	1.09E+09	9.70E+08
A2	4.30E+08	6.76E+08	7.31E+08	1.40E+09	1.22E+09
A3	5.11E+08	7.36E+08	8.10E+08	1.63E+09	1.28E+09
A4	5.25E+08	6.87E+08	7.50E+08	1.55E+09	1.20E+09
A5	4.17E+08	5.35E+08	5.82E+08	1.22E+09	8.96E+08

El error de la medición del flujo térmico es menor que 3.3% y en el epitérmico menor que el 7.8% en ambas cajas.

#### **4. CONCLUSIONES**

Se observa que el flujo de neutrones térmicos en una caja de elemento combustible normal es mayor en la periferia que en el centro, demostrando la pérdida de energía de los neutrones producidos por la fisión del Uranio en su trayectoria.

El caso contrario, ocurre en la caja de irradiación en la que tenemos un mayor flujo de neutrones térmicos en la zona central, esta caja esta llena de agua (refrigerante) el cual es el moderador de los neutrones en el núcleo del reactor.

#### **5. REFERENCIA**

- [1] Jeraj, R., Glumac, B., Characterization of Irradiation Facilities in the Triga Reactor Core, Nuclear Energy in Central Europe 2000, p 107.1-107.7, September 2001.



# CARACTERIZACION EXPERIMENTAL DE LA COLUMNA TERMICA DEL REACTOR RP-10

Miranda H.<sup>(1)</sup>; Gómez J.<sup>(1)</sup>; Aparicio C.<sup>(1)</sup>; Lázaro G.<sup>(1)</sup> [glazaro@ipen.gob.pe](mailto:glazaro@ipen.gob.pe)

(1) Departamento de Cálculo, Análisis y Seguridad – IPEN / Lima, Perú

## RESUMEN

A fin de conocer el comportamiento del campo mixto de radiación en la columna térmica del reactor nuclear RP-10 se midió experimentalmente el flujo y la dosis equivalente de neutrones y la dosis absorbida gamma con detectores de activación, BF3 y Geiger Muller.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los reactores nucleares son fuentes de radiación mixta [1,2] (neutrones, gamma, alfa, etc.), para la medición de estas radiaciones se utilizan equipos complejos, en nuestro caso se midió la radiación de neutrones térmicos y epitérmicos, y la radiación gamma, se utilizaron detectores de activación (Au-197) para la medición del flujo neutrones, detectores trifloruro de boro (BF3) para la dosis equivalente, y Geiger Muller (GM) para la dosis gamma absorbida.

La columna térmica es una de las facilidades de irradiación del RP-10, por las múltiples aplicaciones que podría tener sobre todo en la terapia con neutrones y dopaje de semiconductores [3, 4, 5] es necesario conocer la distribución de la radiación mixta que ocurre en ella debido al núcleo de RP-10.

En la sección 2 se presenta el procedimiento experimental del análisis del campo mixto (neutrones y fotones) de la columna térmica. Se describe la medición de flujo de neutrones térmicos y epitérmicos; y las dosis Equivalente y absorbida de los neutrones y fotones respectivamente. En la sección 3 se presentan los resultados de la distribución de flujos y dosis de la columna térmica del RP-10.

## 2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

El reactor RP-10 tiene una potencia máxima de 10MW y el flujo de neutrones en el núcleo vara de  $10^{12}$  a  $10^{14}$  neutrones/cm<sup>2</sup>.s.

### 2.1 Mediciones de flujo de neutrones térmico y epitérmico en la columna térmica en la zona interna y externa

Se usaron hojuelas de Au-197 con y sin cobertores de cadmio como monitores de flujo de neutrones térmicos y epitérmicos dispuestas desde la interfase núcleo – columna térmica y en la cavidad de irradiación de la zona interna de la columna térmica (ver figura 1(a)), y en la cavidad central de irradiación de la zona externa de la columna térmica (ver figura 1(b)).

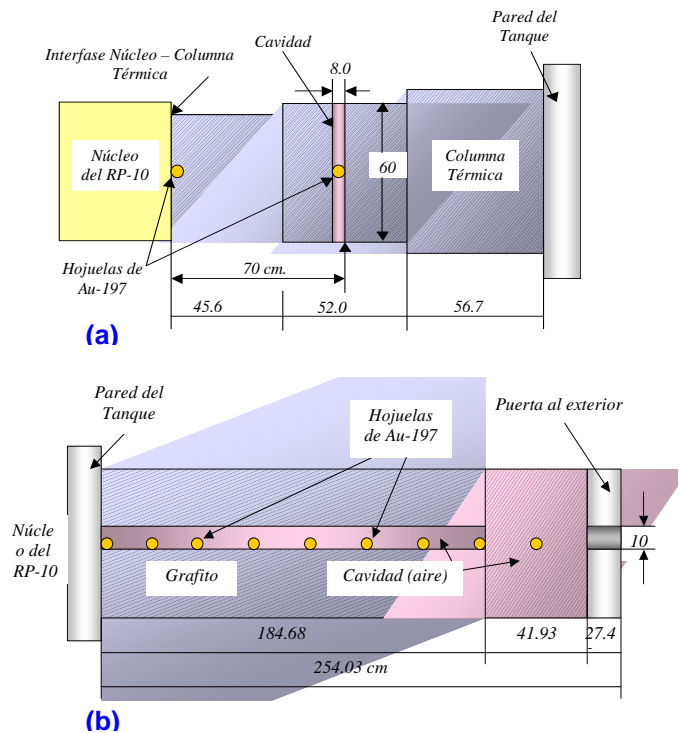


Figura 1. Esquema de la columna térmica del RP-10 (a) zona interna (b) zona externa.

La zona interna de la columna térmica es la que se encuentra sumergida en el tanque de agua del reactor RP-10 y se encuentra más próxima al núcleo, mientras que la zona externa empieza desde la pared del tanque de agua hasta la parte externa del reactor atravesando todo el bloque de concreto del reactor.

Para el cálculo de los flujos se desarrollaron las ecuaciones de activación y el formulismo de Wescott además se utilizó una cadena de espectrometría gamma asociada a una PC y a un detector de INa (Canberra)

### 2.2 Medición de la Dosis Equivalente de neutrones y la Dosis Absorbida de fotones en la columna térmica en la zona externa

Se determinó las dosis en la zona externa de la columna térmica por carecer de equipo que nos pueda medir dentro del tanque de agua.

La dosis equivalente de neutrones se midió con un monitor BF3 (Modelo NP2, Serie: NP885201), el cual se le adecuo a una barra de aluminio para ubicarlo dentro de la cavidad central de la columna térmica (figura 1 (b)) y luego se procedió a monitorear a ciertos intervalos de distancia (profundidad).

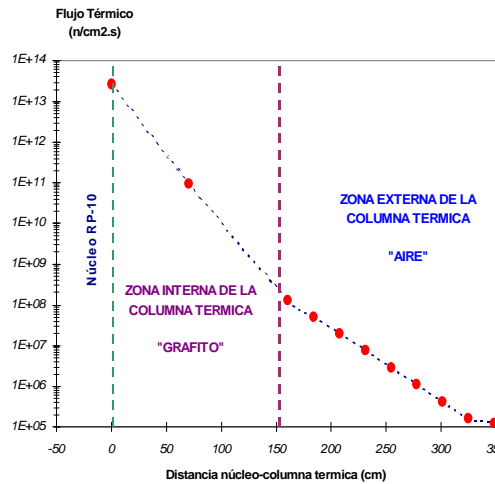
La dosis gamma se realizó con un monitor telescópico Geiger Muller (FAG, Baja Tasa de Dosis 1mR/h - 1R/h, Alta Tasa de Dosis 10mR/h - 999R/h), que igualmente fue ubicado dentro de la cavidad central de la columna térmica y se procedió a monitorear a ciertos intervalos de distancia.

### 3. RESULTADOS

La Tabla 1 muestra los parámetros de irradiación en el núcleo del reactor RP-10 para los diferentes monitores (detectores). Los parámetros de Irradiación fueron: la posición de extracción (%) de las barras de seguridad (BS1, BS2 y BS3), de control (BC1 y BC2) y la barra de control fina (BCF), y la potencia del reactor nuclear que esta relacionado con la corriente ICM4.

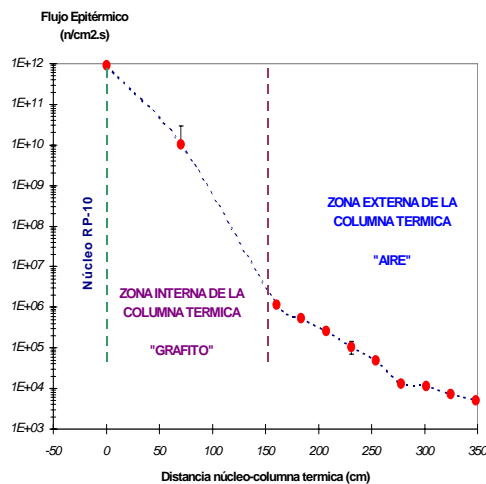
**Tabla 1.** Parámetros de Irradiación en las posiciones del núcleo utilizadas.

Detector	Barras de Seguridad y Control (%)				Corriente ICM4 (A)
	BS1, 2 y 3	BC1	BC2	BCF	
Au-198	100				0,2 E-4 (9.6MW)
Geiger	100	0.0	60.7	55.0	0,2 E -8 (1 KW)
BF3	100	0.0	60.8	54.9	0,6 E -8 (3 KW)

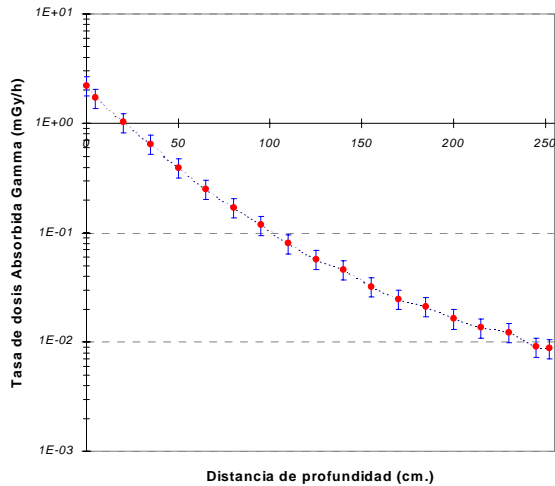


**Figura 2.** Distribución del flujo Térmico en toda la columna térmica del reactor RP-10 (potencia 9.6 MW).

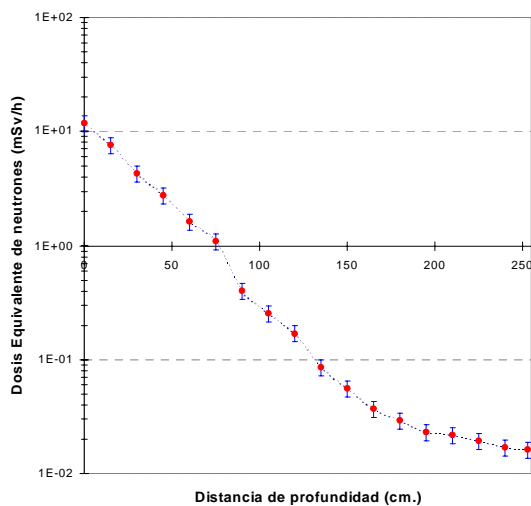
En las figuras 2 y 3, 4 y 5 se observan las distribuciones de los flujos térmicos y epitérmicos y la distribución de la dosis equivalente de neutrones y la dosis gamma correspondientemente.



**Figura 3.** Distribución del flujo Epitérmico en toda la columna térmica del reactor RP-10 (potencia 9.6MW).



**Figura 4.** Distribución de la Dosis Absorbida gamma en la zona externa de columna térmica del reactor RP-10 (potencia 1KW).



**Figura 5.** Distribución de la Dosis Equivalente de neutrones en la zona externa de columna térmica del reactor RP-10 (potencia 3KW).

Puede observarse en las figuras 2 que el flujo de neutrones térmico en la zona interna tiene un rango de  $10^{13}$  a  $10^8$  y en la zona externa desde  $10^8$  hasta  $10^5$  neutrones/cm<sup>2</sup>.s, mientras que el flujo epitérmico en la zona interna esta entre  $10^{11}$  –  $10^6$  y en la externa  $10^6$  –  $10^3$ , el flujo de neutrones térmicos es dos décadas mayor que el flujo de neutrones epitérmicos.

En las dosis tenemos un rango en la zona externa de la columna térmica de: Dosis Gamma entre  $2.2 - 8.82 \times 10^{-3}$  mGy/h; y al Dosis neutrónica entre  $11.8 - 1.63 \times 10^{-2}$

mSv/h. La diferencia de dosis neutrónica es de una década de la gamma, se debe a que la radiación gamma se produce por la interacción de los neutrones emitidos con los materiales del mismo núcleo y de los de la instalación del reactor que se encuentran cercanos a él además de los producidos por fisión del elemento combustible.

#### 4. CONCLUSIONES

La distribución de flujos y dosis se demuestra que es exponencial, además estos se encuentran dentro de los valores para futuras aplicaciones [3,4,5] y en la calibración de detectores de polímero (CR-39).

#### 5. REFERENCIAS

- (1) Igor K., Waldemar N, Ewald S. 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".
- (2) R. Paucar, O. Avalo, G. Lázaro, IPEN, Junio 1988: "Medición de neutrones y fotones en la cavidad central de la Columna Térmica".
- (3) IAEA, May 2001, "Current status of Neutrons capture therapy" IAEA-TECDOC-1223
- (4) V. Gessaghi, Jun 1997, "Diseño de un sistema sintonizador de espectro para tratamiento terapéutico por captura neutrónica en boro" Instituto Balseiro.
- (5) IAEA, Nov 1988, "Silicon Transmutation Doping Techniques and Practices" IAEA-TECDOC-456.

# DETERMINACIÓN DE LA POTENCIA TÉRMICA DEL REACTOR NUCLEAR RP-0 POR LAS TÉCNICAS DE RUIDO NEUTRÓNICO Y ACTIVACIÓN NEUTRÓNICA

Zapata M. <sup>(1)</sup> [magalybalcazar@yahoo.com](mailto:magalybalcazar@yahoo.com); Bruna R. <sup>(1)</sup> [rbruna@ipen.gob.pe](mailto:rbruna@ipen.gob.pe);  
Parreño F. <sup>(1)</sup> [fparreno@ipen.gob.pe](mailto:fparreno@ipen.gob.pe)

(1) Departamento de Cálculo, Análisis y Seguridad – IPEN / Lima, Perú

## RESUMEN

Se presentan los resultados de las mediciones de potencia térmica, realizadas por dos técnicas: Ruido Neutrónico y Activación Neutrónica en la configuración 7A5 del reactor RP-0, para la corriente de cámara de marcha  $ICM4 = 0.1 \times 10^{-6}$  Amperios. Estas mediciones se realizaron utilizando dos cámaras de ionización compensada (CIC) ubicadas en las posiciones D9 y H4 del núcleo para la primera técnica; e irradiando hojuelas de indio como monitores de flujo, para la segunda técnica.

## 1. INTRODUCCIÓN

El conocimiento del valor de la potencia del reactor resulta imprescindible para su operación (entre otros el cumplimiento de los límites de seguridad).

En los reactores de investigación de baja potencia el método más empleado para la determinación de la potencia y a veces el único es el de activación neutrónica. Este método como es sabido conlleva a altos costos (tiempo empleado en el mapeo de toda la configuración) y una reducida confiabilidad si es que se realiza en menor tiempo.

En el RP0 se ha enfrentado esta dificultad mediante la incorporación de una nueva técnica (Ruido Neutrónico) la cual permite determinar la potencia en tiempo real.

En el presente trabajo exponemos los resultados obtenidos por ambos métodos. En el método de Activación de hojuelas se utilizó indio como monitores de flujo; y por el método de Ruido dos detectores (CIC) ubicados en el núcleo del reactor, ambos resultados fueron comparados.

## 2. PARTE EXPERIMENTAL

### 2.1 RUIDO NEUTRÓNICO

La técnica de ruido neutrónico permite obtener en facilidades críticas y reactores de investigación, en forma no perturbativa, en convección natural o forzada [1]:

- Una estimación del correcto funcionamiento de una cadena de medición neutrónica y la eficiencia absoluta ( $\varepsilon$ ) del detector.
- La constante de evolución del modo fundamental de los neutrones instantáneos ( $\alpha$ ).
- Calibrar en potencia la cámara de marcha 4 perteneciente al RP-0.

La potencia, se obtienen a partir de la correlación de señales de las dos CIC:

$$P_{ij} = \frac{2\bar{E}_f D(1-\beta)L_1}{A_{ij} \beta^2} \quad (1.1)$$

Siendo  $B_i$ ,  $E_f$ ,  $D$ ,  $\beta$  y  $L_1$  parámetros que dependen del combustible y/o la geometría y cuyos valores se obtienen de la literatura ó a través de cálculo.

$B_i \cong 1$ , factor de Bennett

$\bar{E}_f = 3.2 \times 10^{-11}$  J, energía media liberada por fisión

$D = 0.795$ , factor de Diven

$L_1 = 1.18$  para un reactor de tipo (MTR)

$\beta$ : fracción efectiva de neutrones retardados

Los parámetros  $A_{ij}$ ,  $\alpha$  y  $N_i$ , se obtienen ajustando los datos de Densidad Espectral de Potencia Normalizada

$$NPSD_{ij}(\omega) = \frac{PSD_{ij}(\omega)}{\bar{I}_i \bar{I}_j} \quad \text{con la función:}$$

$$F(\omega) = \frac{A_{ij}}{(1 + \frac{\omega^2}{\alpha^2})} + N_i \delta_{ij} \quad (1.2)$$

Siendo:

$I_i(t)$  : Corriente de la CIC<sub>i</sub>  
 $\omega$  : frecuencia angular.  
 $PSD_{ij}(\omega)$  : densidad espectral de potencia de las componentes ( $\delta I_i(t), \delta I_j(t)$ ).

## 2.2 ACTIVACIÓN NEUTRÓNICA

Determinación de la Potencia

La potencia térmica de un reactor queda determinada como [2]:

$$P = 1.602 \times 10^{-13} \times \left( \frac{\epsilon_f M_f N_a}{A} \right) \frac{\sqrt{\pi}}{2} g(T) \frac{\sqrt{T_0}}{\sqrt{T}} \sigma_{f(E_0)} \bar{\phi}_{th} f_D (1 + \bar{\alpha}_{epi})$$

Wattios. (2.1)

Donde los valores establecidos:

$\epsilon_f$	192.9 (MeV)	Energía que se libera por fisión
$N_a$	$6.02252 \times 10^{23}$ (mol <sup>-1</sup> )	Número de avogadro
$M_f$	3351.99 (g)	Masa actual del combustible del reactor
$A$	235.0442 (g/mol <sup>-1</sup> )	Masa atómica del U-235
$f$	0.99825	Factor de desventaja
$\sigma_f$	582.26 b	Sección eficaz microscópica de fisión del U-235
$\bar{\phi}_{th}$	$n_s / cm^2 s$	Flujo neutrónico térmico medio del núcleo del reactor
$g(T)$	0.9759	Factor de desviación de la ley no 1/v
$\bar{\alpha}_{epi} = \frac{I_f \cdot \lambda_r / f}{\sigma_f}$	0.08	Razón de la tasa de fisiones epitérmicas a la tasa de fisiones térmicas en el U-235
$I_f$	276.3 b	Integral de resonancia de fisión del U-235
$\lambda_r$	0.17	Razón entre flujo epitérmico y térmico

## 3. RESULTADOS

Se realizaron mediciones de Potencia con las cámaras de ionización compensada ubicadas en la configuración del núcleo 7A5 del RP-0 simultáneo a las irradiaciones de espadas en los elementos combustibles y de control. Las condiciones de trabajo se mantuvieron en todas las irradiaciones y se muestran en la tabla 1:

**Tabla 1.** Condiciones de trabajo.

<b>ICM4 = <math>0.1 \times 10^{-6}</math> Amperios</b>
<b>CIC1 = D9 CIC2 = H4</b>
<b>BC1 = Crítico, BC2 = BC3 = BC4 = 100%</b>

### Ruido Neutrónico

A continuación en la tabla 2 se presentan las mediciones realizadas con el método de Ruido Neutrónico simultáneas a las irradiaciones de monitores de flujo (hojuelas de indio).

**Tabla 2.** Estimaciones de Potencia por Ruido Neutrónico.

Irradiación	% BC1	Potencia (Wattios)	Error
1	85.5	5.510	0.044
2	86.9	5.412	0.044
3	86.1	5.351	0.036
4	85.5	5.348	0.040
5	85.2	5.522	0.035
6	84.7	5.216	0.037
7	86.4	5.373	0.035
8	84.6	5.162	0.036
9	86.2	5.319	0.050
10	83.4	5.369	0.037
11	83.1	5.291	0.039
12	84.7	5.081	0.035
13	79.5	5.022	0.026
14	79.4	5.191	0.027

Luego el valor promedio de la potencia térmica es mostrado en la tabla 3 :

**Tabla 3.** Potencia Térmica promedio.

<b>Potencia Promedio (W)</b>	<b>5.30</b>
Error (%)	0.04

### Activación Neutrónica

De la irradiación de monitores se determinaron los flujos térmicos medio por caja (Neutrones/cm<sup>2</sup>S) de los elementos combustibles normales y de control del núcleo 7A5 del RP-0 (ver figura 1 y 2).

Flujos Térmicos

	D	E	F	G
4	2.89E7 ± 2.81%	4.10E7 ± 3.68%	3.39E7 ± 3.30%	
5	4.92E7 ± 3.27%	1.33E8 ± 2.42%	4.91E7 ± 3.70%	3.58E7 ± 3.81%
6	4.72E7 ± 3.54%	5.08E7 ± 3.67%	4.52E7 ± 3.72%	4.21E7 ± 3.53%
7	3.39E7 ± 3.30%	3.69E7 ± 3.88%	3.39E7 ± 3.30%	

**Figura 1.** Flujo térmico medio por elemento combustible.

Flujos Epitérmicos

	D	E	F	G
4	4.83E6 ± 6.08%	6.18E6 ± 8.16%	5.68E6 ± 7.13%	
5	6.52E6 ± 7.39%	7.09E6 ± 6.39%	7.86E6 ± 8.21%	5.98E6 ± 8.58%
6	6.84E6 ± 7.90%	8.31E6 ± 8.18%	8.52E6 ± 8.25%	6.05E6 ± 7.96%
7	5.68E6 ± 7.13%	6.33E6 ± 8.65%	5.68E6 ± 7.13%	

**Figura 2.** Flujo epitérmico medio por elemento combustible.

Los valores de las masas de los elementos combustibles normales y de control son mostrados en la figura 3:

Masas (g) RP0 7A5

	D	E	F	G
4	209.8	279.52	209.71	
5	279.71	Cabezal Irrad.	279.10	278.70
6	278.43	279.10	279.61	279.54
7	209.6	279.61	209.56	
	Masa Total (g)			3351.99

**Figura 3.** Masa de U-235 por elemento combustible.

De los valores de flujo absoluto promedio, la masa del U-235 en cada elemento combustible y los valores establecidos, se determina la Potencia Térmica Promedio utilizando la ecuación (2.1):

**Tabla 4.** Potencia Térmica Promedio obtenida por activación neutrónica.

<b>Potencia Promedio (W)</b>	<b>6.06</b>
<b>Error (%)</b>	<b>4.21</b>

## 4. CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES

Comparando ambas técnicas de medición se observa una diferencia en la determinación de la potencia térmica de:

Ruido Neutrónico (W)	Activación neutrónica (W)	Diferencia (%)
5.3	6.06	12

Debe tenerse en cuenta que el método de determinación de la potencia por activación neutrónica está sujeta a variaciones que dependen de la data nuclear empleada, es recomendable contar con data actualizada de parámetros nucleares.

En cuanto al valor hallado por la técnica de ruido se puede decir que a pesar de ser del punto de vista estadístico mas confiable (se realizaron un promedio de 9 mediciones en cada irradiación), el valor de la potencia está sujeto a un error de 3% debido al no conocimiento del valor del  $\beta_{eff}$  siendo este un parámetro nuclear importante a determinarse.

## 5. REFERENCIAS

1. M. Zapata, F. Parreño, R. Bruna; IPEN/DGI/CASE "Determinación de la Potencia del Núcleo 7A5 del RP-0 por las Técnicas de Ruido Neutrónico y Activación Neutrónica." 2002.
2. M. Zapata, F. Parreño, R. Bruna; IPEN-DGI-CASE "Estimación de Flujos Térmico y Epitérmico en la configuración 7A5 del núcleo del RP0". Instituto peruano de Energía Nuclear. 2002.
3. A. Gómez, R. Waldman and E. Laggiard, "Measurement of Power in Research Reactors using the neutron noise technique". Ann. Nuc. Energy, Vol 19, No 5, pp 267-285, 1992.
4. C. Aparicio. "Estimación de flujos neutrónicos por activación de hojuelas de indio para el núcleo 7A4 del RP-0". Instituto Peruano de Energía Nuclear. 2001.

5. R. Bruna, J. Oré, P. Paredes, IPEN-DGI-CASE. "Medición de Potencia para la Configuración 7A4 del Reactor RP-0, usando la Técnica de Ruido Neutrónico". Instituto peruano de Energía Nuclear. 2000.
6. R. Bruna, R. Páucar, M. Vela, Z. Pozo; IPEN-DGI-CASE. "Determinación de la Potencia del Núcleo 18 del RP-10". Instituto peruano de Energía Nuclear. 1998.
7. R. Cuya, Código de Cálculo CITATION.



# QUÍMICA DEL AGUA EN EL REACTOR RP-10 DEL CENTRO NUCLEAR “RACSO”

Babiche I. <sup>(1)</sup> [cbabiche@ipen.gob.pe](mailto:cbabiche@ipen.gob.pe); Revilla A. <sup>(1)</sup> [arevilla@ipen.gob.pe](mailto:arevilla@ipen.gob.pe)  
Palomino R. <sup>(1)</sup> [rpalomino@engineer.com](mailto:rpalomino@engineer.com)

(1) Departamento de Mantenimiento – INST – IPEN / Lima, Perú

## RESÚMEN

Algunos elementos estructurales del reactor nuclear RP-10 presentan corrosión por picado (pitting). El contenido del ión cloruro en el agua del reactor y el par galvánico formado entre el aluminio y el acero inoxidable (que reviste la piscina del reactor) se identifican como una de las principales causas del problema. Este trabajo describe los análisis y ensayos que condujeron a controlar en parte el fenómeno observado.

El Grupo de Mantenimiento Químico del RP-10 se encuentra desarrollando un programa de vigilancia de la calidad del agua para evaluar el comportamiento de ésta frente a los elementos combustibles en uso y gastados, así como también su efecto en la instrumentación y componentes anexos, tanto en el tanque reactor como en la pileta auxiliar, desarrollando una estrategia para la preservación del revestimiento o vaina de aluminio de los elementos combustibles, minimizando el ataque debido a la corrosión por picado.

Para ello se ha modernizado la instrumentación y mejorado los sistemas actuales de tratamiento de agua, como por ejemplo el cambio de resinas del sistema de purificación de agua del reactor, también se ha dado inicio a un programa de evaluación de la calidad del agua del reactor monitoreando parámetros como el pH, temperatura, conductividad, concentración de cloruros y hierro, en las regiones donde teóricamente el agua es más agresiva.

## ABSTRACT

Some structural elements of the nuclear reactor RP-10 show pitting corrosion. Chlorides in water reactor and galvanic cell formed between aluminum and stainless steel (around pool reactor) they are identified like one of the main causes of the

problem. This work describes the analysis and tests that led to control the observed phenomenon partly.

The Group of Chemical Maintenance of RP-10 is developing a surveillance program of water quality to evaluate the behavior of this against fuel elements in use and spent, as well as its effects in the instrumentation and annexed components, so much in the tank reactor as in the auxiliary pool, developing a strategy to preserve aluminum clad of fuel elements, minimizing the attack due to pitting corrosion.

For that, instrumentation has been modernized and improved the current systems of water treatment, for example resins changing in the purification system of water in the reactor, it has also been started an evaluation program of water quality of the reactor monitoring parameters like pH, temperature, conductivity, concentration of chlorides and iron, in the regions where theoretically the water is more aggressive.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los elementos combustibles (tipo MTR enriquecido al 20% en uranio 235) del reactor RP-10 se encuentran sumergidos en agua liviana y la experiencia nos muestra que éstos están sujetos a una rápida corrosión por picado si es que la calidad del agua no es la adecuada.

El Grupo de Mantenimiento Químico del RP-10 tiene como objetivo la conservación de los elementos combustibles en uso y gastados en condiciones óptimas de trabajo y almacenamiento, respectivamente, mientras se desarrolla e implementa la tecnología adecuada para su posterior disposición final.

Basado en las referencias, la corrosión por picadura de los revestimientos de aluminio<sup>[4]</sup> es el mecanismo principal que

podría limitar la vida útil de los elementos combustibles.

El comportamiento del aluminio ante el fenómeno de corrosión está esencialmente determinado por la calidad del óxido superficial que cubre este metal, dependiendo en menor grado del medio corrosivo en que se encuentre. La especie responsable de la pasivación es la alúmina. La mayoría de las investigaciones de la corrosión por picado se refieren a la presencia del ión cloruro.

## 2. CONSIDERACIONES TEÓRICAS

### Capa de Óxido de Aluminio

El aluminio es uno de los metales más termodinámicamente activo y debe su excelente resistencia a la corrosión a la capa de óxido protector formada y fuertemente adherida a su superficie. Cuando la capa es dañada bajo condiciones en las cuales la autogeneración de ésta no ocurre, puede ocurrir una corrosión localizada en forma de picado o un ataque intragranular<sup>[1]</sup>. En aguas que se encuentren entre 60 – 70 °C, la capa de óxido amorfa se transforma en una fase hidratada de óxido cristalino llamada Bohemita (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.H<sub>2</sub>O). Después de días de inmersión una fase cristalina llamada Bayerita es formada (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.3H<sub>2</sub>O). Por sobre los 70 °C, la capa de óxido formada sobre el aluminio es predominantemente Bohemita<sup>[2]</sup>. La reacción total de corrosión del aluminio en el agua es la siguiente:



### Influencia de la Composición del Agua

La mayoría de factores que influyen en la corrosión por picado en las aleaciones de aluminio son: conductividad, pH<sup>[3]</sup>, bicarbonatos, cloruros, sulfatos y el contenido de oxígeno. Debido a la interrelación entre la composición y los factores de servicio, es difícil predecir la influencia del agua desde una tabla de composición de aguas. Ciertos estudios condujeron a una agua sintética la cual contenía varios metales y iones de sales, encontrando que la corrosión del aluminio se acelera en presencia de sales de cobre, cloruros y bicarbonatos, como simples impurezas.

## Parámetros de Protección contra la Corrosión en el RP-10

El criterio presentado en este documento provee las pautas para optimizar la protección contra la corrosión de todo material constituido por aluminio dentro del RP-10.

Los siguientes análisis y operaciones están siendo realizados al agua a partir del año 1999 en el Grupo de Mantenimiento Químico del RP-10 tomándose muestras de ésta en boca de tanque (nivel 11), nivel 6.60 (intermedio) y fondo (colector de intercambiadores de calor):

**Análisis de Cloruros (Cl<sup>-</sup>)** El análisis consiste en la toma de muestras en los tres niveles indicados, analizándose la concentración de cloruros con el fotómetro Merck SQ 118 el cual trabaja en el rango de 1 a 20 mg/L.

**Análisis de Hierro Total (Fe<sup>+2</sup> y Fe<sup>+3</sup>)** El análisis consiste en la toma de muestras en los tres niveles indicados, analizándose la concentración de fierro total con el fotómetro Merck SQ 118 el cual trabaja en el rango de 0.05 a 1.00 mg/L.

**Determinación de la Conductividad** La determinación consiste en la toma de muestras en los tres niveles indicados, determinándose la conductividad de las muestras con el conductímetro WTW LF 325 el cual trabaja en el rango de 0 a 10 µS/cm.

**Determinación del pH** La determinación consiste en la toma de muestras en los tres niveles indicados, determinándose el pH de las muestras con el pHmetro WTW ph 320 el cual trabaja en el rango de 0 a 14 uph.

**Determinación de la Temperatura** La determinación consiste en la toma de muestras en los tres niveles indicados, determinándose la temperatura de las muestras con el conductímetro WTW LF 325 el cual trabaja en el rango de 4° a 90°C.

**Limpieza de la Pileta Auxiliar del RP-10** Actualmente, y con una frecuencia anual se procede a la limpieza total de la pileta auxiliar<sup>[5]</sup>, colocando previamente la compuerta que separa el tanque principal de la pileta, luego se procede a la evacuación total del agua hacia el tanque

de reserva, iniciándose después los trabajos de limpieza y aspiración total de cualquier residuo corrosivo o no que se encuentre dentro de la pileta, todo mediante la inyección de agua a presión y su posterior aspiración y filtrado, posteriormente se repone el agua vía el sistema de provisión.

#### **Sistema de Provisión de Agua al RP-10**

Se ha mejorado la provisión de agua al reactor, mediante el análisis previo a la inyección de agua al sistema primario vía tanque pulmón, tomando una muestra de agua y analizando su conductividad, concentración de cloruros, fierro total y pH.

#### **Determinación de la Hidráulica del Sistema de Purificación mediante Radiotrazadores**

Ya que en la actualidad no se cuenta con un medio para determinar el comportamiento hidráulico del sistema de purificación, es decir, no se conoce cuales son las zonas de fluencia y estancamiento del agua del sistema, es recomendable determinar las características cinéticas de estas zonas para así poder concluir con un mejor criterio el comportamiento corrosivo del medio para con los elementos de aluminio.

#### **Prácticas Operacionales**

El seguimiento a las siguientes prácticas<sup>[6]</sup> aseguran una mayor vida útil de los materiales constituyentes del RP-10.

**1. Circulación de Agua.** Evitar áreas de estancamiento de agua sobretodo en la pileta auxiliar, la cual es en la actualidad el contenedor de almacenamiento de combustible. Una tasa de flujo lineal sobre la superficie del aluminio tan pequeña como 2.4 m/min ha mostrado una supresión del picado en algunas aleaciones de aluminio.

**2. Remoción de Lodos.** No permitir la acumulación de lodos en el agua del contenedor de almacenamiento de combustible. Removerlos mediante aspiración u otros métodos. Estos materiales pueden concentrar cloruros, metales pesados, los cuales depositados en los ensamblajes del combustible inician el picado de la vaina de aluminio.

**3. Filtración.** Filtros mecánicos o lechos de resinas deberán ser usados para controlar los sólidos suspendidos o material

particulado en el agua del RP-10 antes que éstos se conviertan en lodos. La desionización del agua ayuda al logro de esto.

**4. Hendiduras.** Evitar las hendiduras entre los materiales de aluminio y el acero inoxidable un pH bajo, presencia de iones cloruros y oxígeno disuelto en estas hendiduras promueve una corrosión acelerada del aluminio.

**5. Pares Galvánicos.** Evitar el contacto entre el ensamblaje de la vaina de aluminio del combustible y el material disímil del soporte o percha de almacenamiento. Use perchas de almacenamiento de aluminio o cualquier material aislante de ser posible. Combustible con vaina de aluminio acoplados con perchas o soportes de acero inoxidable acelerarán la corrosión por picado del aluminio.

**6. Manipuleo del Combustible Gastado.** Evitar el manipuleo de los ensamblajes de combustible con herramientas punzantes ya que arañazos en la capa de óxido protectora del combustible irradiado pueden servir como sitios de iniciación de picaduras cuando se encuentren en el contenedor de almacenamiento. Minimice, tanto como sea posible cualquier daño mecánico o arañazo en la superficie del elemento combustible durante la descarga del núcleo del reactor y durante el subsecuente manipuleo y operaciones de almacenamiento.

**7. Actividad Microbiológica.** Si una película biológica se forma sobre la superficie de aluminio, ésta deberá ser removida mecánicamente con escobillas húmedas usando agua. Una solución al 35% (200 mL en 700 gal) de peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ) ha demostrado efectividad en el aniquilamiento de dicha actividad. No añadir productos químicos que contengan cloruros u otros halógenos tales como el hipoclorito de sodio ( $NaOCl$ ) al agua para el control de algas, bacterias o turbidez sin primero probar la compatibilidad con el combustible, accesorios u otros componentes. Los cloruros en la mayoría de los productos químicos destruirán la capa pasiva del aluminio y causan una corrosión por picado agresivo.

**8. Condiciones de Iluminación en el Contenedor.** Las condiciones de

iluminación deberán mantenerse tan bajas como sea posible en las áreas cercanas al reactor y pileta auxiliar. Altos niveles de iluminación promueven el crecimiento microbiológico en el agua. La iluminación ultravioleta puede ser usada para reducir la actividad microbiológica asociada.

**9. Reposición de Agua.** La reposición de agua al RP-10 deberá ser de la misma calidad o mejor que la ya existente. Agua desionizada deberá siempre ser usada.

**10. Actividad Radioactiva en el Agua del RP-10.** La actividad es monitoreada y controlada a niveles seguros para el personal que trabajan en áreas circundantes. Un sistema de purificación continuo desioniza el agua removiendo la radioactividad alfa y beta, ya que productos de fisión tales como el cesio-137 y otros radionucleídos pueden ser encontrados en ésta debido a elementos combustibles fisurados o de vainas rotas.

**11. Plan de Muestreo de Agua.** El mantenimiento de la calidad de agua es vital para una operación segura del RP-10. La calidad de agua es monitoreada a través de muestreos. Los principales parámetros del agua tales como el pH, conductividad y cloruros deberán medirse periódicamente. Un monitoreo semanal es recomendado, pero este intervalo puede ser establecido por el operador y es dependiente de las condiciones de la piscina. Otras impurezas como los iones sulfatos, nitratos, nitritos, cobre, mercurio, fierro y aluminio serán medidos trimestralmente como mínimo. La temperatura será monitoreada diariamente. La medida de radioactividad alfa, beta y gamma del agua del RP-10 será realizada con una frecuencia basada en los requerimientos. Un incremento en la radioactividad es un indicador de la corrosión.

**12. Programa de Vigilancia a la Corrosión.** Un programa de vigilancia a la corrosión a largo plazo debe ser implementado en la RP-10 para monitorear la agresividad del agua frente a las aleaciones de aluminio. Racks de corrosión con cupones manufacturados de aleaciones de materiales constituidos en el reactor serán inmersos en el agua cerca de las vainas de aluminio del combustible, los cuales serán de forma circular. Cupones de aleaciones de aluminio, aceros y galvánicos constituirán el rack. Los

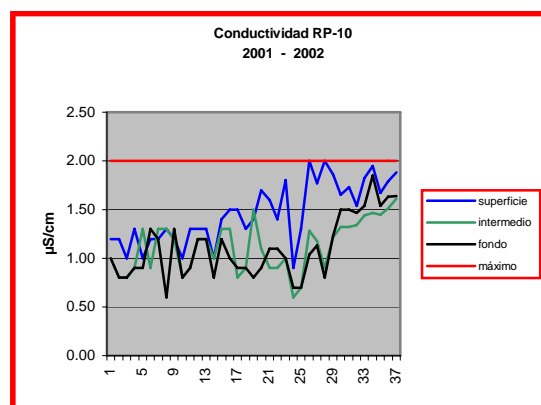
cupones no serán pre-oxidados de otra forma se encontraría aire en la superficie. Esto asegura algo de conservación.

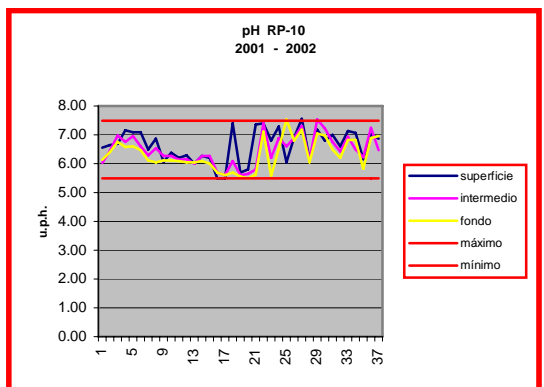
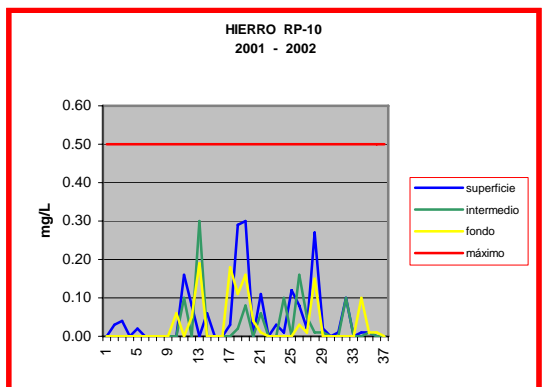
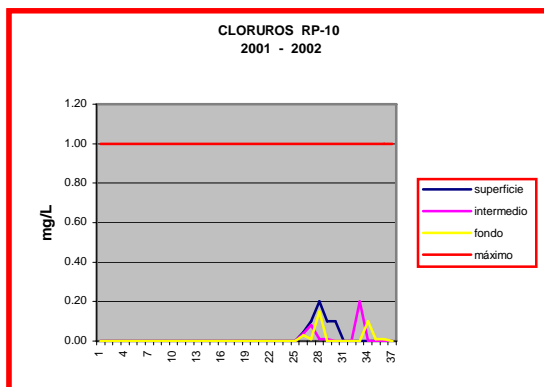
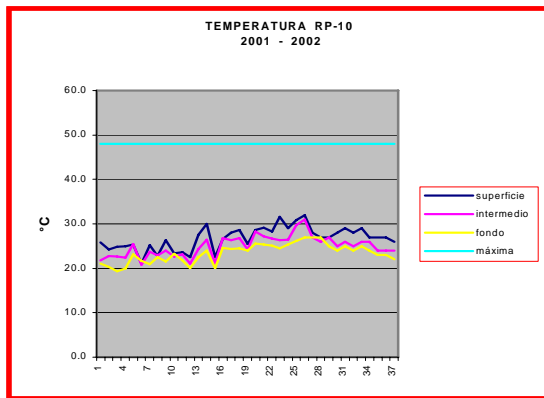
Un registro de los retiros de estos cupones será definido basado en el tiempo de vida del combustible además del número total de racks. Como mínimo debe haber suficientes racks disponibles para obtener datos por 6 meses, uno y dos años para suministrar una rápida información de la agresividad del medio hacia los cupones. Para un programa de veinte años, los retiros deberán ser extendidos a cinco, diez y veinte años. Si las condiciones del agua son más agresivas, adicionales racks pueden ser requeridos e intervalos más frecuentes de retiros pueden ser necesarios.

Una evaluación metalográfica de los cupones de corrosión incluirán densidad y máxima profundidad de picado. Conociendo la profundidad del picado y el tiempo de exposición, la tasa de picado puede ser calculada. El video y la fotografía a color recomendamos ser usados para documentar los retiros. Datos de los análisis de agua tomados durante los períodos de exposición serán correlacionados con las observaciones de corrosión de los cupones para explicar los resultados de las pruebas.

### 3. RESULTADOS

Los siguientes gráficos muestran los resultados de los análisis realizados al agua del RP-10 durante el período 2001 – 2002:





#### 4. CONCLUSIONES

1. El aluminio y el acero inoxidable forman un par galvánico aún a bajas concentraciones del ión cloruro,

actuando el acero como cátodo y el aluminio como ánodo.

2. Al actuar el aluminio como ánodo, éste es el que sufre corrosión por picado, teniéndose que definir en forma experimental a que corriente sucede.
3. Como se puede observar en los gráficos, tanto el pH, la conductividad y la concentración de los iones cloruros y hierro se han mantenido dentro de los límites de operación permisibles.
4. Operando continuamente el sistema de purificación del RP-10 resulta en una baja conductividad del agua y una baja concentración de impurezas causantes de corrosión
5. Aguas con conductividades menores a 1  $\mu\text{S}/\text{cm}$  aseguran la calidad de los materiales.
6. Manteniendo el agua del reactor en un rango de pH entre 5.5 a 7.5 minimiza la corrosión por picado.

#### 5. REFERENCIAS

- (1) ASM SPECIALTY HAND BOOK, Aluminium and Aluminium Alloys, volume:V, Properties of aluminium alloys, ASM International – The materials information Society
- (2) Harvey M. Herro y Robert D. Port, Guía NALCO para el análisis de fallas en los sistemas de enfriamiento por agua
- (3) Herbert H. Uhlig, Corrosion and Control Corrosion, 2<sup>nd</sup> Edition
- (4) Carmen Silva y I. Gardiazabal, Corrosión localizada del aluminio en elementos estructurales de un reactor nuclear de investigación
- (5) Iván Babiche F., Procedimiento para la evacuación total del agua de la pileta auxiliar y su posterior reposición”, Memorandum N° 015-2002-MARE-GTA.
- (6) Iván Babiche F., Criterios para la Protección contra la Corrosión en los Elementos Combustibles Gastados en el Almacenamiento Húmedo Provisional en el Centro Nuclear “RACSO”

# MEJORAS EN LA DETERMINACIÓN DEL QUEMADO DE LOS ELEMENTOS COMBUSTIBLES DEL REACTOR RP-10 (NÚCLEOS 14 AL 24)

Cuya T. <sup>(1)</sup> [rcuya@ipen.gob.pe](mailto:rcuya@ipen.gob.pe)

(1) *Departamento de Cálculo, Análisis y Seguridad – IPEN / Lima, Perú*

## RESUMEN

La determinación del quemado en un reactor nuclear es sumamente importante desde el punto de vista de la seguridad y la economía neutrónica, es por esta razón que en base a valores mejor determinados de la potencia térmica se decide en el departamento de Cálculo, Análisis y Seguridad del IPEN, reevaluar los cálculos de quemado de los elementos combustibles del RP-10.

Para dicho fin se mejoran los datos de entrada así como los modelos de cálculo usados.

El presente trabajo muestra los valores de quemado obtenidos debido al mejor conocimiento de la potencia térmica así como a las mejoras implementadas en la metodología de cálculo, y se muestran las diferencias obtenidas con la anterior metodología para los EC con mayor grado de quemado (%U-235).

## 1. CONTENIDO

Con el fin de mejorar los cálculos de quemado la metodología usada para tal fin se reformulo en los siguientes puntos:

- (1) Usar una librería de datos nucleares base distintas a la gestión anterior para nuestros cálculos de celda con el código WIMS[]. Dejamos de usar una librería proporcionada por CNEA y usamos la del Nuclear Data Centre (NDC) del OIEA que se encuentra disponible en la pagina web del WLUP (Wims-D Library Update Project, [www-rcp.ijs.si/~wlup](http://www-rcp.ijs.si/~wlup)).
- (2) Reformular los modelos usados en los codigos de celda.
- (3) Reformular los modelos usados en los codigos de difusión.
- (4) Se desarrollo un nuevo programa para pre-procesamiento y pos-procesamiento de los datos de los codigos de cálculo y usado para la determinación de quemado, flujos, potencia, factores de

pico, etc. El cual fue validado en cada rutina componente, el nuevo programa desarrollado para este fin se llama WIMCIT[1][2] y se encuentra instalado en las PCs del CASE.

(5) Con valores actualizados de potencia térmica y de operación se siguió la evolución de todos los núcleos del RP-10 hasta al presente.[3]

## CÁLCULO DE CELDA

Se procedió a reformular los modelos del código de celda WIMS para los siguientes componentes del núcleo del RP-10[4].

- (1) Elemento de Grafito.
- (2) Elemento de Berilio.
- (3) Elemento de caja de agua.
- (4) Elemento de caja de irradiación.
- (5) Elemento combustible normal (sin marco de aluminio).
- (6) Elemento combustible de control (sin marco de aluminio, insertado y extraído).
- (7) Elemento de Barra fina de control.

Las principales implementaciones realizadas en los modelos fueron las siguientes:

- (1) Al término buckling se le adiciono el ahorro por reflector, el cual no estaba incorporado en los modelos iniciales. Esto es importante cuando se realizan cálculos en 2D, para los casos 3D el código no requiere del valor de buckling.
- (2) Se tomo en cuenta el enriquecimiento promedio de los ECs, el cual es de 19.681 para los ECN y para los ECC. Anteriormente se usaba el valor nominal de 19.75
- (3) Se realizo el modelo para un cálculo a 4 grupos en vez de 2 grupos en el calculo del reactor con el código CITATION[], se usaron los siguientes cortes de energía[4]:  
Grupo 1: 1.353  $\leftrightarrow$  10 MeV segundo grupo rápido.  
Grupo 2: 0.01503  $\leftrightarrow$  1.353 MeV primer grupo rápido

Grupo 3: 0.625 eV  $\leftrightarrow$  0.01503 MeV grupo Epitérmico  
 Grupo 4: 0.0  $\leftrightarrow$  0.625 eV grupo térmico

Se uso el programa SECCION[5] para la condensación de las XS y la generación de las librerías WIMCIT2G.LIB[6] y WIMCIT4G.LIB[4], las cuales se ubicaron en el directorio C:\WIMCIT de la PC CASE5 del Departamento de Cálculo, Análisis y Seguridad del IPEN.

## CÁLCULO DEL NÚCLEO

Las principales modificaciones implementadas en el modelo de difusión usado para el código CITATION son el espacio entre mallas, potencia térmica, modelos 3D y los reportes de operación.

(1) Potencia térmica: La cual ha sido calibrada y reevaluada.

Las potencias térmicas usadas son las siguientes:

Núcleos: 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20 y 21 se usó una potencia térmica menor en un 14.5% de la reportada por operación[Manuel Nieto, comunicación privada]. Los núcleos anteriores al 14 fueron subcríticos (no se acumuló quemado).

Núcleos 22, 23 y 24 se asoció una incertidumbre de 2% en la potencia térmica[3].

(2) En el modelo de difusión se hizo la malla mas fina para la zona combustible y de reflector, de tal forma de tomar de ver la variación del Keff en función al espaciado de la malla.

(3) Reportes de operación: Nos proporciona la potencia y el tiempo de operación del reactor durante cada núcleo de trabajo[7].

(4) Se implemento el modelo para el cálculo en 3D para 3 o más grupos de energía.

## 2. RESULTADOS

A continuación mostramos los resultados para el final de la evolución en estudio del núcleo del RP-10, se muestra el quemado acumulado para el núcleo 24 del RP-10 y se comparan con los de la metodología anteriormente usada en el IPEN.

**Tabla 1.** Valores de quemado para los elementos más exigidos del núcleo 24 del reactor RP-10.

Elemento	*U-235	**U-235
NN-001	53.13	47.39
NN-002	59.02	52.56
NN-003	58.83	52.66
NN-004	62.69	55.65
NN-009	55.51	47.10
NN-010	53.23	45.35
NC-002	51.07	43.93
NC-003	50.96	44.96
NC-004	58.20	50.86
NC-005	57.71	50.50

\*Metodología anterior sin valores de potencia corregida ni modelos neutrónicos mejorados.

\*\*Metodología con valores de potencia corregida y modelos neutrónicos mejorados

## 3. CONCLUSIONES

- (1) Con los valores corregidos de la potencia térmica y las mejoras en la metodología del cálculo neutrónico se determino un quemado de 55.65% para el elemento combustible mas critico en comparación al 62.69% que se estimaba.
- (2) Los resultados muestran que los EC mas exigidos del RP-10 ya ameritan un retiro definitivo, este retiro deberá efectuarse en el cambio al núcleo 25.

## 4. RECOMENDACIONES

- (1) Realizar la medición de quemado de un EC usando el sistema gamma-scanning.
- (2) Realizar la medición de quemado de los EC del RP-10 usando el método de reactividades.



## 5. REFERENCIAS

[1] T. Cuya, R. Medina, "Desarrollo de Software para cálculo neutrónico de del RP-10 a 2 grupos de energía", R.T: 004-2002-DGI/DR/CASE/NT., Huarangal, Julio del 2002.

[2] T. Cuya, R. Medina, "Mejoras en el software WIMCIT", Reporte en progreso.

[3] Comunicación Privada con el Ing. Manuel Nieto, Departamento de Cálculo, Análisis y Seguridad del IPEN., Huarangal diciembre del 2002.

[4] T. Cuya, "Generación de Librería a 4 grupos de energía para gestión de Combustible en el reactor RP-10 con núcleo mixto", RT: 001-2001-INST/DR/CASE/NT, Huarangal junio del 2002.

[5] T. Cuya, "SECCION: programa generador de librerías de constantes nucleares para el código CITATION", R.T: 008-2002-INST/DR/CASE/NT., Huarangal Septiembre del 2002.

[6] T. Cuya, "Generación de Librería a 2 grupos de energía para gestión de Combustible en el reactor RP-10 con núcleo mixto", R.T: 002-2001-INST/DR/CASE/NT., Huarangal, Junio del 2002.

[7] Comunicación privada con el Lic. Mariano Vela M., Huarangal, Diciembre del 2002.

# DETERMINACION DEL INVENTARIO RADIOACTIVO DE LOS ELEMENTOS COMBUSTIBLES GASTADOS DEL REACTOR RP-10

Cuya T. [rcuya@ipen.gob.pe](mailto:rcuya@ipen.gob.pe)<sup>(1)</sup>; Llamas I. [illamas@ipen.gob.pe](mailto:illamas@ipen.gob.pe)<sup>(2)</sup>.

(1) *Departamento de Calculo, Análisis y Seguridad – Instituto Peruano de Energía Nuclear / Perú*

(2) *Dirección de Reactores – Instituto Peruano de Energía Nuclear / Perú*

## RESUMEN

El año 2001 el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) inicio el proyecto RLA/4/018 “Gestión de combustibles Gastados en reactores de investigación” el cual involucra a 5 países de la región (Argentina, Brasil, Chile, México y Perú) en la elaboración de distintas tareas, siendo una de las principales estudiar opciones de almacenamiento temporal y definitivo de los ECG de los reactores de investigación de la región. La región cuenta principalmente con dos tipos de reactores TRIGA y MTR, siendo este ultimo el tipo con el cual cuenta el Perú. El estudio de las diferentes opciones de almacenamiento será un punto de vital importancia para cada uno de los países al culminar en mayo del 2006 el programa de repatriamiento del material combustible nuclear de procedencia USA “Take Back Program” del Departamento de Energía de los Estados Unidos (DOE), luego del cual cada país deberá estudiar sus propias alternativas de almacenamiento.

Uno de los pasos previos de este estudio es la determinación del inventario radiactivo de un ECG, luego de un periodo de decaimiento conservador, que se estima en nuestro caso del orden de 2 años.

En el presente articulo mostramos los resultados para los isótopos de uranio y los transuránicos y se comparan con resultados obtenidos por R. B. Pond[1] en ORNL usando el código WIMS para este tipo de EC.

Los resultados son mostrados en Curies y g/100g U235 servirán para el diseño de un casco para transporte de ECG en la región.

## 1. CONTENIDO

Actualmente el reactor RP-10 viene operando en su núcleo numero 25, al final del ciclo del núcleo 24 fueron retirados

definitivamente 3 EC del núcleo [2]. Dichos elementos cuentan con quemados del orden de 50% y por lo tanto una gestión de ECG es necesaria, a fin de poder tomar las previsiones del caso. Una parte importante de dicha gestión requiere del conocimiento del IV de los ECG.

Para alcanzar dicho fin el sistema SCALE[3] ha sido implementado en las PCs del Departamento de Calculo, Análisis y Seguridad en su versión 4.4a, el cual es de amplio uso y reconocimiento para el licenciamiento de instalaciones nucleares. Dicho sistema cuenta con el código ORIGEN-ARP[4] entre sus módulos componentes para el calculo de quemado; sin embargo dicho código es de aplicación para reactores de potencia, por lo cual para su aplicación para un reactor de investigación como el RP-10 se hizo necesario desarrollar una librería de datos nucleares de uso específico. Usando el modulo SAS2H[5] se modelo el EC del RP-10 y se genero la librería de datos nucleares dependiente de la historia de irradiación para su uso en el ORIGEN-ARP. Se determina masa y actividad de los isótopos de uranio y de los trans uránicos presentes en los combustibles del RP1-0 al momento de su extracción definitiva y durante su evolución hasta 2.6 años después de ser retirado.

### El procedimiento de cálculo fue el siguiente:

(1) Usando el modulo SAS2H del sistema SCALE se modelo el EC normal del RP-10 en y se genero una librería de datos nucleares de los ECG con 55%, basado en la historia de irradiación del combustible para su uso en el código ORIGEN-ARP. La librería creada fue llamada mtr\_rp10.lib

(2) La librería creada fue adicionada en el archivo Arp.txt del SCALE para que sea invocada por el ORIGEN-ARP.

(3) Con el ORIGEN-ARP se modelo el caso de un ECG con 50% de quemado y se

determino concentración en gramos y actividad de los nucleidos componentes del ECG.

## 2. CONCLUSIONES

(1) La actividad de un ECG al ser retirado del núcleo es de 79 000 curies y luego de 2 años de 1800 curies. Considerando que hay tres elementos retirados definitivamente del núcleo, contamos actualmente con una actividad de 237 000 curies.

(2) Se conocen las concentraciones de uranio y de los trans uránicos de los elementos combustibles retirados definitivamente del núcleo del RP-10. En vista de la comparación relativa mostrada en la tabla 2, se puede afirmar que los modelos usados tienen buen grado de fiabilidad.

(3) Los resultados obtenidos en el presente trabajo servirán para caracterizar los ECG del RP-10 el cual es un paso previo para el diseño del almacenamiento interino así como para el transporte de los ECG del RP-10.

## Nomenclatura:

EC: Elemento Combustible

ECG: Elemento Combustible gastado

IV: Inventario radiactivo

## 3. REFERENCIAS

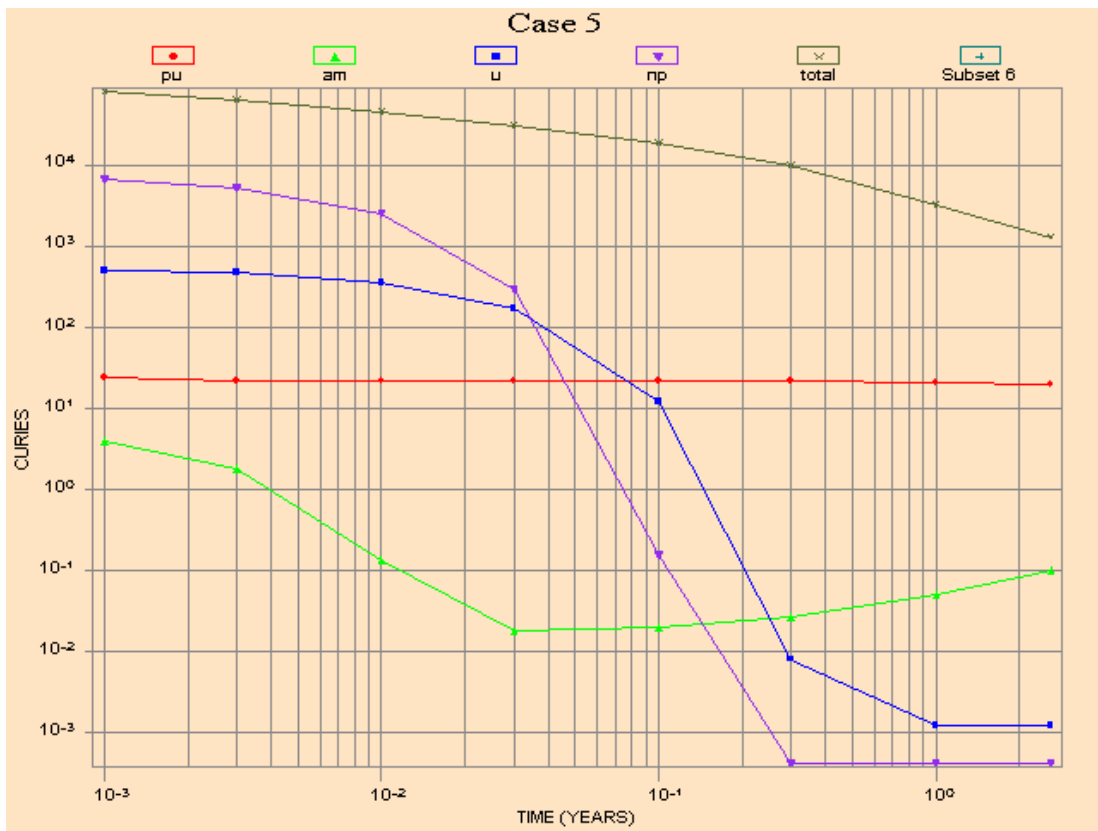
- (1) R. B. Pond and J. E. Matos, Nuclear mass inventory, photon dose rate and thermal decay heat of spent research reactor fuel assemblies (rev. 1), ANL/RERTR/TM-26, Argonne National Laboratory, Argonne, IL-USA.
- (2) T. Cuya, Calculo Neutrónico del núcleo 25 del RP-10, Reporte Técnico 006-2003 INST/DR/CASE/NT, IPEN, junio 2003.
- (3) SCALE: Standardized Computer Analysis for licensing Evaluation, ORNL.
- (4) S. M. Bowman, ORIGEN-ARP: Automatic Rapid Process for spent fuel depletion, decay and source term, Oak Ridge National Laboratory, USA, 2000.
- (5) O. W. Hermann, C. V. Parks, SAS2H: A coupled one-dimensional depletion and shielding analysis module, ORNL. USA, Marzo 2000.

**Tabla 1.** Masa de los isótopos del uranio y de elementos transuránicos en función al tiempo decaimiento para un ECG del RP-10 con 50% de quemado. \* Se tomo un biasing de 100 g de U-235.

Nucleido (g)*	Tiempo (años)							
	0.001	0.003	0.010	0.030	0.100	0.300	1.000	2.600
U238	4.00E+02	4.00E+02	4.00E+02	4.00E+02	4.00E+02	4.00E+02	4.00E+02	4.00E+02
U235	5.00E+01	5.00E+01	5.00E+01	5.00E+01	5.00E+01	5.00E+01	5.00E+01	5.00E+01
U236	7.95E+00	7.95E+00	7.95E+00	7.95E+00	7.95E+00	7.95E+00	7.95E+00	7.95E+00
pu239	2.64E+00	2.65E+00	2.66E+00	2.67E+00	2.67E+00	2.67E+00	2.67E+00	2.67E+00
pu240	5.48E-01	5.48E-01	5.48E-01	5.48E-01	5.48E-01	5.48E-01	5.48E-01	5.48E-01
np237	1.93E-01	1.93E-01	1.94E-01	1.97E-01	1.99E-01	1.99E-01	1.99E-01	1.99E-01
pu241	2.04E-01	2.04E-01	2.04E-01	2.04E-01	2.03E-01	2.01E-01	1.95E-01	1.80E-01
pu242	3.02E-02	3.02E-02	3.02E-02	3.02E-02	3.02E-02	3.02E-02	3.02E-02	3.02E-02
pu238	1.96E-02	1.97E-02	1.98E-02	1.99E-02	1.99E-02	2.00E-02	2.01E-02	2.00E-02
am241	4.42E-03	4.44E-03	4.51E-03	4.71E-03	5.40E-03	7.35E-03	1.40E-02	2.85E-02
am243	1.36E-03	1.36E-03	1.36E-03	1.36E-03	1.36E-03	1.36E-03	1.36E-03	1.36E-03
U234	9.76E-04	9.77E-04	9.78E-04	9.81E-04	9.92E-04	1.02E-03	1.13E-03	1.38E-03
am242m	5.57E-05	5.57E-05	5.57E-05	5.57E-05	5.57E-05	5.56E-05	5.54E-05	5.50E-05
u233	5.58E-07	5.58E-07	5.58E-07	5.59E-07	5.63E-07	5.76E-07	6.20E-07	7.28E-07
u232	3.83E-08	3.83E-08	3.85E-08	3.88E-08	3.96E-08	4.20E-08	4.93E-08	6.17E-08
np236	4.57E-08	4.57E-08	4.57E-08	4.57E-08	4.57E-08	4.57E-08	4.57E-08	4.57E-08
pu236	5.39E-08	5.40E-08	5.41E-08	5.38E-08	5.29E-08	5.05E-08	4.27E-08	2.91E-08
u237	6.12E-03	5.68E-03	4.37E-03	2.06E-03	1.49E-04	8.86E-08	5.90E-09	5.46E-09
np239	2.80E-02	2.26E-02	1.06E-02	1.24E-03	6.69E-07	1.17E-09	1.17E-09	1.17E-09
am242	4.36E-06	2.04E-06	1.44E-07	7.92E-10	7.18E-10	7.18E-10	7.15E-10	7.10E-10
np235	1.01E-09	1.01E-09	1.00E-09	9.91E-10	9.48E-10	8.34E-10	5.33E-10	1.92E-10
np238	2.88E-04	2.27E-04	9.82E-05	8.98E-06	2.09E-09	1.01E-11	1.01E-11	1.00E-11
pu237	1.38E-08	1.37E-08	1.31E-08	1.18E-08	7.94E-09	2.59E-09	5.12E-11	6.52E-15
pu244	7.53E-19	7.62E-19	7.95E-19	8.90E-19	1.22E-18	2.17E-18	5.48E-18	1.30E-17
pu243	9.34E-07	8.04E-08	1.51E-11	5.45E-21	5.11E-21	5.11E-21	5.11E-21	5.11E-21
am245	2.80E-23	2.78E-23	2.76E-23	2.72E-23	2.57E-23	2.20E-23	1.26E-23	3.56E-24
u231	4.79E-15	4.24E-15	2.78E-15	8.34E-16	1.23E-17	7.16E-23	3.43E-41	0.00E+00
u230	7.93E-17	7.73E-17	7.10E-17	5.57E-17	2.38E-17	2.08E-18	4.14E-22	1.44E-30
pu246	9.39E-27	9.02E-27	7.84E-27	5.38E-27	2.05E-27	1.26E-27	1.25E-27	1.25E-27
u240	1.48E-29	1.49E-29	1.55E-29	1.76E-29	2.41E-29	4.28E-29	1.08E-28	2.58E-28
am246	2.35E-29	2.26E-29	1.96E-29	1.35E-29	5.14E-30	3.14E-30	3.12E-30	3.12E-30
np240m	1.27E-31	1.28E-31	1.32E-31	1.50E-31	2.06E-31	3.65E-31	9.23E-31	2.20E-30
np240	1.35E-09	1.04E-14	1.42E-32	1.54E-33	2.12E-33	3.76E-33	9.50E-33	2.26E-32
pu245	7.87E-25	2.47E-25	4.31E-27	4.05E-32	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
am244m	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
am244	2.73E-07	8.19E-08	1.22E-09	7.22E-15	3.70E-33	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
U241	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
U239	3.83E-11	1.23E-24	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
np241	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
np236m	6.14E-10	3.58E-10	5.40E-11	2.44E-13	1.50E-21	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
am240	4.15E-11	3.27E-11	1.42E-11	1.30E-12	3.05E-16	1.30E-26	0.00E+00	0.00E+00
am239	6.41E-14	2.31E-14	6.44E-16	2.34E-20	6.78E-36	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00

**Tabla 2.** Comparación de los resultados encontrados en el IPEN con los de ORNL para un elemento combustible de U3O8 con 50% de quemado. \* Se tomo un biasing de 100 g de U-235.

Nucleido*	ANL (WIMS)	IPEN (ORIGEN-ARP)
U-235	50.0	50.00
U-236	8.0	7.95
U-238	402.0	400.00
Np-237	0.1	0.19
Pu-239	2.3	2.64
Pu-240	0.4	0.55
Pu-241	0.1	0.20



**Figura 1.** Evolución en el tiempo de la actividad del uranio y los elementos transuránicos después de su retiro definitivo del núcleo del RP-10.

# LA GESTIÓN DE LOS RESIDUOS RADIATIVOS, UN SERVICIO DE PROTECCIÓN AMBIENTAL

Rodríguez G. <sup>(1)</sup> [grodriguez@ipen.gob.pe](mailto:grodriguez@ipen.gob.pe); Cruz W. <sup>(1)</sup> [wcruz@ipen.gob.pe](mailto:wcruz@ipen.gob.pe)

*(1) Planta de Gestión de Residuos Radiactivos – IPEN / Lima, Perú*

## RESUMEN

Las actividades que realiza la Planta de Gestión de Residuos Radiactivos (PGRR), del Centro Nuclear con respecto a las fuentes radiactivas presentes en las actividades industriales de empresas usuarias se denomina Gestión de Residuos Radiactivos. Esta actividad posee características especiales según la naturaleza de los servicios y aplicación de las fuentes radiactivas. Lo más específico son las fuentes de Radio-226 y Tecnecio-99m. El proceso comienza con el requerimiento del servicio y culmina con la entrega de un informe en el que da cuenta de las condiciones de la gestión y la liberación del usuario de toda responsabilidad con respecto a la fuente radiactiva. Este artículo da cuenta de la importancia ambiental de estas actividades.

## ASPECTOS GENERALES

En los archivos de la PGRR se destaca que las primeras gestiones de material radiactivo provenientes de usuarios en la industria data de 1980, con empresas tipo Hierro Perú y Sider-Perú.

Es en 1993, en donde la actividad con fuentes radiactivas externas al centro nuclear alcanzan un número importante, como ocurrió con el servicio realizado a la Southern Perú Cooper Corporation de fuentes de Cesio-137. Posteriormente, fuentes de 700 Curies de Cobalto-60 a Hospitales de ESSALUD y una fuente aplicada a la irradiación de alimentos conteniendo 10 000 Curie de Cesio-137 usada por el sector agrario. Cobra notoriedad las acciones realizadas para el acondicionamiento de fuentes de Radio-226 utilizadas en braquiterapia y que contó con el apoyo del OIEA.

En términos de un inventario, la actividad retirada del ambiente es significativa y ello revela la importancia de la gestión como

medio de protección al personal, público y medio ambiente de los efectos que en condiciones del desuso pudiera ocasionar.

## 1. CARACTERÍSTICAS DE LAS FUENTES

Para ejecutar con éxito un servicio a usuarios externos es contar y analizar las características de las fuentes radiactivas. Se adjunta el Formato utilizado que es el primer documento de gestión.

Luego de estas especificaciones, por comparación de la información con la Base Datos proporcionado por la Autoridad Nacional (UNA), entidad que le compete una correcta administración y uso de las fuentes de radiación, podemos estar en condiciones de señalar que tales datos corresponden y que en caso de incoherencias, ausencias de información o como ocurre en algunos no estar registradas en la base de datos, la información será corroborada in situ.

En lo que hace a los servicios realizados, no se ha presentado el caso en que el usuario haya tenido la ligereza de abandonar o dejar abierta las fuentes radiactivas. Siempre se han encontrado bajo condiciones de aislamiento y hermetizado el bloqueo de la fuente. Otro es el caso de que usuarios faltante a sus compromisos y responsabilidades ambientales, han abandonado fuentes radiactivas sin poner en conocimiento a la AUNA.

## 2. PARÁMETROS DE PROTECCIÓN AMBIENTAL

Como las fuentes salen del ámbito aplicativo u ocupacional, la importancia en la gestión es de carácter ambiental, de protección de la salud pública en ese sentido interesa saber cuales son los parámetros a tomar en consideración con el fin de destacar su importancia.

Reducción de Dosis de Radiación  
Reducción de la Actividad  
Reducción del Número de Fuentes

Esta reducción adquiere su importancia en la medida que sus valores implican el encuentro de un adecuado equilibrio de coexistencia entre: a) el desarrollo tecnológico, b) justificación de la aplicación y c) aceptación pública de la radiación ionizante.

Medidas colaterales merecen destacar, se eliminan fuentes tóxicas, energía ionizante, emisores alfa, beta o gamma en resumen se aísla la peligrosidad del público al poseerlas sin los requisitos de un manejo seguro.

Pero, fundamentalmente por el período de semidesintegración, obliga a realizar un acondicionamiento apropiado a la naturaleza de las fuentes.

### **3. ASPECTOS OPERACIONALES**

Un itinerario del curso de la gestión podemos resumir en:

- a) Coordinación con los usuarios
- b) Verificación del listado de las fuentes en desuso.
- c) Monitoraje del equipo y zona de trabajo.
- c) Pesado individual de las fuentes radiactivas.
- d) Construcción de embalaje de madera para las fuentes radiactivas.
- e) Monitoraje y codificación de los bultos de madera.
- f) Acondicionamiento de los bultos.
- g) Monitoraje del vehículo de transporte en diferentes puntos.
- h) Llenado de los formatos respectivos de recolección de bultos, fuentes radiactivas y de transporte.
- i) Retiro de las fuentes hasta el Centro Nuclear.
- j) Caracterización de cada uno de las fuentes radiactivas.

- k) Codificación de cada fuente, de acuerdo al numero de gestión
- l) Acondicionamiento provisional
- m) Elaboración del informe y acta de recepción respectivamente

### **4. RESULTADOS**

Los resultados de la gestión se condensan en la documentación expresada en los Formatos. El aspecto cualitativo como la dimensión de los alcances radiológicos es informado y considerado para establecer el cumplimiento de la misión.

Entre los Formatos se tiene:

- a) Control de Fuentes Radiactivas en Desuso.
- b) Registro para el transporte de bultos radiactivos.
- c) Reporte de Prueba de Fuga.

### **5. CONCLUSIONES**

Las actividades de gestión demandan una constante interacción entre usuarios, público y entidad gestora.

En el centro de la preocupación de los entes involucrados, se encuentra la necesidad de la protección ambiental lo que va permitir realizar actividades seguras y oportunas de gestión con las fuentes de radiación.

El nivel de exigencia de la gestión radica en la naturaleza de las fuentes y los potenciales peligros que ello involucra.

### **6. REFERENCIAS**

- International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of radiation Sources; Safety Series N° 115, 1996.
- Informe Anual 2002, PGRR.



### ***III. Ciencia de los Materiales***

# SIMULACION CON MONTE CARLO DE LA ORDENACION LOCAL Y FORMACIÓN DE AGREGADOS EN UNA ALEACIÓN MODELO BIDIMENSIONAL

Rojas J. <sup>(1),(2)</sup> [rojast@unmsm.edu.pe](mailto:rojast@unmsm.edu.pe); Manrique E. <sup>(1)</sup> [evmc\\_pe@yahoo.com](mailto:evmc_pe@yahoo.com);  
Torres E. <sup>(1)</sup> [etorrest@unmsm.edu.pe](mailto:etorrest@unmsm.edu.pe)

(1) Facultad de Ciencias Físicas - Universidad Nacional Mayor de San Marcos / Lima, Perú

(2) Departamento de Física, IPEN / Lima, Perú

## RESUMEN

Mediante la simulación con el método de Monte Carlo se realizó una descripción atómica de la estructura y procesos de ordenación en el sistema Cu- Au en un modelo bidimensional. El modelo ABV de la aleación es un sistema de N átomos A y B, situados en los sitios de una red rígida con algunos sitios vacantes. En el modelo se asume la interacción par a primeros vecinos con una energía de ordenación constante  $J = 0.03$  eV. La dinámica fue introducida por medio de una vacancia que intercambia de lugar con los átomos vecinos más próximos. Las simulaciones fueron realizadas en una red cuadrada con 1024 y 4096 partículas, usando condiciones de frontera periódicas para evitar efectos de borde. Fueron calculados los dos primeros parámetros de corto alcance de Warren-Cowley como función de la concentración y temperatura. También se estudió las probabilidades de formación de diferentes agregados atómicos que constan de 9 átomos  $A_m B_{9-m}$  como función de la concentración de la aleación y en un amplio rango de temperaturas. En algunas regiones de temperatura y concentración se observa polimorfismo composicional y térmico.

Palabras claves: Monte Carlo, orden local, agregados, CuAu, Algoritmo de Metrópolis

## ABSTRACT

Using Monte Carlo simulation have been carried out an atomistic description of the structure and ordering processes in the system Cu - Au in a two-dimensional model. The ABV model of the alloy is a system of N atoms A and B, located in rigid lattice with some vacant sites. In the model we assume pair wise interactions between nearest neighbors with constant ordering energy  $J = 0.03$  eV. The dynamics

was introduced by means of a vacancy that exchanges of place with any atom of its neighbors. The simulations were carried out in a square lattice with 1024 and 4096 particles, using periodic boundary conditions to avoid border effects. We calculate the first two parameters of short range order of Warren-Cowley as function of the concentration and temperature. It was also studied the probabilities of formation of different atomic clusters that consist of 9 atoms as function of the concentration of the alloy and temperatures in a wide range of values. In some regions of temperature and concentration it was observed compositional and thermal polymorphism.

Keywords : Monte Carlo, Local Order, Cluster, CuAu, Metropolis Algorithm

## 1. INTRODUCCION

Las aleaciones binarias que tienden a ordenarse debajo de cierta temperatura  $T_c$ , tales como Cu - Au, 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 [1,2]. 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 o componentes de agregados [3], método de variación de agregados[4]. Dentro de este contexto la simulación mediante el método Monte Carlo (MC) es sumamente útil e importante [1,5].

Los estudios de simulación MC de procesos de ordenación y difusión tales como crecimiento de dominios[6] se basan en modelos de tipo Ising. Cuando se aplica el método MC a las aleaciones metálicas el mecanismo estándar de intercambio de spin (dinámica de Kawasaki de intercambio de pares de átomos), es irrealista. Actualmente se sabe que en estos sistemas la difusión procede por el mecanismo de difusión de vacancias. Flynn y Mcmanus [7] implementaron el mecanismo de vacancias en una primera simulación de Monte Carlo de una aleación binaria BCC. Posteriormente Beeler y Delaney [8] 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. Ellos también demostraron que detalles como el número de coordinación de la red o el rango de los saltos de la vacancia tiene una fuerte influencia en el movimiento de la vacancia. Mucho después, Fultz [9] indicó que el atrapamiento de la vacancia se incrementa con el desarrollo de la ordenación y que un bajo número de coordinación favorece el atrapamiento de la vacancia en las interfaces. Este mecanismo de intercambio de vacancia con un átomo vecino es la base del modelo ABV [10].

El objetivo del presente trabajo es estudiar mediante simulación computacional, en base al modelo ABV, el comportamiento de los parámetros de corto alcance y la probabilidad de formación de diferentes tipos de agregados en todo el intervalo de concentraciones y en el intervalo de temperaturas desde 200 hasta 1000 K. Finalmente, proponemos que en la variación de estos parámetros de orden y probabilidades con la temperatura y composición de la aleación en sistemas pequeños debe ponerse de manifiesto la micro heterogeneidad.

## 2. EL MODELO Y LA SIMULACION COMPUTACIONAL

### 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 periódica de  $N$  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 tipo A, por un átomo de tipo B o estar vacío, es decir las concentraciones de los átomos y vacancias satisfacen la condición:  $c_A + c_B + c_V = 1$ . El modelo ABV [10] puede usarse en redes de cualquier dimensión y diferentes tipos estructurales como fcc, bcc o hexagonal, caracterizados por su conectividad. En particular nosotros usamos en este trabajo una red 2D cuadrada simple.

En el marco de la aproximación de interacción de pares, con interacción a primeros vecinos la energía de la aleación binaria se expresa como :

$$H = u_{AA}^l N_{AA}^l + u_{AB}^l N_{AB}^l + u_{BB}^l N_{BB}^l + u_{AV}^l N_{AV}^l + u_{BV}^l N_{BV}^l + u_{VV}^l N_{VV}^l \quad (1)$$

donde  $u_{xy}^l$  son las energías de interacción efectiva entre los componentes  $x, y$ ;  $N_{xy}^l$  - el número de pares  $x, y$  ( $x, y = A, B$  o  $V$ ) entre los vecinos mas próximos. Notemos que las vacancias son tratadas como un tercer tipo de átomo. El Hamiltoniano (1) se puede describir como:

$$H = \sum_{i,j}^{pvp} \sum_{\alpha,\beta} u_{\alpha\beta} P_i^\alpha P_j^\beta \quad (2)$$

donde  $pvp$  en la sumatoria significa sumar sobre las posiciones vecinas mas próximas de los sitios  $i, j$ . Además  $P_i^x = 1$ , si el sitio es ocupado por una componente  $-x$  y cero en otro caso. Definiendo una variable de spin  $S_i$  para cada sitio  $i$  que toma los valores 1, -1, o 0 si el sitio es ocupado por una especie del tipo A, B o V respectivamente y teniendo en cuenta las relaciones siguientes:

$$P_i^A = (S_i^2 + S_i)/2; \quad P_i^B = (S_i^2 - S_i)/2; \quad P_i^V = -S_i^2 \quad (3)$$

substituyendo (3) en (2) se obtiene:

$$H = K^l \sum_{i,j}^{pvp} S_i^2 S_j^2 + J^l \sum_{i,j}^{pvp} S_i S_j + L^l \sum_{i,j}^{pvp} S_i^2 S_j + \Delta^l \sum_i S_i^2 + \mu^l \sum_i S_i + V_0^l \quad (4)$$

donde:

$$K^l = (u_{AA}^l + u_{BB}^l + 2u_{AB}^l)/4 + u_{VV}^l - u_{AV}^l - u_{BV}^l$$

$$J^l = (u_{AA}^l + u_{BB}^l - 2u_{AB}^l)/4$$

$$L^l = (u_{AA}^l - u_{BB}^l)/2 - (u_{AV}^l - u_{BV}^l)$$

$$\Delta^l = z_l(u_{AV}^l - u_{BV}^l - 2u_{VV}^l)/2$$

$$\mu^l = z_l(u_{AV}^l - u_{BV}^l)/2$$

$$V_0^l = 0.5Nz_l u_{VV}^l ; \quad (5)$$

$z_l$  - es el número de coordinación de la esfera  $l$ .

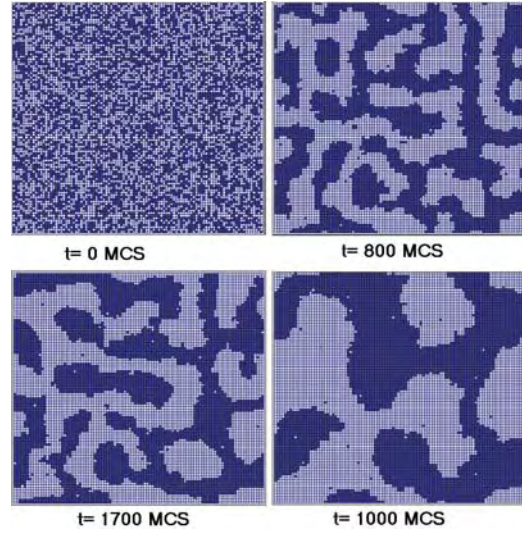
Bajo la hipótesis del presente estudio, que la concentración de la vacancias  $c_V$  es baja, los términos multiplicando K y L en la ecuación (4) son aproximadamente constantes y en este caso el único término relevante es el término que contiene J:

$$H = \sum_{i,j}^{pvp} J^l S_i S_j \quad (6)$$

que es un Hamiltoniano tipo modelo de Ising.

En el presente trabajo utilizamos el modelo estándar ABV, Ec. (6) para la descripción de la aleación binaria con una vacancia e interacción a primeros vecinos mas próximos. El sistema consta de N átomos ubicados en una red cuadrada bidimensional ( $z_1 = z_2 = 4$ ) con L sitios por lado. Se ha estudiado las aleaciones con  $c_V = 1/L^2$  y  $c_B = 0.25, 0.35, 0.4, 0.5$  a diferentes temperaturas. Con la finalidad de minimizar los efectos de superficie se ha utilizado condiciones de frontera periódicas. Para el caso de una sola vacancia se puede diseñar un algoritmo rápido y simple. Debido a que no existe interacción vacancia-vacancia, el único termino relevante en la ecuación (4) es el termino Ising, por lo tanto usamos la Ec.(6). Hemos seleccionado el valor de  $J=0.03$  eV ( valor usado en el trabajo de tesis de uno de los autores para simular la estructura ordenada  $L1_2$  en el sistema  $Cu_3Au$  que

reproduce correctamente los diagramas de fase experimentales para dicho sistema).



**Figura 1.** Evolución temporal del sistema con  $L = 100$ ,  $c_B = 0.5$  a partir de una configuración inicial desordenada al estado de equilibrio a la temperatura de 380 K.

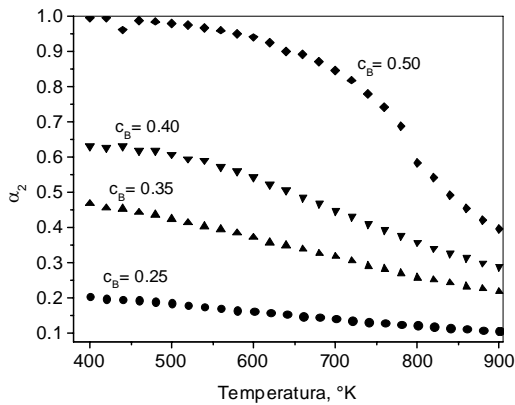
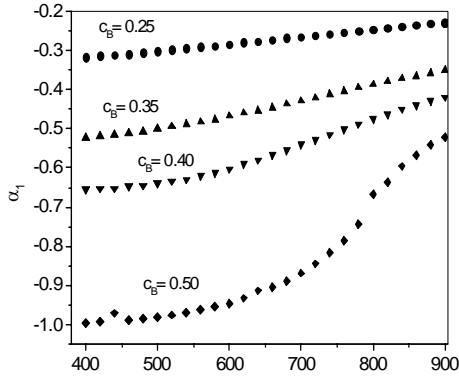
Usando el método MC simulamos la colectividad canónica del sistema definido por la Ec. (6). La dinámica del sistema se introduce mediante el movimiento de la vacancia a primeros y segundos vecinos mas próximos con igual probabilidad  $p_1 = p_2 = 0.5$ . Los saltos de la vacancia a segundos vecinos se incluye con la finalidad de evitar el entrapamiento del sistema en estados metaestables. El muestreo de las configuraciones representativas se realiza mediante el algoritmo de Metrópolis[11], donde la probabilidad de aceptación de los intercambios de la vacancia con los átomos

$$\text{vecinos es: } P_{acep} = \min \left\{ 1, \exp\left(\frac{-\Delta H}{kT}\right) \right\}$$

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

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, correspondiente a alta

temperatura. En el caso de aleaciones de composición estequiométrica con valores de  $J > 0$  y temperaturas menores que  $T_c$ , como es de esperar, se observa ordenación de largo alcance. En ambos casos, para sistemas relativamente pequeños ( $N \approx 10000$ ) el equilibrio térmico se alcanza luego de aproximadamente 1000 pasos MC.



a)

b)

**Figura 2.** Variación en función de la temperatura de los parámetros de orden local en diferentes aleaciones.  $N = 4096$ , MCS = 10000. a)  $\alpha_1$ , b)  $\alpha_2$

A temperaturas  $T > T_c$  el orden químico de Largo Alcance desaparece, sin embargo la correlación de corto alcance se mantiene hasta altas temperaturas [12]. Con el fin de cuantificar la correlación local, determinamos los parámetros de corto alcance de Warren–Cowley [4], definidos como:

$$\alpha_l = 1 - \frac{n_B^{(l)}}{c_B z_l} = 1 - \frac{p_{AB}^{(l)}}{c_B} \quad (7)$$

donde  $n_B^{(l)}$  es el número de átomos de tipo B en la esfera ( $l$ );  $z_l$  es el número de coordinación de la esfera  $l$ ;  $p_{AB}^{(l)}$  es la probabilidad de hallar un átomo de tipo B a una distancia  $\vec{r}_l$  del átomo A tomado como centro, promediado sobre todos los átomos A en la red.

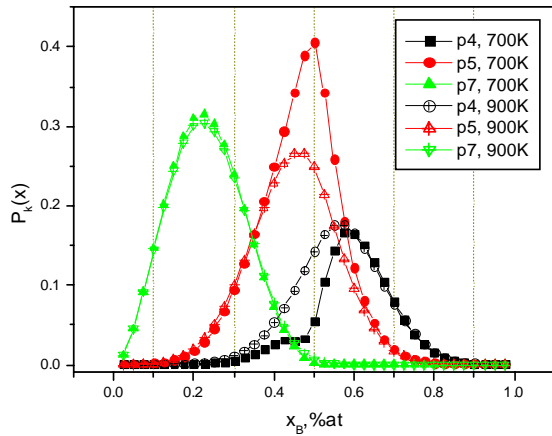
La fig.2 muestra la variación de los primeros parámetros de corto alcance  $\alpha_1$  y  $\alpha_2$  con la temperatura en aleaciones de distintas composiciones. Se puede apreciar que el comportamiento de la correlación local en diferentes aleaciones no tiene el mismo carácter. El signo negativo de  $\alpha_1$  y positivo de  $\alpha_2$  indica que los átomos tienen como primeros vecinos fundamentalmente átomos de otro género, mientras que como segundos vecinos del mismo género. La dependencia de  $\alpha_1$  en función de la concentración a diferentes temperaturas presenta un máximo bastante pronunciado en la región de  $c_A = 0.5$ . Además, la disminución del valor de estos máximos con la variación de la temperatura no es lineal. Estos resultados pueden ser interpretados dentro del modelo de la constitución por agregados de las aleaciones [3] De acuerdo a este modelo, a condiciones externas dadas, la aleación está constituida por un conjunto de diferentes clusteres o agregados atómicos  $A_n B_m$ . Los agregados de  $(n+m)$  átomos se diferencian por su composición y configuración, y como consecuencia por sus propiedades. Para una aleación dada, cada tipo de cluster tiene cierta probabilidad de formación  $p_k$ , que depende de la temperatura y concentración de los componentes. Entonces, en el marco de este modelo, cualquier propiedad  $f$  de la aleación se puede expresar como

$$f(c) = \sum_k p_k(c, T) f_k \quad (8)$$

donde  $f_k$  es la propiedad del cluster de tipo  $k$ .

En los sistemas binarios con solubilidad ilimitada en el estado sólido, el tamaño de los agregados abarcan solamente los

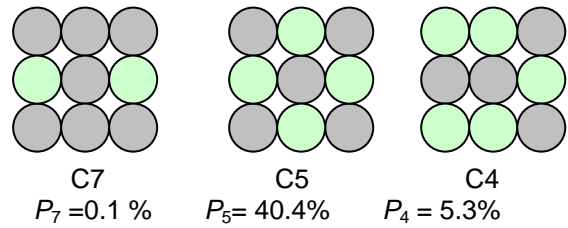
primeras esferas de coordinación. En una primera aproximación suponemos que en el modelo bidimensional del sistema estudiado, el tamaño de los agregados está limitado por las dos primeras esferas de coordinación, es decir constan de 9 átomos. Por lo tanto es posible la formación de 9 tipos (C1,C2,..C9) de agregados que se diferencian solo por sus composiciones, tales como:  $A_1B_8$ ,  $A_2B_7$ ,...,  $A_8B_1$ .



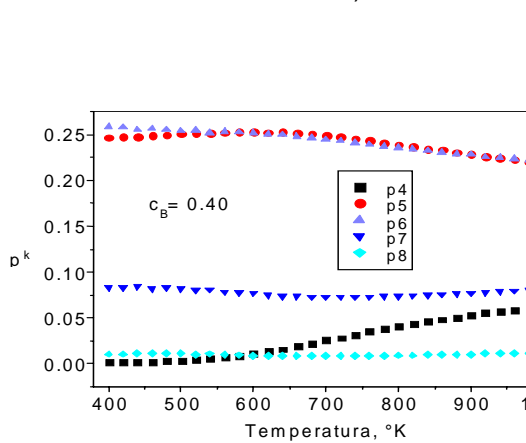
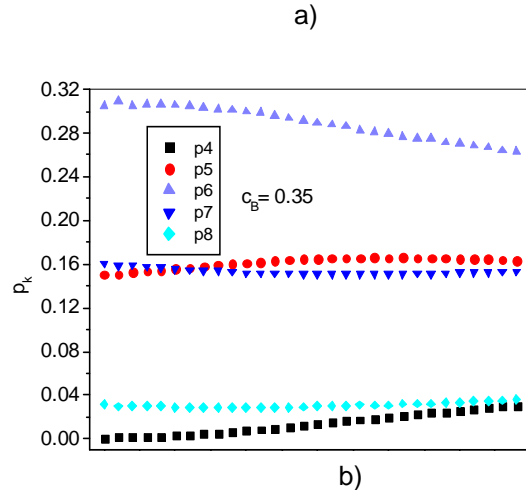
**Figura 3.** Probabilidad de formación de los agregados C4, C5 y C7 a temperaturas 700K y 900 K.  $N = 4096$ ,  $MCS = 10000$ .

Directamente de la simulación computacional se puede determinar numéricamente las probabilidades de formación de los agregados de cualquier tamaño, composición y configuración. Suponemos, para el sistema estudiado, que la composición del agregado influye en mayor grado sobre sus propiedades, que la configuración. Por esta razón en el presente trabajo nos limitamos a determinar agregados que se diferencia solo por su composición. La Fig. 3 muestra las probabilidades de formación de tres tipos de agregados como función de la concentración de la aleación a 700 °K y 900 °K. Las probabilidades de los otros agregados no se muestran para no complicar la figura. De la figura podemos observar en primer lugar, que cada tipo de agregado a una temperatura determinada alcanza su máxima probabilidad de formación a una composición determinada de la aleación; en segundo lugar mientras que las probabilidades de formación de algunos agregados no varía con la temperatura (por ejemplo el C7), de otras en cambio, varían tanto en magnitud como la posición del máximo (C5 se desplaza hacia concentraciones menores de B).

También se puede notar, por ejemplo para la concentración  $c_B = 0.5$ , la probabilidad de formación del agregado C4 aumenta desde 5.3% hasta 14.2 % cuando la temperatura se eleva desde 700 hasta 900°K, mientras que la probabilidad de P5 disminuye desde 40.4% hasta 24.8 % y para esta aleación a cualquier temperatura los agregados del tipo C5 prevalecen sobre los otros. En la figura 4 presentamos esquemáticamente una de las posibles configuraciones de los agregados C4, C5 y C7 y sus respectivas probabilidades de formación en la aleación con  $c_B = 0.5$  a temperatura de 700 K.



**Figura 4.** Composición de tres agregados diferentes y sus probabilidades de formación en la aleación  $A_{0.5}B_{0.5}$  a 700 K.



**Figura 5.** Variación de las probabilidades de formación de los diversos agregados en función de la temperatura : a) –  $c_B = 0.35$ , b) –  $c_B = 0.4$

Los resultados obtenidos indican la existencia del polimorfismo composicional, es decir con la variación de la concentración de la aleación los agregados de diferentes tipos se hacen mas predominantes Como se puede observar de la fig. 5, donde se muestra la dependencia de las probabilidades de formación de los agregados en función de la temperatura, el comportamiento es peculiar para cada tipo de agregado. Aquí también se nota el polimorfismo térmico de los agregados de diferentes tipos (a  $T = 475$  K ocurre el cambio del predominio de C3 sobre C4).

#### 4. RESUMEN

En resumen, usando un modelo simple ABV mediante la simulación computacional con Monte Carlo se logró estudiar el comportamiento de los parámetros de orden local y probabilidades de formación de diferentes tipos de agregados, tanto en función de la temperatura como de la concentración. El sistema estudiado sufre una transición de fase orden – desorden a  $T_c = 658$  K para la concentración de  $c_B = 0.5$ , la cual está de acuerdo con los resultados de otros trabajos teóricos y experimentales [13,14]. Cabe mencionar también que a fin de evitar el atrapamiento de la vacancia en regiones ordenadas (lo cual se manifiesta como estados metaestables) es necesario permitir saltos a segundos vecinos próximos.

Conociendo las propiedades concretas de los agregados, por ejemplo sus propiedades eléctricas, mediante la formula (7) se puede calcular la propiedad de la aleación. El comportamiento peculiar de las propiedades de las soluciones sólidas en función de concentración [12] puede interpretarse como una consecuencia del polimorfismo composicional y térmico de formación de diferentes agregados atómicos en las aleaciones.

#### 5. REFERENCIAS

- [1] Ziman J. Models of Disorder. Cambridge University Press, London (1979).
- [2] Weinkamer R, Fratzl P, Sepiol B, Vogl G. Phys. Rev. B, Vol.58, N 6 (1998)
- [3] Bogdanovich M, Men A. Zhurnal Fis. Jim. Vol. 54 N 11 (1980) 2973-2978
- [4] Clapp Ph. Phys. Rev. B, 4 N 2 (1971) 255-270
- [5] Binder K. Monte Carlo methods in Statistical Physics. Topics in current Physics. Vol. 7. (1986) Springer, Berlin
- [6] Sadiq A y Binder K, Phys. Rev. Letter, 51, 674 (1983).
- [7] Flynn P y Ma Manus G, Phys. Rev. 124, 64 (1961).
- [8] Beeler J. Binder K, Phys. Rev. Letter, 51, 674 (1983). y J. A. Delaney, Phys. Rev. 130, 962 (1963).
- [9] Fultz B, J. Chem. Phys., 87, 1604 (1987).
- [10] Yaldram K, Binder K, Int. J. Mod. Phys. C 4, 701 (1993).
- [11] Metrópolis N, Rosenbluth A, Rosenbluth M, Teller A. J. Chem. Phys. 34 N3 (1953) 1087-1092.
- [12] Rojas J.A. Peculiaridades en la dependencia propiedad versus concentración de las soluciones metálicas homogéneas. Tesis de PhD, Universidad Estatal de Jarkov, Ucrania (1985).
- [13] Vives E, Planes A. International J. of Modern Phys. 4, N 3 (1992)
- [14] White R, Geballe T. Long Range Order In Solids. Acad. Press, 1979.



# PRODUCCION DE CENTROS DE COLOR EN EL TOPACIO NATURAL IRRADIADO CON NEUTRONES EN EL NUCLEO DEL REACTOR RP-10

Gomez J.<sup>(1)</sup> [JJGB76@yahoo.com](mailto:JJGB76@yahoo.com); Solis J.<sup>(1),(2)</sup> [jsolis@uni.edu.pe](mailto:jsolis@uni.edu.pe);  
Parreño F.<sup>(1)</sup> [fparreno@ipen.gob.pe](mailto:fparreno@ipen.gob.pe); Lazaro G.<sup>(1)</sup> [glazaro@ipen.gob.pe](mailto:glazaro@ipen.gob.pe);  
Vela M.<sup>(1)</sup> [mvela@ipen.gob.pe](mailto:mvela@ipen.gob.pe)

(1) Instituto Peruano de Energía Nuclear / Lima, Perú

(2) Facultad de Ciencias – Universidad Nacional de Ingeniería / Lima, Perú

## RESUMEN

Se obtuvieron cristales de topacio azul y celeste, irradiando cristales de topacio incoloros, con neutrones dentro del núcleo del reactor RP-10. La coloración depende del flujo de neutrones, tiempo de irradiación y tipo de can utilizado.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los cristales de topacio tienen una estructura cristalina ortorrómbica. El topacio natural está compuesto de Fluorosilicato de Aluminio con una composición general de  $Al_2(SiO_4)(F,HO)_2$  [1]; en la naturaleza la mayoría de los topacios son incoloros. Pueden producirse centros de color en un topacio mediante: (a) la irradiación con rayos X, gamma, neutrones, electrones o ultra violeta (UV); (b) el calentamiento de la gema en un vapor de haluro alcalino de un metal alcalino. Estos tratamientos experimentales proporcionan una manera artificial de colorear las gemas [2, 3]. El precio de las gemas se incrementa por el color de las mismas, es decir se le da un valor agregado.

En nuestro caso particular, el mecanismo de producción de centros de color consistió en la irradiación de los topacios con neutrones epitérmicos, provenientes del núcleo del reactor RP-10, con la finalidad de obtener coloraciones: azul, celeste y verde claro. Las radiaciones ionizantes suministran la energía necesaria para que los electrones, originalmente ligados a los átomos del cristal, puedan ocupar niveles de energía que se encuentran dentro de la banda prohibida, produciendo defectos en el cristal de topacio, creando así, centros de color. El estudio de la coloración de las gemas se realizó por espectroscopia visible. Las bandas de absorción de energía en el rango visible (300 – 800 nm.) son producidos por estos centros de color en el topacio natural [4].

En la sección 2 se presenta el procedimiento experimental de la producción de centros de color en los cristales de topacio. Se describe el diseño de los diferentes porta muestras (canes) utilizados; la ubicación en el núcleo del reactor para la búsqueda de un flujo de neutrones óptimo y tiempos de irradiación y la descripción de la espectroscopia visible. En la sección 3 se presentan los resultados de la absorción óptica de los cristales de topacio coloreados artificialmente.

## 2. EXPERIMENTAL

Los cristales de topacio natural incoloro utilizados tienen unas dimensiones aproximadas de 6.0 x 8.0 x 4.0 mm y fueron irradiados en diferentes posiciones del núcleo del reactor peruano RP-10, con tiempos de irradiación entre 8 y 25 horas, y flujos neutrónicos entre  $10^{12}$  y  $10^{14}$  neutrones/cm<sup>2</sup>.s.

### 2.1 Porta muestras (“Canes”) para la irradiación de los Cristales de Topacio

Se usaron dos tipos de canes, uno que es de Aluminio puro (can normal), el cual es usado convencionalmente en la producción de radioisótopos (Fig. 1(a)); y otro que se muestra en la Fig. 1(b), can de prueba, que está construido de Aluminio y una película de 1 mm de Cadmio. Este último fue diseñado especialmente para dar paso solamente a los neutrones epitérmicos.

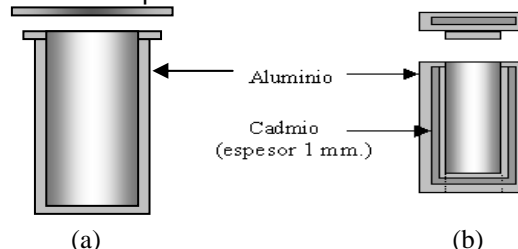


Figura 1. Esquema del can normal (a) y can de prueba (b).

Ambos tipos de canes, conteniendo en su interior un promedio de 2 a 3 cristales de topacio, son sellados e introducidos en un dispositivo como el que se observa en la Fig. 2. La posición del can se especifica por  $xn$  o  $yn$ , donde  $n$  es el número de la posición en que se encuentra. Este portacanes es posteriormente insertado en una caja de irradiación y colocada en una de las posiciones de irradiación del núcleo (ver Fig. 3).

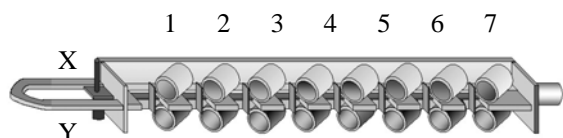


Figura 2. Portacanes de las Cajas de Irradiación.

## 2.2 Irradiación de los Cristales de Topacio en el Núcleo del Reactor RP-10

En la figura 3, se tiene el esquema del núcleo del reactor RP-10 visto desde arriba, donde podemos ubicar principalmente las posiciones de las diferentes cajas de irradiación utilizadas.

Para la medición del flujo neutrónico epitérmico y térmico se utilizó hojuelas de oro, mientras que para el flujo epitérmico se colocaron hojuelas de oro con un recubrimiento de 1 mm de Cadmio; estas hojuelas se colocaron juntamente con las gemas.

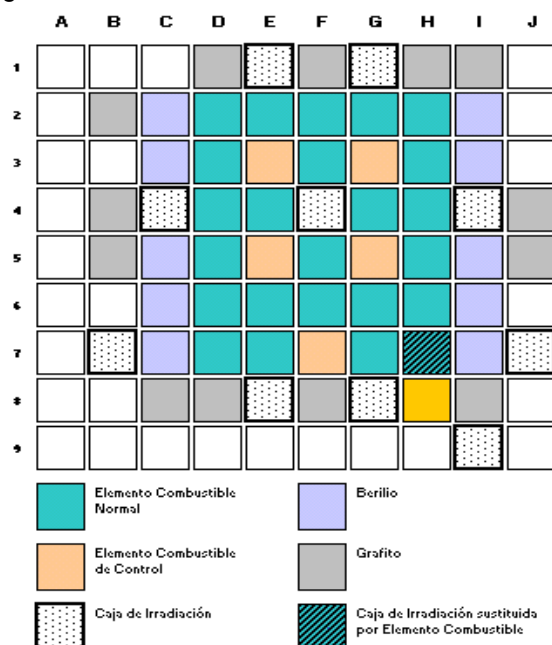


Figura 3. Esquema del núcleo del Reactor RP-10 (vista superior).

En 1996 se realizó la primera irradiación de cristales de topacio en la posición H7/4x [5], esta caja de irradiación fue reemplazada por un elemento combustible en 1997. Se utilizaron posiciones en el núcleo con los mayores flujos neutrónicos como el E1/(4x, 4y) y G1/(4x, 5x), según las mediciones de la razón del flujo neutrónico epitérmico y térmico, y la razón de cadmio [6,7]. La posición I9/(4x, 4y) fue escogida porque esta alejada del núcleo y tiene un menor flujo de neutrones.

## 2.3 Espectroscopia de Absorción Óptica

El color que se ve de un material depende de la radiación visible que absorbe (ver Tabla 1). El estudio de la absorción óptica en función de la longitud de onda de la gema nos da una medida mas precisa del color de la misma que el ojo humano. La absorbancia en función de la longitud de onda se midió exponiendo el cristal de topacio a un haz de radiación monocromática, en un intervalo aproximado de longitudes de onda,  $\lambda$ , de 330 a 800 nm. Se uso como referencia un topacio sin irradiar. Las mediciones se hicieron con un monocromador Optometrics, modelo 2/RS-232.

Tabla 1. Color observado y absorbido por un material.

$\lambda$ (nm)	Color Absorbido	Color Observado
380 – 420	Violeta	Verde-Amarillo
420 – 440	Violeta-Azul	Amarillo
440 – 470	Azul	Anaranjado
470 – 500	Azul-Verde	Rojo
500 – 520	Verde	Púrpura
520 – 550	Amarillo-Verde	Violeta
550 – 580	Amarillo	Violeta-Azul
580 – 620	Anaranjado	Azul
620 – 680	Rojo	Azul-Verde
680 – 780	Púrpura	Verde

## 3. RESULTADOS

Se realizó una evaluación en las posiciones del núcleo del reactor RP-10 mediante la irradiación de ambos tipos de canes, donde se midió la razón de cadmio, que es el cociente entre las actividades del oro con y sin recubrimiento de Cd. En el can normal de Aluminio se calculó la razón del flujo neutrónico epitérmico y térmico. En la Tabla 2 se tiene las razones de cadmio medida en ambos tipos de canes utilizados. En

los canes de prueba se tiene que la mayoría de los neutrones son epitérmicos.

La Tabla 3 muestra los parámetros de irradiación en el núcleo del reactor RP-10 de los diferentes cristales topacios estudiados. En esta tabla se encuentran los 4 diferentes grupos de irradiación, en cada grupo fueron irradiadas entre 3 y 24 gemas. Los parámetros de Irradiación fueron: la posición en el núcleo de las cajas de irradiación convenientes, el intervalo de tiempo y de potencia de irradiación en el núcleo del reactor RP-10, y la razón de los flujos neutrónicos epitérmicos y térmicos.

**Tabla 2.** Razón de Cadmio en las posiciones de irradiación.

Posición en el Núcleo	Can normal	Can de prueba
H7-4x	3.81	1,055
I9-3y	9.72	1,24
G1-4x	3.68	1,051
E1-4x	3.58	1,048

**Tabla 3.** Parámetros de Irradiación en las posiciones del núcleo utilizadas.

Posición en el núcleo	T irrad. (h)	Potencia (MW)	$\phi_{epi}/\phi_{th}$ ( $\times 10^{-2}$ )
H7	8	7	4,71
I9	16 – 25	7 – 10	1,38
G1	12 – 16	7 – 10	3,76
E1	12	7.5	5,40

En la tabla 4 se muestra los colores del topacio observados a simple vista después de la irradiación y las diferentes condiciones de irradiación utilizadas en el núcleo del reactor.

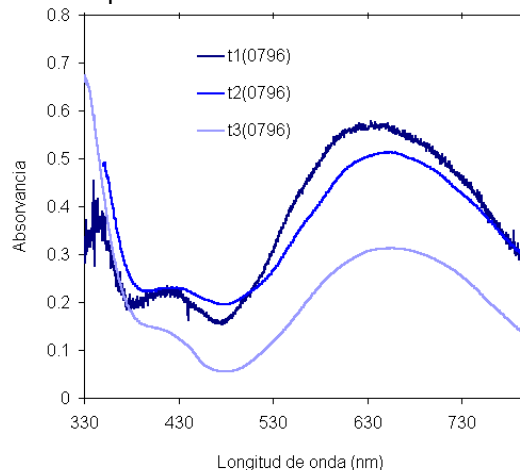
**Tabla 4.** Colores observados después de irradiar los topacios en el Núcleo del Reactor RP-10.

Topacios	Posición en el núcleo	Potencia (MW)	T irrad. (h)	Color observado
t1(0796) <sup>b</sup>	H-7/4x	7,0	8	Azul
t2(0796) <sup>a</sup>	H-7/4x	7,0	8	Azul
t3(0796) <sup>a</sup>	H-7/4x	7,0	8	Azul
t1-2(0102) <sup>a</sup>	I-9/4x	7,5	25	Celeste
t2-2(2601) <sup>a</sup>	I-9/4y	10,0	16	Celeste
t1-1(2302) <sup>a</sup>	G-1/4x	7,0	16	Azul
t1-2(2302) <sup>a</sup>	G-1/4x	7,0	16	Azul
t2-1(0604) <sup>b</sup>	G-1/5x	7,5	16	Azul
t2-2(0604) <sup>b</sup>	G-1/5x	7,5	16	azul
t1-1(0106) <sup>b</sup>	E-1/4x	7,5	12	Azul
t2-2(0106) <sup>b</sup>	E-1/4y	7,5	12	Azul
t2-4(0106) <sup>b</sup>	E-1/4y	7,5	12	Azul

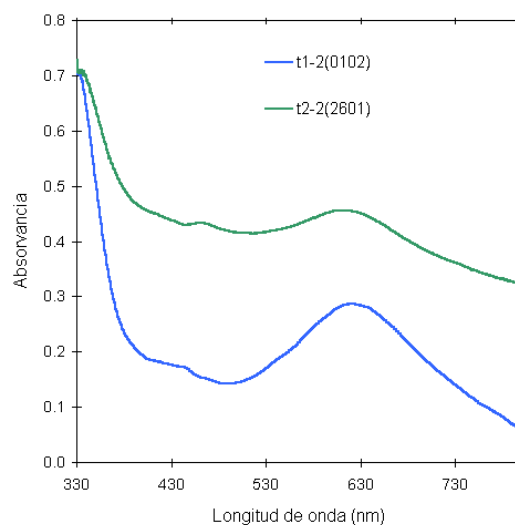
a. Irradiados en canes de prueba.

b. Irradiados en canes normales.

En las figuras 4, 5, 6 y 7 se observan los espectros de absorbanza de los cristales de topacio irradiados que corresponden a las cajas de irradiación H7, I9, G1 y E1, respectivamente. Estos espectros tienen como referencia un cristal de topacio natural incoloro.



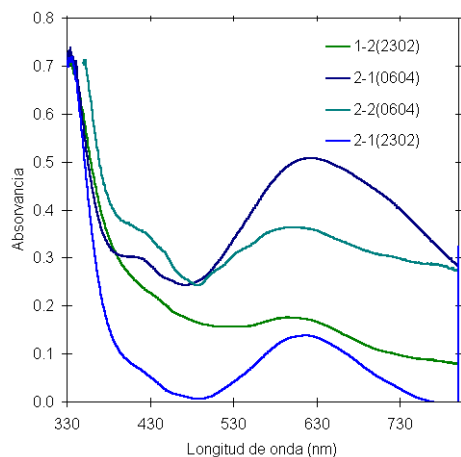
**Figura 4.** Espectro de absorbanza de los cristales de topacio irradiados en la posición H7 del núcleo del reactor RP-10.



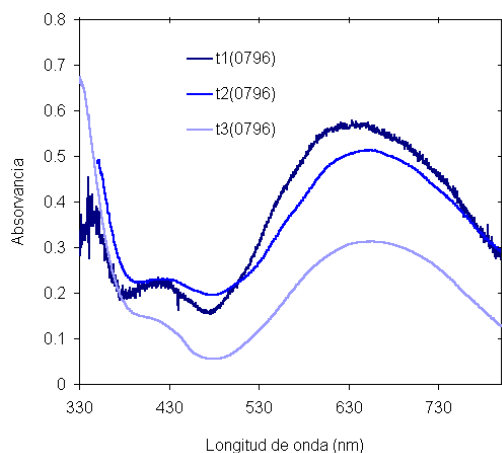
**Figura 5.** Espectro de absorbanza de los cristales de topacio irradiados en la posición I9 del núcleo del reactor RP-10.

El color de los cristales es complementario al color absorbido, como se muestra en la Tabla 1. La variación de los picos de absorbanza se debe a las diferentes intensidades del tono de un color, estas diferencias se observaron en los 4 grupos de irradiación. Debido a que las caras de los topacios no permiten medir bien sus espectros de absorción se definió un parámetro como la diferencia de absorbanza, que es la diferencia del valor de la máxima absorbanza menos el valor que tiene en 500 nm. Se obtuvieron cristales de topacio azul y celeste, estos

son detallados en la Tabla 5. En la irradiación realizada en la caja I9 (Fig. 5) se obtuvieron bandas de poca intensidad definiendo como celeste (semitransparentes), mientras que la irradiación en las cajas H7, G1 y E1 (Fig. 4, 6 y 7) se obtienen bandas mas definidos mostrando colores de tonos bastante intensos.



**Figura 6.** Espectro de absorción cristales de topacio irradiados en la posición G1 del núcleo del reactor RP-10.



**Figura 7.** Espectro de absorción de cristales de topacio irradiados en la posición E1 del núcleo del reactor RP-10.

En la tabla 5 se detallan picos de la banda de absorción cuantificados en las longitudes de onda que se encuentran dentro del espectro visible. La diferencia que existe entre las absorbancias por cada cristal de topacio irradiado nos entrega un valor que servirá para diferenciar entre las intensidades de los tonos claros y oscuros del color obtenido por cada cristal de topacio irradiado, además del cristal de topacio natural en el que observa que la longitud de onda de absorción esta dentro del intervalo

de los cristales de topacio irradiados de color celeste.

Según la Tabla 5, las diferentes intensidades de tonos de coloración por irradiación en el núcleo del reactor RP-10 de los cristales de topacio son dadas por el parámetro de la diferencia de las absorbancias máximas y mínimas de la absorción de la luz. Las intensidades de tonos claros están en un rango en diferencia de absorbancia óptica entre 0,02 y 0,14, mientras que la intensidad de los tonos oscuros se encuentra en el rango de 0,15 y 0,45. Este parámetro se obtuvo luego de un estudio estadístico de los diferentes topacios irradiados en el núcleo del reactor RP-10.

**Tabla 5.** Intensidad de Colores Posibles de los Cristales de topacio Irradiados.

Topacios	$\lambda(\text{nm})$ Absorción	Dif. Absorbancia	Color
t1(0796)	635	0,42	azul
t2(0796)	655	0,32	azul
t3(0796)	660	0,26	azul
t1-2(0102)	620	0,14	celeste
t2-2(2601)	610	0,04	celeste
t1-1(2302)	610	0,22	azul
t1-2(2302)	600	0,02	celeste
t2-1(0604)	620	0,45	azul
t2-2(0604)	600	0,15	celeste
t1-1(0106)	620	0,52	azul
t2-2(0106)	600	0,11	celeste
t2-4(0106)	620	0,55	azul

Algunos de los topacios irradiados, además de uno sin irradiar, se pueden observar en la Figura 8.



**Figura 8.** Fotografía de (a) un topacio incoloro, antes de ser irradiado y topacio (b) azul, y (c) celeste obtenidos después de ser irradiados en el reactor RP-10.

## 4. CONCLUSIONES

Como se observan en algunos de los espectros, existe una diferencia con respecto a la intensidad de la banda de absorbanza, dando como resultado, intensidades en tonos de coloración como el azul y el celeste [8].

La irradiación de cristales de topacio con neutrones en el núcleo de un reactor nos proporciona una manera artificial de colorear estas gemas.

El can adecuado para producir centros de color, es el de prueba, hecho con Aluminio y Cadmio que no da una razón de cadmio de aproximadamente 1, lo que nos indica que la mayoría de neutrones que interactúan con el topacio son epitérmicos, produciéndose en forma mas eficiente centros de color.

Además las cajas de irradiación adecuada para estos ensayos serian E1 y G1 por tener una razón de flujos neutrónico epitérmico y térmico altos.

## 5. REFERENCIAS

- [1] Ivanov, Y., Velokoneva, E., Potras, J., Structural Science, Acta Crystallographic Section B, Vol. B54, p 774-781, December 1998.
- [2] Nassau, K., Gems Enhancement, Butterworth-Heinemann, p 45-46, London, 1984.
- [3] Castagnet, A.C., Rocca, H.C., Rostelato, M.E., Inducao de Cor, por Irradiacao, em Cristais de Topazio, Departamento de Aplicacoes na Engenharia e na industria, CNEN/SP IPEN 264, Outubro 1989.
- [4] Schulman, J.H., Compton, W.D., Color Centers in Solids, Pergamon Press, p 41, N.Y., 1963.
- [5] Nieto, M. y Bruna R. "Producción de topacios irradiados en el reactor RP-10", IPEN-DGI-GCAS, Julio-1996.
- [6] Bruna, R., Vela, M., Parreño, F., y Gomez, J. "Medición de Flujo Neutrónico Térmico y Epitérmico en las cajas de Irradiación del Núcleo 20, 21, 22 y 23 del Reactor RP-10". IPEN-DGI-CASE, Febrero-2000, Noviembre-2000, Julio-2001, Febrero-2002.

[7] Gomez, J. y Parreño, F. "Medición de Flujos Térmico y Epitérmico en los diferentes niveles axiales de la caja de Irradiación G1 en el núcleo 22 de l reactor RP-10". IPEN-DGI-CASE, Junio-2001.

[8] Marquez, C., Santos, L., Falcao, A.N., Silva, R.C., Alves, E., Luminescence Studies in Colour Centres Produced in Natural Topaz, Journal of Luminescence 87-89, p 583-585, 2000.

# ACTIVACION DEL TOPACIO NATURAL IRRADIADO POR NEUTRONES EN EL NUCLEO DEL REACTOR RP-10

Gomez J. <sup>(1)</sup> [JJGB76@yahoo.com](mailto:JJGB76@yahoo.com); Parreño F. <sup>(1)</sup> [fparreno@ipen.gob.pe](mailto:fparreno@ipen.gob.pe);  
Lazaro G. <sup>(1)</sup> [glazaro@ipen.gob.pe](mailto:glazaro@ipen.gob.pe); Vela M. <sup>(1)</sup> [mvela@ipen.gob.pe](mailto:mvela@ipen.gob.pe)

(1) Departamento de Cálculo, Análisis y Seguridad – IPEN / Lima, Perú

## RESUMEN

Se obtuvieron cristales de topacio activados al ser irradiados con neutrones dentro del núcleo del reactor RP-10. La activación depende del flujo de neutrones, por ello se desarrolló portamuestras (canes de irradiación) para absorber que son los causantes de la activación.

## 1. INTRODUCCIÓN

El cristal de topacio natural esta compuesto de Fluorosilicato de Aluminio con una composición general de  $Al_2(SiO_4)(F,HO)_2$  [1]. Las radiaciones ionizantes suministran la energía necesaria para realizar transformaciones nucleares, es decir, el paso de los átomos del cristal a un estado radioactivo y posteriormente su desintegración radiactiva. El estudio de la activación de los cristales de topacio se realizo por espectrometría gamma.

En la sección 2 se presenta el procedimiento experimental del análisis de la activación en los cristales de topacio. Se describe el diseño de los diferentes canes para la absorción de neutrones térmicos que podrían activar el cristal de topacio; la ubicación en el núcleo del reactor para la búsqueda de un flujo de neutrones óptimo y la descripción de la espectrometría gamma. En la sección 3 se presentan los resultados de los diferentes isótopos activados de los canes y los cristales de topacio irradiados en el reactor RP-10.

## 2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Los cristales de topacio utilizados tienen volumen aproximado de  $194 \text{ mm}^3$  y fueron irradiados en diferentes posiciones del núcleo del RP-10, con tiempos de irradiación entre 8 y 25 horas, y flujos neutrónicos entre  $10^{12}$  y  $10^{14}$  neutrones/cm<sup>2</sup>.s.

## 2.1 Irradiación de los Portamuestras (“Canes”) y los Cristales de Topacio

Se usaron dos tipos de canes, uno que es de Aluminio puro (can normal), Fig. 1(a); y otro que se muestra en la Fig. 1(b), que es un can de prueba, construido de Aluminio y una película de 1 mm de Cadmio que fue diseñado especialmente para minimizar la activación de los topacios por neutrones térmicos y del incremento de la dosis total del cristal [2].

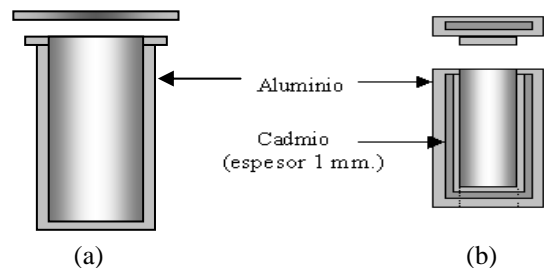


Figura 1. Esquema del can normal (a) y can de prueba (b).

Ambos tipos de canes, conteniendo en su interior un promedio de 2 a 3 cristales de topacio, son sellados e introducidos en un dispositivo como el que se observa en la Fig. 2. La posición del can se especifica por  $xn$  o  $yn$ , donde  $n$  es el número de la posición en que se encuentra. Este portacanes es posteriormente insertado en una caja de irradiación y colocada en una de las posiciones de irradiación del núcleo (ver Fig. 3).

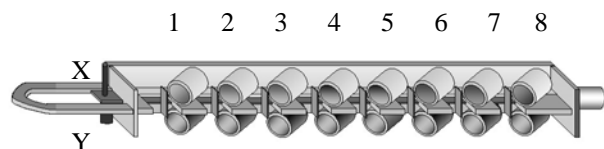
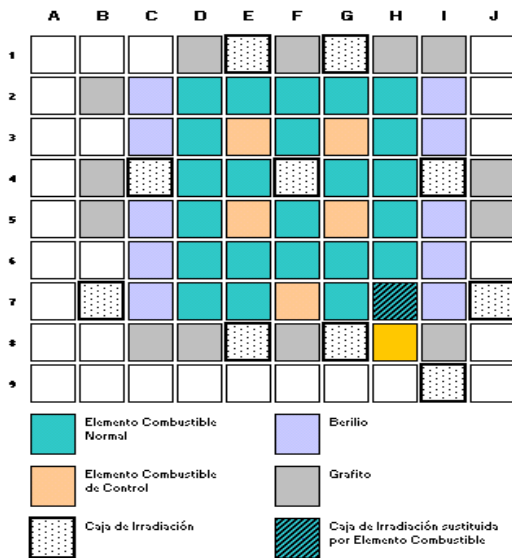


Figura 2. Portacanes de las Cajas de Irradiación.

Para la evaluación de los canes se midieron en diferentes cajas de irradiación la razón de cadmio y con el can normal el flujo neutrónico térmico y epitérmico, se utilizó hojuelas de oro, mientras que para el flujo epitérmico se colocaron hojuelas de oro con un recubrimiento de 1 mm de Cadmio.





**Figura 3.** Esquema del núcleo del Reactor RP-10 (vista superior).

## 2.2 Espectrometría Gamma

La activación de isótopos de un material depende de la sección eficaz ( $\sigma$ , l) de los elementos de este (ver Tabla 1). Para la

medición de actividades de los canes y los cristales de topacio irradiados por neutrones, se determinó el espectro de activación con una cadena de espectrometría gamma asociada a una PC y a un detector de GeHP (Canberra) con blindajes de plomo al 5% de Sn y Zn y para determinar las posibles activaciones de impurezas en los materiales de los canes y de los cristales de topacio se utilizó la tarjeta multicanal GENIE con la librería Stdlib.nlb y la TRS 295 [3] para la identificación de las energías de los isótopos de fondo radioactivo y las de aniquilación.

Para determinar las impurezas de los cristales de topacio se les sometió a la técnica de análisis por activación, método Ko, esta técnica no permite cuantificar el silicio, oxígeno, fluor e hidrógeno, materiales que componen la estructura del cristal [1], pero se cuantifica las trazas de impureza (tabla 1).

**Tabla 1.** Sección eficaz de los materiales que componen los canes y los cristales de topacio.

	Elementos	$\sigma$	l
<b>Canes</b>	Aluminio	231.1 mb	123.1 mb
	Cadmio	340.4 mb	16.95 b
<b>Cristales de Topacio</b>	Al (29.61%) <sup>m,n</sup>	231.1 mb	123.1 mb
	Si (15.41%) <sup>m</sup>	176.7 mb	84.76 mb
	O (43.02%) <sup>m</sup>	190 b	632.7 b
	F (11.47%) <sup>m</sup>	9.570 mb	19.49 mb
	H (0.50%) <sup>m</sup>	332 mb	149.1 mb
	As (< 0.5 ppm) <sup>n</sup>	4.50 b	63.90 b
	Br (< 0.1 ppm) <sup>n</sup>	11.0 b	128.9 b
	Cl (< 50 ppm) <sup>n</sup>	43.60 b	17.81 b
	Co (< 0.2 ppm) <sup>n</sup>	37.18 b	75.51 b
	Cs (< 0.1 ppm) <sup>n</sup>	29.0 b	396.2 b
	Fe (< 100 ppm) <sup>n</sup>	2.813 b	1.444 b
	Ga (2.9 ppm) <sup>n</sup>	2.20 b	18.22 b
	La (< 0.2 ppm) <sup>n</sup>	8.930 b	11.74 b
	Mn (< 0.2 ppm) <sup>n</sup>	13.41 b	11.76 b
	Na (45 ppm) <sup>n</sup>	531.4 mb	311.4 mb
	Sb (0.2 ppm) <sup>n</sup>	5.991 b	241.0 b
Sc (< 0.1 ppm) <sup>n</sup>	27.14 b	11.83 b	

m. materiales que naturalmente forman parte de la estructura de los cristales de topacio.

n. impurezas que se encuentran en la estructura del cristal analizadas por activación neutrónica, método Ko.

midio la razón de cadmio y la razón del flujo neutrónico epitérmico y térmico. En la Tabla 2 se tiene las razones de cadmio medida en ambos tipos de canes utilizados. En los canes de prueba se tiene que una disminución de los neutrones térmicos.

## 3. RESULTADOS

Se evaluaron los canes en las diversas posiciones del núcleo del reactor RP-10 mediante la irradiación de estos, donde se



**Tabla 2.** Razón de Cadmio en las posiciones de irradiación.

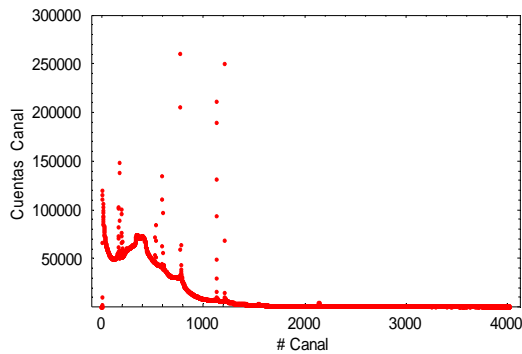
Posición en el Núcleo	Can normal	Can de prueba
H7-4x	3.81	1,055
I9-3y	9.72	1,24
G1-4x	3.68	1,051
E1-4x	3.58	1,048

La Tabla 3 muestra los parámetros de irradiación en el núcleo del reactor de los diferentes cristales topacios estudiados. Los parámetros de Irradiación fueron: la posición de las cajas de irradiación convenientes, el intervalo de tiempo y de potencia de irradiación en el núcleo del reactor y la razón de los flujos neutrónicos epitérmicos y térmicos.

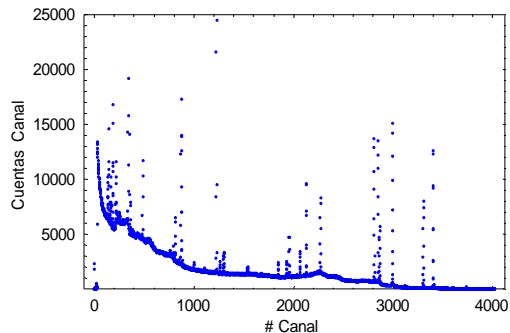
**Tabla 3.** Parámetros de Irradiación en las posiciones del núcleo utilizadas.

Posición en el núcleo	T irrad. (h)	Potencia (MW)	$\phi_{epi}/\phi_{th}$ ( $\times 10^{-2}$ )
H7	8	7	4,71
I9	16 – 25	7 – 10	1,38
G1	12 – 16	7 – 10	3,76
E1	12	7.5	5,40

En las figuras 4 y 5, 6 y 7 se observan los espectros de activación gamma de los canes y de los cristales de topacio irradiados correspondientemente.

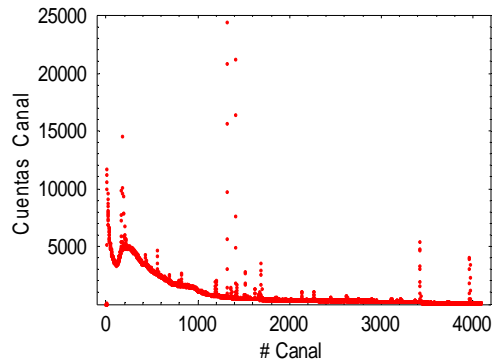


**Figura 4.** Espectro de activación gamma del can normal (Aluminio) irradiado en el núcleo del reactor RP-10.

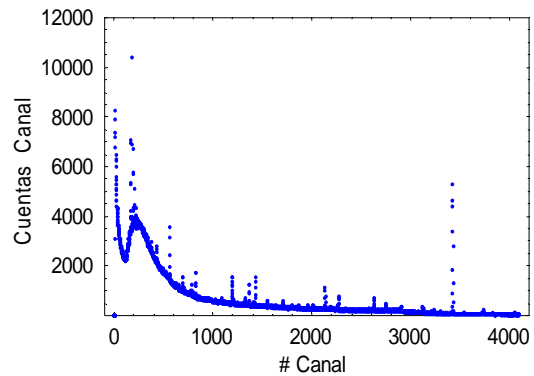


**Figura 5.** Espectro de activación gamma del can de prueba (Aluminio y Cadmio) irradiado en el núcleo del reactor RP-10.

La variación de los fotopicos de activación se debe al cadmio adicionado al segundo can.



**Figura 6.** Espectro de activación gamma de cristales de topacio irradiados en canes de Aluminio en el núcleo del reactor RP-10.



**Figura 7.** Espectro de activación gamma de cristales de topacio irradiados en canes de Aluminio y cadmio en el núcleo del RP-10.

Puede observarse en las figuras 6 y 7 la diferencia de las líneas de activación neutrónica, esto se debe a que han sido irradiados en diferentes canes, dando como resultado mas isótopos activados para el cristal irradiado en el can normal y con mucha mas actividad en comparación que los que fueron irradiados en los canes de prueba. En la mayoría de los casos los isótopos activados de los cristales de topacio no difieren por el tipo de can utilizado más si en la actividad con que salen los cristales después de ser irradiadas en el núcleo del RP-10.

En la tabla 4 y 5 se detallan los isótopos activados de los canes y los cristales de topacio irradiados con sus respectivas vidas medias, además del decaimiento de estos isótopos hasta alcanzar actividades inferiores a los 15 Bq/gr [2]. Se utilizó la tarjeta multicanal GENIE con la librería Stdlib.nlb y la TRS 295 [5], para la

identificación de las energías isótopos activados.

**Tabla 4.** Isótopos Activados en la Irradiación de los Canes Normal y de Prueba.

Canes Normales (Aluminio)		Canes de Prueba (Aluminio, Cadmio)	
Isótopos	Vida-Media	Isótopos	Vida-Media
In-115m	4,5 h	In-115	4,5 h
As-77	38,8 h	As-77	38,8 h
Se-75	120, 0 d	Se-75	120, 0 d
		Cd-115g	53,5 h
		Cd-115m	44,6 h

**Tabla 5.** Isótopos Activados en la Irradiación de Cristales de topacio.

Isótopos	Vida-Media	Decaimiento (d)
Sb-124	2,72 d	31.20
Na-24	15,02 h	11.44
Sc-46	83,8 d	60.88
Fe-59	44,6 d	198.24
Au-198	2,70 d	4.25
La-140	40,23 h	0.25

El isótopo más importante desde el punto de vista radiológico es el Sc-46 que en todos los ensayos aparece siempre con mayor actividad remanente necesitando de algunas semanas de decaimiento. Algunos cristales de topacio presentan actividades correspondientes al Cd-109, Zn-65, Mn-54 y Cs-134, de vida media de 453 días, 243.7 días, 312.5 días y 2.1 años respectivamente, como consecuencia serán tratadas como desechos radiactivos.

#### 4. CONCLUSIONES

Para que exista poca activación de los cristales de topacio por neutrones térmicos, se requiere una razón de cadmio lo más próximo a la unidad y altos flujos epitérmicos; según estos requisitos y los resultados obtenidos mostrados en las tablas 2 y 3 el can adecuado es el de prueba, hecho con Aluminio y Cadmio que nos da una razón de cadmio aproximadamente 1 en todas la cajas de irradiación, y la caja de irradiación mas conveniente serian en las posiciones E1 y G1.

#### 5. REFERENCIAS

- [1] Ivanov, Y., Velokoneva, E., Potras, J., Structural Science, Acta Crystallographic Section B, Vol. B54, p 774-781, December 1998.
- [2] Castagnet, A.C., Rocca, H.C., Rostelato, M.E., Inducao de Cor, por Irradiacao, em Cristais de Topazio, Departamento de Aplicacoes na Engenharia e na industria, CNEN/SP IPEN 264, Outubro 1989.
- [3] Technical Report 295, Measurement of Radionuclides in Food and the Environment International Atomic Energy Agency, Radionuclide Data, p 122-144, Vienne, 1989.

# SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF ROUGH ELECTROCHROMIC PHOSPHOTUNGSTIC ACID FILMS OBTAINED BY SPRAY-GEL PROCESS

Medina A.<sup>(1)</sup>; Solis J.<sup>(1), (2)</sup> [jsolis@uni.edu.pe](mailto:jsolis@uni.edu.pe); Rodríguez J.<sup>(1), (2)</sup> [jrodriguez@uni.edu.pe](mailto:jrodriguez@uni.edu.pe);  
Estrada W.<sup>(1), (2)</sup> [westrada@terra.com.pe](mailto:westrada@terra.com.pe)

(1) *Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Ingeniería / Lima, Perú*

(2) *Instituto Peruano de Energía Nuclear / Lima, Perú*

## ABSTRACT

Rough electrochromic phosphotungstic acid (PWA) films were fabricated by spraying a gel of phosphotungstate anions with a molar ratio of P:W = 1:12 onto glass substrates precoated with transparent and electrically conducting SnO<sub>2</sub>:F at 300 °C. The analysis by X-ray photoelectron spectroscopy (XPS) determined that the P:W molar ratio in the films was approximately 1:14. Infrared spectroscopy (IR) and X-ray diffraction (XRD) showed that the film is a polycrystalline phosphotungstic acid. SEM micrographs showed that the films present a rough morphology based on fiber-shape bridges. Optoelectrochemical measurements demonstrated pronounced electrochromism in the PWA films upon H<sup>+</sup> intercalation/deintercalation with a high diffuse reflectance ( $R_d$ ) and transmittance ( $T_d$ ). We found for as-deposited films that  $R_d$ /total reflectance ( $R_t$ ) and  $T_d$ /total transmittance ( $T_t$ ) at 550 nm was around 0.83 and 0.68, respectively. This ratio decreases at bleached state to 0.74 and 0.41 for  $R_d/R_t$  and  $T_d/T_t$ , respectively.

## 1. INTRODUCTION

Electrochromic materials are characterized by their ability to attain different optical properties under the action of an electric field [1,2]. They have several interesting applications in emerging technologies: transmittance modulation in energy efficient "smart windows", contrast modulation in nonemissive information displays, reflectance modulation in "antidazzling" mirrors, etc. Electrochromism is associated with a reversible insertion/extraction of small cations, generally lithium and protons, under a voltage application.

Electrochromism was discovered in W oxide [3], and this material remains the most viable one for applications; however there are still interesting possibilities with other materials based on tungsten-oxide compounds which are yet scarcely explored such as the heteropoly compounds. Several heteropoly tungsten are

known to exhibit deep coloration upon reduction in aqueous solution [4,5,6]; the heteropoly anions undergo reduction to mixed-valence species without change of structure. Those materials also give the possibility to simplify an electrochromic system because it can function as both ion conducting and electrochromic material [6]. The heteropoly compound we fabricated in this work using the spray-gel technique was phosphotungstic acid (PWA). This material is known to be a good proton conductor in the solid state and besides its electrochromic behaviour it has also been proposed recently as a high temperature membrane for fuel cells [7].

Most electrochromic materials for architectural applications are thought to be specular surfaces at the visible range, however electrochromic rough surfaces can also be interesting for some kind of applications in which, without losing light transmittance, it behaves as a highly diffusing surface for which the intensity of reflected radiation is almost independent of direction (Lambert surface). Very few works have been reported about electrochromism related to the diffuse reflectance and transmittance in the visible range [8,9,10].

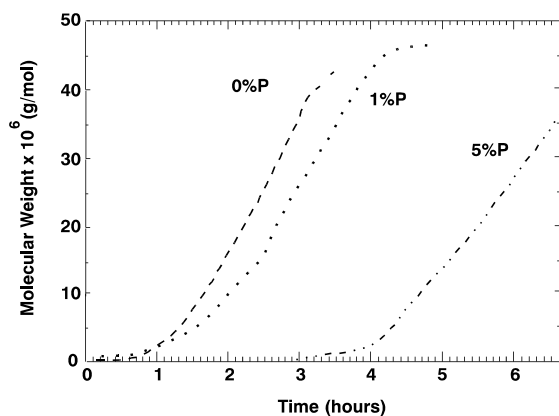
Sol-gel technique and spray pyrolysis are interesting techniques for thin films fabrication (simple and low cost) and when they are combined properly can be very useful for large area applications and the films morphology can be easily monitored controlling the precursors and deposition conditions.

In this work, we report the electrochromism of highly diffuse PWA coating produced by the spray-gel technique as a continuation of our previous works [11, 12].

## 2. EXPERIMENTAL

Combined spray pyrolysis and sol-gel techniques were used to obtain the phosphotungstic acid (PWA) films onto either glass slide or glass slide precoated with

transparent and electrically conducting  $\text{SnO}_2:\text{F}$  having a resistance/square of around  $15 \Omega$ . The process basically consists in producing an aerosol from a gel, which is sprayed over a hot substrate, where the film is going to grow. The outline of the spray system used in this work is described elsewhere [12]. Precursor of the spraying solution for preparing the phosphotungstic acid films was an aqueous solution of 0.1 M sodium tungstate ( $\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , 99% MERCK) mixed with orthophosphoric acid ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ , 85% Riedel-de Haën) with a molar ratio P:W of 1:12 (at % P:W = 8.3). The gel was obtained via acidification of the aqueous solution through a proton exchange resin (Dowex 50WX8, 60-170 mesh, MERCK). In order to study the influence of the addition of orthophosphoric acid to the polytungstic acid in the polymerization process a home-made light scattering equipment was used. Light scattering results are shown in Figure 1. Molecular weight as a function of polymerization time for different phosphorous to tungsten atomic ratios (%P:W) were plotted; results showed that the addition of phosphorous to the polytungstic acid retards the polymerization process.

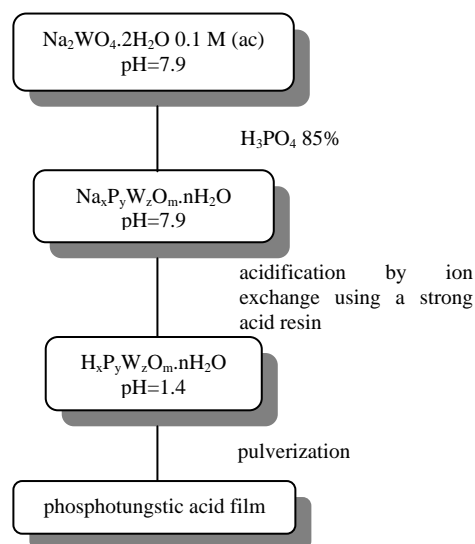


**Figure 1.** Polymerization curves in function of time for solutions with different at. % ratios of P:W, showing the beginning of the polymerization.

The films were obtained spraying the gel (at % P:W = 8.3) onto substrates at  $300 \text{ }^\circ\text{C}$  for 60 min. The experimental processes for obtaining the phosphotungstic acid film is shown in Figure 2. The gas carrier flux and air pressure were kept at 11 l/min and  $8.8 \times 10^5 \text{ Pa}$ , respectively.

The crystalline structure of the as-deposited phosphotungstic acid films were characterized by x-ray diffraction (XRD) and Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) using a Phillips X Pert diffractometer ( $\text{Cu K}_\alpha$  radiation) and a Shimadzu 8300 spectrophotometer ( $450 - 4000 \text{ cm}^{-1}$  wave number range), respectively. FTIR

data were obtained using unpolarized infrared light and an aluminum mirror as a reference. X-ray photoelectron spectroscopy (XPS) studies were done using a Leybold-Heraeus LHS-10 spectrometer, under a vacuum  $\leq 1 \times 10^{-8}$  torr, and  $\text{Al K}_\alpha$  radiation. The morphology characterization of the films were carried out using a Scanning Electron Microscope Philips 500.



**Figure 2.** Schematic representation of the procedure followed in the fabrication of phosphotungstic acid films.

An EG&G PAR 273 potencioscan/galvanostat instrument was used for cyclic voltammetry for charge insertion/extraction. A three electrode-cell with an electrolyte of 1 M  $\text{H}_2\text{SO}_4$  aqueous solution was set; the electrochromic film was placed as the working electrode (WE), a platinum layer as the counter electrode (CE) and a Saturated Calomel (SCE) as the reference electrode (RE). The voltage span was between  $-0.8$  and  $0.6 \text{ V}$  vs SCE at a scan rate of  $10 \text{ mV/s}$ .

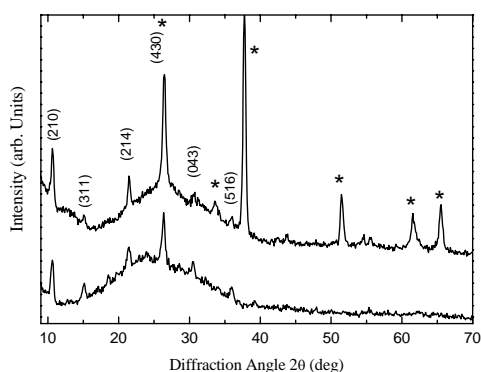
Total and diffuse spectral normal transmittance/reflectance were recorded in the  $400 < \lambda < 850 \text{ nm}$  wavelength range using a double beam Perkin-Elmer Lambda 9 spectrophotometer equipped with an integrating sphere. Those measurements were performed ex situ, i.e., with the sample extracted from the electrolyte, rinsed, dried, and mounted in the sample compartment of the spectrophotometer.

### 3. SUMMARY AND REMARKS

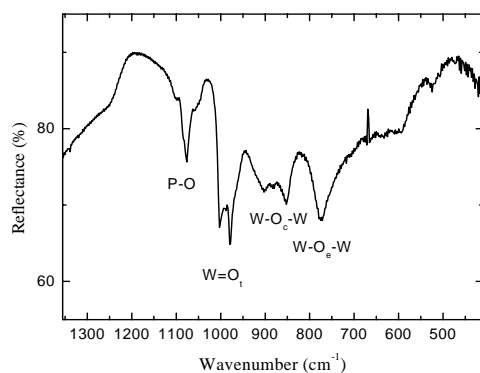
Figure 3 shows the XRD diffractograms obtained for the films deposited at  $300 \text{ }^\circ\text{C}$  onto glass (bottom) and glass precoated with

transparent and electrically conducting SnO<sub>2</sub>:F (top). The relevant atomic planes are ascribed to phosphotungstic acid (H<sub>3</sub>PW<sub>12</sub>O<sub>40</sub>·21 H<sub>2</sub>O) [13]; the asterisks marked peaks in the figure correspond to the SnO<sub>2</sub>:F pre-coated glass substrate.

The infrared reflectance spectrum of the as-deposited film is shown in Figure 4. The presence of phosphotungstic acid can be recognized by the presence of the finger-print bands below 1100 cm<sup>-1</sup> which are characteristic of the PW<sub>12</sub>O<sub>40</sub><sup>3-</sup> ion [14]. The observed bands are indicated in the Fig. 4 according to the common assignments as reported in the literature [14, 15]. The peak attributed to the P-O band is around 1077 cm<sup>-1</sup>, while the peaks assigned for the symmetric stretching band of corner-shared octahedra, W-O<sub>c</sub>-W, and the symmetric stretching band of edge-shared octahedra, W-O<sub>e</sub>-W, are at around 900 – 850 cm<sup>-1</sup> and 772 cm<sup>-1</sup>, respectively. The W=O<sub>t</sub> stretching band where O<sub>t</sub> is the terminal oxygen is around 1000 – 980 cm<sup>-1</sup>.

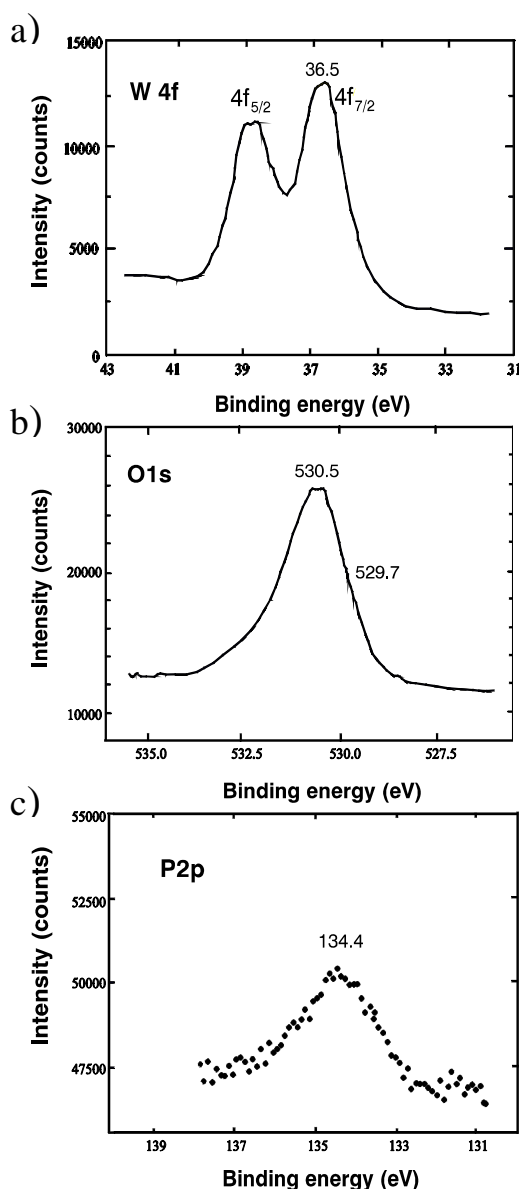


**Figure 3.** X-ray diffractograms for a phosphotungstic acid films on a glass substrate (bottom) and glass substrate pre-coated with transparent and electrically conducting SnO<sub>2</sub>:F obtained at 300 °C (top). The relevant atomic planes are indicated. Asterisks show peaks due to SnO<sub>2</sub>:F.



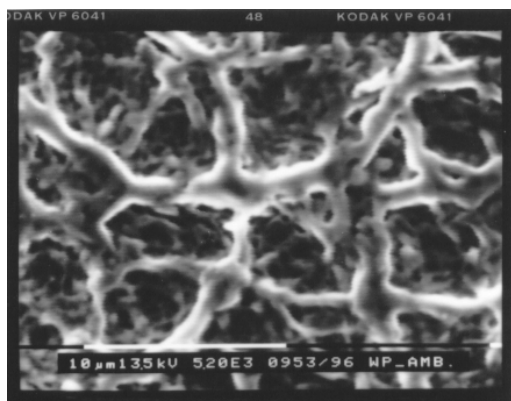
**Figure 4.** Infrared reflectance spectra for a phosphotungstic acid film.

The films were analyzed by XPS, and the peaks corresponding to oxygen, tungsten and phosphorous are shown in Figures 5(a), 5(b) and 5(c), respectively. Figure 5(a) shows the tungsten peak W<sup>+6</sup> 4f with a binding energy of 36.5 eV, indicating that the films contain W-O bonding [16]. Figure 5(b) shows the contribution of the O<sup>2-</sup> 1s at 530 eV, which is related to a O-H bonding. This would indicate that the compound is hydrated. The phosphorous signal P<sup>5+</sup> 2p at 134.4 eV could be associated with a compound that contains P-O bonding. The ratio P:W has been obtained from the relations between the integrated intensity of the singlet 2p phosphorous signal to the doublet 4f tungsten peak multiplied by the corresponding sensitivities. It was determined that the molar rate P:W is around 1:14



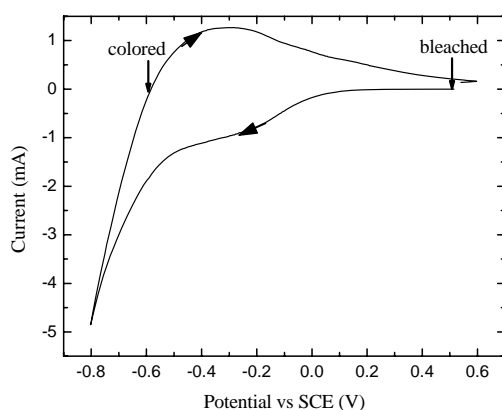
**Figure 5.** XPS spectrum for a phosphotungstic acid film; amplification of (a) the 4f tungsten peak, (b) the O 1s oxygen peak and (c) the 2p phosphorous peak.

A typical SEM micrograph of a phosphotungstic acid film is shown in Figure 6. The film showed a morphology based on fiber-shape bridges. This type of configuration was distributed uniformly through out the film surface, and behaves as highly diffusing surface in the visible range.



**Figure 6.** SEM micrograph for a phosphotungstic acid film.

Figure 7 displays a typical cyclic voltammogram for a phosphotungstic acid film with an effective area of  $1.5 \text{ cm}^2$ ; the voltage sweep rate was  $10 \text{ mV s}^{-1}$  and this was stopped for optical ex-situ measurements at voltages indicated by arrows in the figure for the colored and bleached states. The inserted charge densities during cyclic voltammetry were calculated by numerical integration of the current density with respect to time. The inserted/extracted charge density was  $55.6 \text{ mC cm}^{-2}$  for the data in Fig. 7.

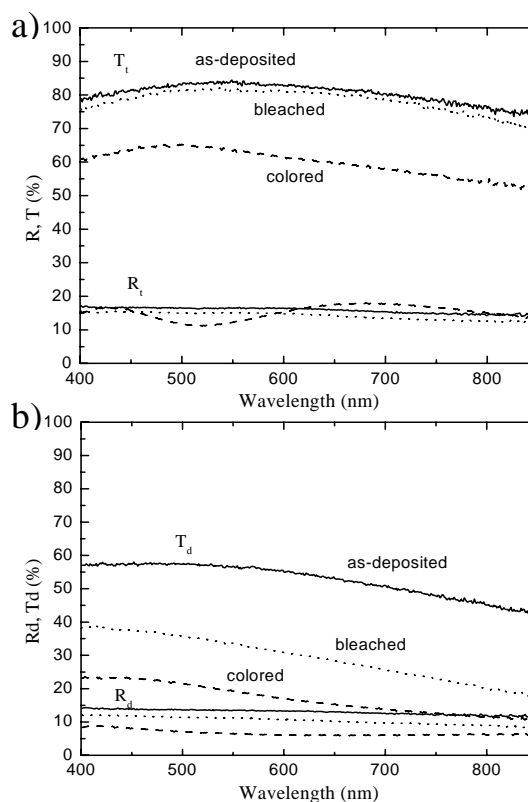


**Figure 7.** Cyclic voltammogram for  $\text{H}^+$  intercalation/deintercalation in a phosphotungstic acid film. The voltage sweep rate was  $10 \text{ mV s}^{-1}$ . Arrows denote voltage sweep directions.

The total (a) and diffuse (b) optical transmittance and reflectance spectra for a phosphotungstic acid film are shown in Fig. 8. Measurements have been performed for as-

deposited, colored and bleached states, as indicated in the figure. For ex-situ optical measurements in the colored and bleached states the samples were taken out from the electrochemical cell at voltages in the voltammogram as indicated in Fig. 7.

Optical measurements showed that PWA films present a pronounced electrochromism at all visible range. At 550 nm there is a total optical transmittance contrast of around 23 % (see Fig. 8a) between the bleached and colored state. The diffusing optical transmittance and reflectance are showed in Fig. 8b. The as-deposited film presents a highly diffusing transmittance and reflectance; at 550 nm the ratio between diffuse transmittance ( $T_d$ ) and total transmittance ( $T_t$ ) is around 0.68, and between diffuse reflectance ( $R_d$ ) and total reflectance ( $R_t$ ) around 0.83. This proportion decreases for bleached and colored state. For instance for bleached state at 550 nm  $T_d/T_t$  is around 0.41 and  $R_d/R_t$  is around 0.74; this means that when the samples are electrochemically treated the surface became smoother like, i.e. it is less dispersive. For instance at 550 nm the diffuse transmittance for the bleached state decreases in 23 % respect to as-deposited one.



**Figure 8.** The total (a) and diffuse (b) spectral transmittance and reflectance for a phosphotungstic acid film in as-deposited (solid line) state and after coloration (dotted line) and bleaching (dashed line) by  $\text{H}^+$  intercalation/deintercalation.

Those results indicate that at appropriate conditions an electrochromic film with uniform "irregularities" can be grown using the spray-gel technique. Those films present a highly diffusing component in the transmittance and reflectance spectra.

#### 4. CONCLUSIONS

The pneumatic spraying of a gel brings new possibilities for fabricating highly optical diffusing films of PWA. The phosphotungstic acid fabricated in this work showed high insertion charge capacity with good electrochromic behaviour.

#### ACKNOWLEDGEMENTS

This work has been financially supported by the International Program for Physical Science of Uppsala University (IPPS), the Instituto de Investigación of Universidad Nacional de Ingeniería. The authors are also grateful to Prof. Annette Gorenstein and Dr. Antonio Costa for their help with the optical and electrochemical measurements, and Lic. Angelica Damian for helping in preparing the films.

#### REFERENCES

- [1] Granqvist C.G. *Handbook of Inorganic Electrochromic Materials*, Elsevier, Amsterdam, 1995.
- [2] Monk P.M.S., Mortimer R.J., and Rosseinsky D.R. *Electrochromism: Fundamentals and Applications*, VCH, Weinheim, 1995.
- [3] Deb S.K. (1969) *Appl. Opt. Suppl.* 3, 192.
- [4] Tell B. and Wagner S. Electrochromic cells based on phosphotungstic acid. *Appl. Phys. Lett.* 33 (1978) 837-838.
- [5] Tell B. and Wudl F. Electrochromic effects in solid phosphotungstic acid and phosphomolybdic acid. *J. Appl. Phys.* 50 (1979) 5944-5946.
- [6] Maheswari S.P. and Habib M.A. Electrochromic aspects of phosphotungstic acid. *Sol. Energy Mater.* 18 (1988) 75-82.
- [7] Kim Y.S., Wang F., Hickner M., Zawodzinski T.A., and McGrath J.E. Fabrication and characterization of heteropolyacid ( $H_3PW_{12}O_{40}$ )/directly polymerized sulfonated poly(arylene ether sulfone) copolymer composite membranes for higher temperature fuel cell applications. *J. Membr. Sci.* 212 (2003) 263-282.
- [8] Lee W.J., Fang Y.K., Ho J.J., Hsieh W.T., Ting S.F., Huang D., and Ho F.C. Effects of surface porosity on tungsten trioxide ( $WO_3$ ) films' electrochromic performance. *J. Electro. Mater.* 29 (2000) 183-187.
- [9] Lindström T., Kullman L., Rönnow D., Ribbing C.G. and Granqvist C.G. Electrochromic control of thin film light scattering. *J. Appl. Phys.* 81 (1997) 1464-1469.
- [10] Rönnow D., Kullman L. and Granqvist C.G. Spectroscopic light scattering from electrochromic tungsten-oxied-based films. *J. Appl. Phys.* 80 (1996) 423-30.
- [11] Gómez M., Medina A. and Estrada W. Improved electrochromic films of  $NiO_x$  and  $WO_xP_y$  obtained by spray pyrolysis. *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* 64 (2000) 297-309.
- [12] Arakaki J., Reyes R., Horn M. and Estrada W. Electrochromism in  $NiO_x$  and  $WO_x$  obtained by spray pyrolysis. *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* 37 (1995) 33-41.
- [13] Southward B.W.L., Vaughan J.S., and O'Connor C.T. Infrared and thermal analysis studies of heteropoly acids. *J. Catal.* 153 (1995) 293-303.
- [14] Pazé C., Bordiga S. and Zecchina A.  $H_2O$  interaction with solid  $H_3PW_{12}O_{40}$ : an IR study. *Langmuir* 16 (2000) 8139-8144.
- [15] Chermette H., Hollinger G. and Pertosa P. SCF MS  $X\alpha$  study of the electronic structure of  $A_xWO_3$  bronzes. *Chem. Phys. Lett.* 86 (1982) 170-175.



# SPRAY PYROLYSIS DEPOSITED ZINC OXIDE FILMS FOR PHOTO-ELECTROCATALYTIC DEGRADATION OF METHYL ORANGE: INFLUENCE OF THE pH

Quintana M.<sup>(1)</sup>; Ricra E.<sup>(1)</sup>; Rodríguez J.<sup>(1,2)</sup>; Estrada W.<sup>(1,2)</sup>

(1) *Facultad de Ciencias – Universidad Nacional de Ingeniería / Lima, Perú*

(2) *Instituto Peruano de Energía Nuclear / Lima, Perú*

## ABSTRACT

Zinc oxide films were made by spray pyrolysis equipped with an optical system for in-situ thickness measurement; zinc acetate water solution was used as spraying solution. The pH of the spraying solution was modified in order to increase the film porosity. Morphology and structure of the films were analyzed by scanning electron microscopy and x-ray diffraction, respectively. X-ray pattern revealed that films were zincite-like with a preferential growth in the [002]-direction.

The optical absorbance of the methyl orange aqueous solution and the optical transmittance of ZnO-based films were measured in the wavelength range of 350-800 nm. Those measurements allowed both to control the photo-electrocatalytic degradation of methyl orange and to correlate the optical measurements with surface morphology of ZnO-based films.

The zinc oxide based films obtained at different pH conditions of the spraying solution were brought into contact with methyl orange aqueous solution in a reactor in which the photo-electrocatalytically induced degradation under ultraviolet irradiation was investigated; the reactor was provided by an optical system to measure the in-situ optical transmittance of methyl orange solution. Results indicated that there is an increment of the active area of ZnO thin films when the pH of the spraying solution increases.

## 1. INTRODUCTION

Heterogeneous photocatalysis is a topic of the major and growing interest [1]. It can be used for example to decompose hazardous wastes, which is a very important issue particularly for textile manufactory. Titanium oxide has been extensively studied for these applications [1-3]; zinc oxide can in principle also be useful for this purpose [4-6] since its energy band is appropriate for that [7], however it has not been explored at all. In this

paper we report some relevant features of pyrolytic zinc-oxide-based films related to its photo-catalysis properties.

Thin films with high porosity are strongly recommended for photo-electrocatalytic degradation applications, because of the extended interface between the film and the fluid. Porosity is highly depending on deposition technique. Different techniques have been reported for preparing ZnO films; those comprise reactive evaporation [8], sputtering [9], chemical bath [10], spray pyrolysis [11-14], etc. Spray pyrolysis is a simple and rather low cost technique and under appropriate conditions can allow getting different surface morphologies. Pyrolytic ZnO-based films are usually obtained by pyrolytic decomposition of an alcoholic solution of zinc acetate. In general alcoholic solutions are preferred because of their low surface tension and viscosity facilitate the formation of small spraying droplets, which allows to get a continuous and smooth films. In this work we present preliminary results using water as solvent in order to increase film roughness and eventually porosity.

Photocatalysis involves excitation of an electron from the valence band to the conduction band; the remnant hole migrates under the influence of the electric field towards to surface of the semiconductor and reaches a site where it can oxidize an electron donor associated with the pollutant. It has been reported elsewhere that a decrement in the electron hole recombination can be obtained by an applied potential, which increases the migratory effects in the semiconductor-electrolyte interface [15-17].

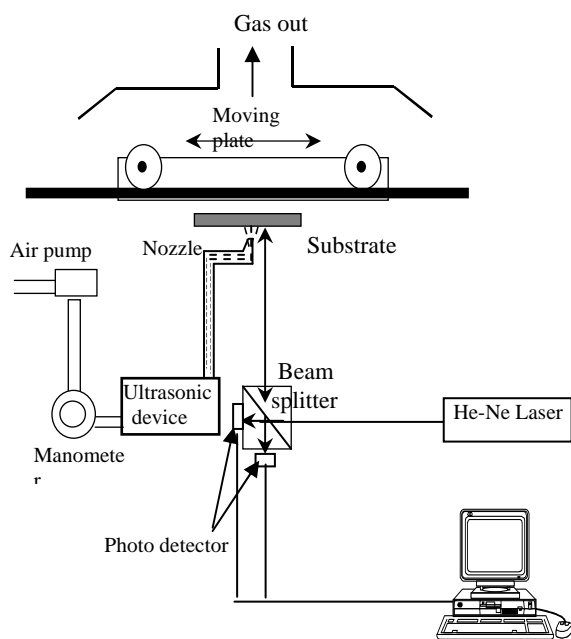
This paper discusses the photo-electrocatalytic degradation of methyl orange in aqueous solution using ZnO-thin film obtained by spray pyrolysis using water as the spraying solution; morphology and structural characterization in the films were also performed. We have studied the in situ spectral absorbance of the methyl orange in aqueous solution at different degradation

times and determined the enhanced degradation rates of the solution when it is in contact with the ZnO films; those results are correlated with the film morphology variation.

## 2. EXPERIMENTAL

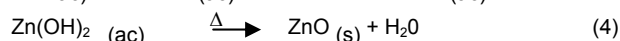
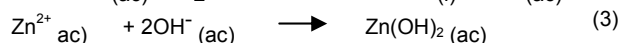
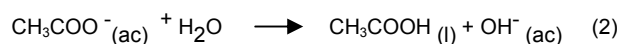
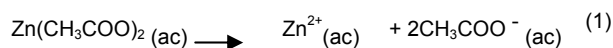
Zinc oxide films were deposited using reactive spray pyrolysis in a home made system (see Fig 1). An ultrasonic device generated droplets of the spraying solution and compressed air was used as gas carrier. In all experiments the gas carrier pressure was kept at 25 PSI during deposition. The foggy of the spraying solution is carried out to the hot substrate on which the solvent evaporates taking place the pyrolytic reaction and the film starts to grow.

In order to ensure a homogeneous pyrolytic reaction on the hot substrate, the heater is moved back and forth perpendicularly to the spraying nozzle. An optical system was set up for in-situ thickness measurement during deposition; both a 632.8 nm wavelength laser beam and an array of optical sensors were used for this purpose, which also provided information about the growing film profile (see Fig.1).



**Figure 1.** Spray pyrolysis deposition system including the optical set up for coating profile measurement.

Film deposition takes place according to the following global reactions:

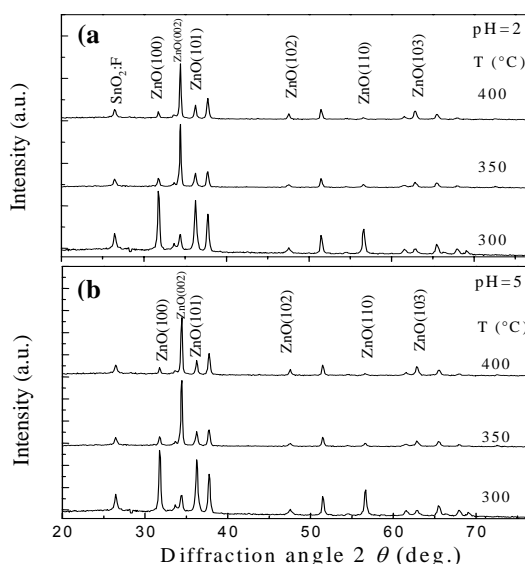


The films were deposited onto a Libbey Owens Ford glass substrate precoated with  $\text{SnO}_2:\text{F}$ , which had a square resistance of 8  $\Omega$ . Zinc-oxide films were deposited at different temperatures in the range of 300  $^\circ\text{C}$ – 400  $^\circ\text{C}$ , and the pH of the spraying solution was also changed in the range of 2 - 5. Spraying was stopped when the thickness of the film reaches  $\sim 650$  nm, measured in situ during deposition

## 3. RESULTS AND DISCUSSION

### 3.1 FILM CHARACTERIZATION: STRUCTURE AND MORPHOLOGY

The crystalline structure of the zinc oxide films was studied by X-ray diffraction (XRD) using a Phillips Xpert 1300 diffractometer with Cu anode. Data from ZnO standards were used to identify the diffraction peaks. Figure 2 shows X-ray diffractograms for zinc oxide films deposited at different temperatures and various pHs onto  $\text{SnO}_2:\text{F}$  coated glass substrates.



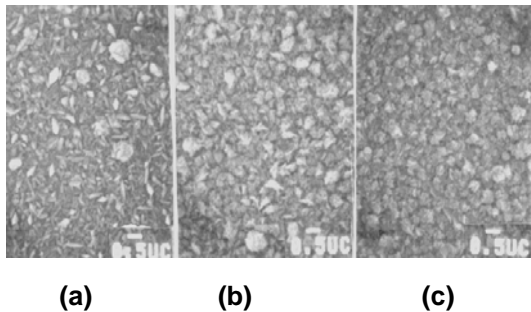
**Figure 2.** X ray diffractograms for zinc oxide films prepared by spray pyrolysis at pH= 2 (panel a) and pH= 5 (panel b), and at the shown temperatures. The observed peaks correspond to the zincite structures. Additional peaks are due to the transparent conductive layer of  $\text{SnO}_2:\text{F}$ .

The diffractograms display that, regardless of the pH values, the crystalline structure in zincite like films appears in the range temperature between 300 °C and 400 °C. For films prepared at 300 °C, parallel planes in the (100), (101) and (110) directions can be observed. As the deposition temperature increases, the (002) direction is preferred vis-a-vis other directions, which start then to decrease. The mean grain size  $D$  for the films was estimated from the XRD data by applying Scherrer's formula as follows

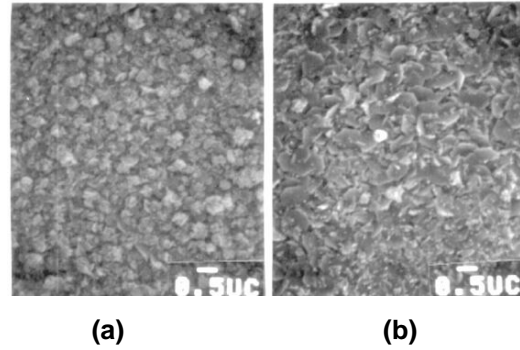
$$D = \frac{0.9\lambda_x}{\beta \cos\theta} \quad (5)$$

where  $\lambda_x$  is the X-ray wavelength in the  $K_\alpha$  band for Cu equal to 1.54 Å, and  $\beta$  is the full width at half the maximum diffraction peak. Applying this formula, the grain size was found to be ~23 nm measured in the (002) peak.

Surface morphology was studied with SEM using a Philips 300 instrument operated at 20 kV. Figures 3 and 4 display the surface of zinc oxide films deposited at different temperatures and pHs onto a conductive transparent layer of SnO<sub>2</sub>: F, respectively. In Fig. 3 is observed that increasing deposition temperature, increase the particles size until transform it in round nodules reducing in that sense the surface area. In the case of Fig. 4 is observed that pH variation on the deposition conditions of zinc oxide films produce a change of shape in the particles, from planar, obtained in films deposited at pH= 2, to round, obtained in films deposited at pH=5. An increase of film's surface area is observed at the last case.



**Figure 3.** SEM micrographs of the surface of zinc oxide films deposited by spray pyrolysis at 400 °C onto a tin-oxide-precoated glass substrate. Films were deposited using pH = 5 for spraying solution and substrate temperatures: (a) T=300, (b) T=350 and (c) T=400.

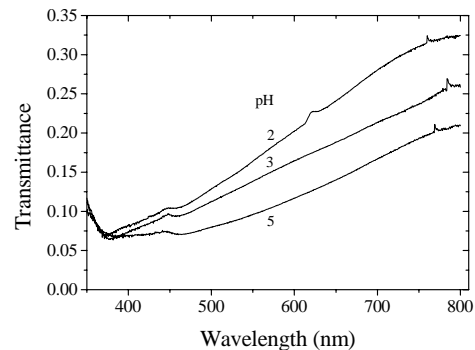


**Figure 4.** SEM micrographs of the surface of zinc oxide films deposited by spray pyrolysis at 400 °C onto a tin-oxide-precoated glass substrate. Films were deposited using pH=5 (inset a) and pH=2 (inset b) in the spraying solution.

### 3.2 FILM CHARACTERIZATION: OPTICAL PROPERTIES

For zinc oxide films deposited onto glass at 400 °C and different pH values, total normal transmittance  $T$  was recorded in the 300 <  $\lambda$  < 800 nm wavelength range with an Optometrics RS-350 single beam spectrophotometer. Films were ~650 nm thick, as observed with the in situ thickness measurement system mounted in the deposition system.

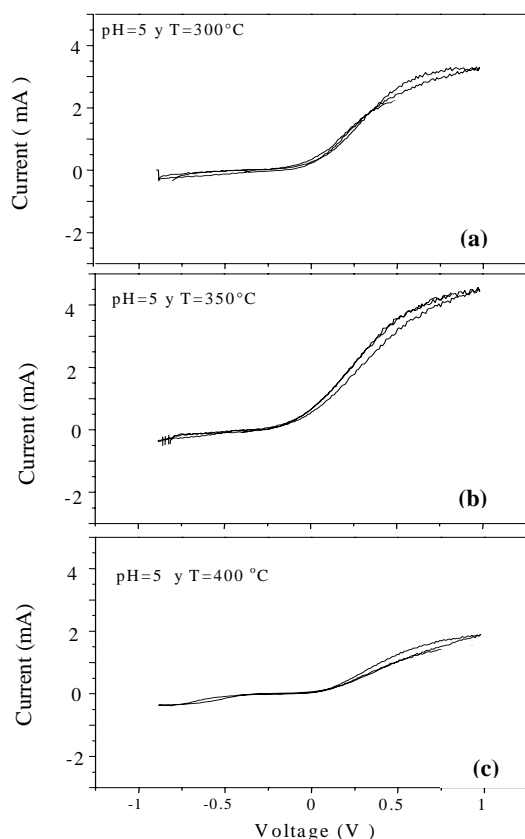
As a general trend, it is observed that decrements of transmittance appear as the pH in the solution increases. They are correlated with the increment of the films' diffusive characteristics, which can be due to the fact that spherical particles obtained at pH=5 are more light dispersive than planar particles obtained at pH=2, as shown in Fig. 4.



**Figure 5.** Spectral transmittance for zinc oxide films deposited on glass by spray pyrolysis at 400 °C and at the shown pHs.

### 3.3. DATA ON PHOTO – ELECTROCATALYTIC DEGRADATION OF METHYL ORANGE

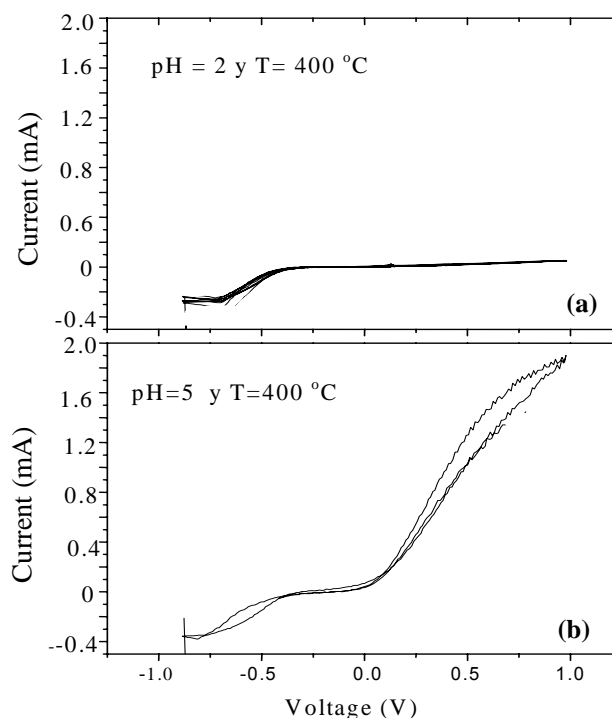
We used zinc oxide films to study the photo–electrocatalytic degradation of a methyl orange water solution by using a specially designed reactor. The reactor consists of a cylindrical Teflon container. The open end – which can be irradiated by ultraviolet (UV) light – has provisions for mounting a sample with the zinc oxide film facing the interior of the cylinder. Light passing through the conductive transparent substrate will make then possible to illuminate the zinc oxide films. Two parallel quartz windows are arranged at right angles to the cylinder axis so as to allow spectrophotometric transmittance measurements for probing the cylinder's contents. A three–electrode arrangement was used in the experiments. It includes a Pt foil as counter electrode, and a Ag/AgCl electrode as a reference electrode. This setup is referred to as a "single compartment cell" in earlier work by us [17].



**Figure 6.** Cyclic voltammograms obtained under UV irradiation for zinc oxide films prepared at pH = 5 and at the shown temperatures: (a)  $T = 300$ , (b)  $T = 350$  and (c)  $T = 400$ . Experiments were performed at 10 mV/s. Plots show the fifth cycle in each experiment.

The experimental data, to be reported below, were obtained with 8 ml KCl 0.1 M in the container, in the case of photocurrent measurements (Figures 6 and 7), and of  $35 \times 10^{-5}$  M methyl orange in the container, in the case of photocatalytic degradation of methyl orange. In the latter case, a distilled water solution with pH = 5.5 was used. 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 mounted between the lamp and the photoreactor. The intensity in the UV–A spectrum (315 to 400 nm)-measured with an UDT 300 radiometer- was 3 mW. The photoreactor was positioned in the sample compartment of a RS 325 Optometrics Single beam spectrophotometer operating at  $340 < \lambda < 800$  nm. A mechanical chopper system was employed to avoid UV irradiation during the spectrophotometer recordings.

Electrochemical measurements were taken with a Wenking POS 73 potentiostat interfaced to a computer. Experiments were performed at 10 mV/s. In the dark non electrochemical reactions were observed in the  $-1$  V- 1V scanned range.



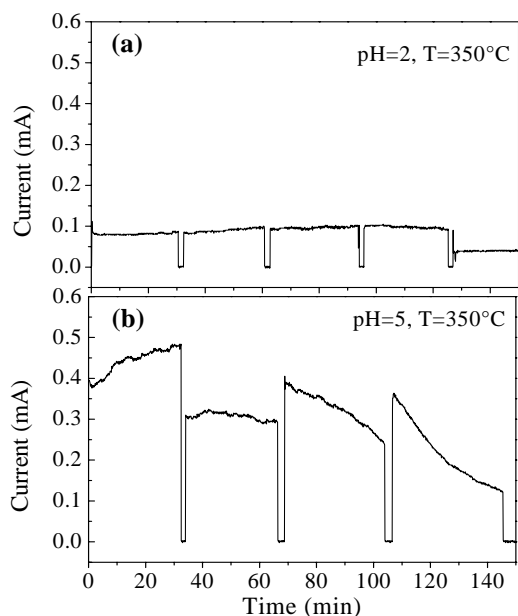
**Figure 7.** Cyclic voltammograms obtained for zinc oxide films under UV irradiation. Films were prepared at 400 °C, using spraying solutions with: (a) pH = 2, (b) pH = 5. Profiles were obtained at 10 mV/s scan rate and plots were registered after five cycles.

In Figures 6 and 7, cyclic voltammograms show the effect of the deposition parameters:

temperature and pH on the photoactivity of zinc oxide films.

Experiments were performed under UV illumination. In the dark, the obtained current across the scanned range was zero before and after illumination. In Fig. 6 shows films deposited at 400 °C present slightly lower photocurrent that films deposited at lower temperatures. In Fig. 7, a dramatic increment in the photocurrent is observed when the pH of the deposition conditions is increased.

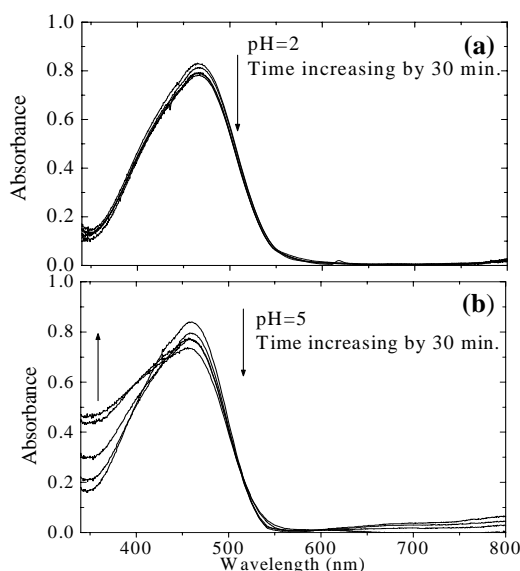
An applied bias potential of 0.7 V vs. the Ag/AgCl reference electrode was used to avoid electron-hole recombination in the irradiated samples; this effect may otherwise be significant, mainly as a consequence of traps and surface states. In order to diminish the influence of free oxygen, a well-known electron scavenger, nitrogen bubbles were introduced continuously into the sample compartment so that the solution was kept uniformly mixed. Figure 8 shows the resulting photocurrent in a typical experiment of methyl orange  $35 \times 10^{-5}$  M obtained using two zinc oxide films as photocatalyst. It may be seen that for the films deposited pH=5, the photocurrent is higher than for those deposited at pH =2. However, a consistent decrement as a function of time is observed in the films deposited at pH=5, probably due to limitations in the diffusion of dye from the bulk of the solution into the semiconductor.



**Figure 8.** Photocurrent as a function of time for 650 nm - thick zinc oxide films in a  $35 \times 10^{-5}$  M of methyl orange water solution under UV irradiation. The data pertain to films obtained by spraying solution with: (a) pH = 2, (b) pH = 5.

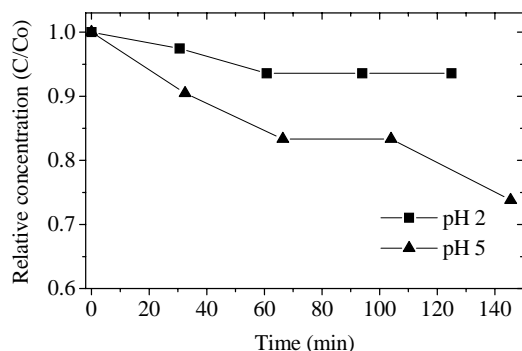
Reaction products such as hydrazine are expected to appear as a result of the photocatalytic degradation of methyl orange [18]. These products, as well as the methyl orange itself, display characteristic optical absorption at 460 nm and ~245 nm, respectively. The latter substance is an intermediate of the photo-electrocatalytic degradation of methyl orange to harmless products so they can be identified by spectrophotometry. Figures 9 a,b show typical absorbance spectra of the methyl orange solution during photo-electrocatalysis with zinc oxide films prepared at different pHs under UV irradiation. 0.7 V of anodic potential was applied. Photocurrent measured values were presented in Fig 8.

The spectral data display pronounced absorption at ~460 nm due to methyl orange. Fig. 9a shows, for the case of films prepared at pH=2, that this absorption drops slightly under UV irradiation. However, for pH=5 presented in Fig. 9b, the absorption drops monotonically, concomitantly with an increase of the absorption at 350 nm, probably due to an hydrazine derivative. However, more research is needed in this case. Intermediates of the photo-electrocatalytic degradation, have been observed to increase in concentration at the beginning of the photocatalytic reaction. They, as in the case of hydrazine can disappear after hours in air solutions [18] or can be photodegraded during the photoelectrocatalysis in a parallel process.



**Figure 9.** Spectral absorbance of an aqueous solution of  $35 \times 10^{-5}$  M methyl orange after UV irradiation and using a photocatalytic zinc oxide films obtained from spraying solutions with: (a) pH = 2, (b) pH = 5.

Figure 10 shows the relative concentration of the methyl orange during its photo-electrocatalytic degradation using zinc oxide irradiates with UV. The data are based on the intensity of the absorption at  $\lambda = 460$  nm of experiments shown in Figs 8 and 9.



**Figure 10.** Spectral absorbance of an aqueous solution of  $35 \times 10^{-5}$  M methyl orange after UV irradiation and using a photocatalytic zinc oxide films obtained from spraying solutions with: (a) — ■ — pH = 2, (b) — ▲ — pH = 5.

It is evident that thin film manufacturing plays an important role in photodegradation. After ~3 h, the concentration of methyl orange in the solution has decreased only a quarter of the initial concentration in the best of the cases. We note that the photo-electrocatalytic degradation rate correlates with the optical absorption at short wavelengths, as evident from Fig. 5. We should point out that for the used lamp, the maximum of the irradiation spectra is around 350 nm, matching a minimum of the methyl orange absorption. This can explain why UV light without zinc oxide cannot degrade the methyl orange. In addition, illuminating the films through the substrate will cut off the irradiation below 300 nm, due mainly to the glass absorption, shadowing most of the absorption of the zinc oxide films.

#### 4. CONCLUSIONS

We prepared zinc oxide films by spray pyrolysis under conditions giving high porosity films. Films deposited at low pH values have shown to be more compact and do not present much photoactivity. compared with films deposited at higher values. In the range of the used deposition temperatures, from 300 °C to 400 °C, a preferred structural (002) direction is observed. A slight decrement in photoactivity can be seen in films deposited at 400 °C compared to those deposited at

350 °C, due to crystal growth and a smaller surface area.

The photo-electrocatalytic ability of the films to degrade methyl orange was investigated in detail in a reactor allowing optical measurements to document the presence of methyl orange as well as the intermediated reaction product hydrazine. Degradation rates have shown to be more efficient with films deposited at high pH values, thus favoring the increment of the film's surface area .

**Acknowledgments:** We want to thank the International Science Programme at Uppsala University and the Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Ingenieria and IPEN for providing partial funding for this project. C. Luyo is thanked for the SEM pictures.

#### REFERENCES

- (1) D. M. Blake, in Bibliography of work on the heterogeneous photocatalytic removal of hazardous compounds from water and air, NREL/TP-510-31319, 2001.
- (2) A. Fujishima, K. Hasimoto and T. Watanabe, in *TiO<sub>2</sub> Photocatalysis, Fundamentals and Applications*, edited by A. Donald, Y. Kitamura and N. Tamaki ( BKC, Tokyo, Japan, 1999).
- (3) M. Hoffmann, S. Martin, W. Choi and D. Bahnemann, *Chem. Rev.* 95 (1995) 69.
- (4) X. Domenech and J. Peral, *Chemosphere*, 38(6) (1999) 1265.
- (5) B. Neppolian, S. Sakthivel, B. Arabindo, M. Palanichamy and V. Murugesan, *J. Environ. Sci. Health, Part A: Toxic/Hazard. Subst. Environ. Eng.*, A34 (1999) 1829.
- (6) G. Marci, V. Augugliaro, M. J. Lopez-Muñoz, C. Martin, L. Palmisano, V. Rives, M. Schiavello, R. Tilley and A. Venezia, *J. Phys.Chem. B*, 105 (2001) 1026.
- (7) N. Serpone, P. Maruthamuthu, P. Pichat, E. Pelizzeti and H. Hidaka, *J. Photochem. Photobiol. A*, 85 (1995) 247.
- (8) S. Nasseem, M. Iqbal, K. Hussain, *Sol Energy Mater.* 31 (1993) 155.

- (9) A. Krzesinsky., Thin Solid Films, 138 (1986) 111.
- (10) M. Ristov, G. J. Sidaninovsky, Y. Grozdanov and M. Mitreski, Thin Solid Films, 148 (1987) 65.
- (11) C. H. Lee and L. Y. Lin, Appl. Surf. Sci. 92 (1996) 163.
- (12) M. Krunks and E. Mellikov, Thin Solid films 270 (1995) 33.
- (13) H. Gomez, A.A. Maldonado, R. Asomoza, E. P. Zironi, J. Canetas-Ortega and J. Palacios-Gomez, Thin Solid Films 293 (1997) 117.
- (14) A. S. Riad, S. A. Mahmoud and A. A. Ibrahim, Physica B 296 (2001) 319.
- (15) K. Vinodgopal, S. Hotchandani and P. V. Kamat, J. Phys. Chem. 97 (1993) 9040.
- (16) K. Vinodgopal, U. Stafford, K. A. Gray and P. V. Kamat, J. Phys. Chem. 98 (1994) 6797.
- (17) J. Rodriguez, M. Gomez, S.-E. Lindquist and C. G. Granqvist, Thin Solid Films, 360 (2000) 250.
- (18) T. B. Graham and J. R. Darwent, J. Chem Soc. , Faraday Trans. 1 83 (1989) 1631.

# CHARACTERIZATION AND BUTANOL/ETHANOL SENSING PROPERTIES OF MIXED TUNGSTEN OXIDE AND COPPER TUNGSTATE FILMS OBTAINED BY SPRAY-SOL-GEL

Damián M.<sup>(1)</sup>; Rodríguez Y.<sup>(1)</sup>; Solís J.<sup>(1), (2)</sup> [jsolis@uni.edu.pe](mailto:jsolis@uni.edu.pe);  
Estrada W.<sup>(1), (2)</sup> [westrada@terra.com.pe](mailto:westrada@terra.com.pe)

(1) Facultad de Ciencias – Universidad Nacional de Ingeniería / Lima, Perú

(2) Instituto Peruano de Energía Nuclear / Lima, Perú

## ABSTRACT

Mixed  $WO_3 - CuWO_4$  films have been prepared from aqueous solution of copper sulfate and polytungsten gel with molar ratio Cu/W from 0 to 100 %. These solutions were sprayed onto alumina substrates at 220 °C. The obtained films were amorphous, and crystallized after an annealing at 300 °C in air for 3 h. The annealed films were composed by a mixture of  $CuWO_4$  and  $WO_3$  phases. The film obtained from a solution with an equimolar ratio of Cu/W was a pure  $CuWO_4$ . The pure  $WO_3$  films obtained have a high surface “irregularities” (eventually the porosity). Those surface “irregularities” in the films were maintained or eventually increased as Cu/W molar ratio augments in the starting solution up to 10%. The gas sensitivities to butanol and ethanol vapors are also enhanced when the  $CuWO_4$  phase increases in the film up to 7% - 10%; further increments to this proportion the detection sensitivity decreases, so compromises are around 7% -10%. The gas sensitivity of pure  $CuWO_4$  was lower than pure  $WO_3$ .

## 1. INTRODUCTION

Mixed oxides have been intensively investigated to improve or modify the electrochromic, gas sensing, and photocatalytic properties. For example, the coloration efficiency decreases slightly but the lifetime of  $WO_3-TiO_2$  thin films can be five times longer than of pure  $WO_3$  [1, 2]; mixed oxides have recently emerged as promising candidate for gas detection [3]; and the degradation rate of 1,4-dichlorobenzene was enhanced by addition of  $WO_3$  to  $TiO_2$  [4]. It has been realized that most metal oxides mixtures exhibit increased surface activity.

Simple metal oxides such as  $SnO_2$ ,  $WO_3$ ,  $ZnO$  and  $TiO_2$  are well known materials that their conductance changes when the composition of the surrounding atmosphere is altered [5].

Different metals and oxides are used as dopants or catalysis in order to be improved the gas sensing properties [6]. 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 the key features for the performance of semiconductor gas sensors [5]. Surface properties are expected to be influenced by the grain boundaries between grains of different chemical composition; these phenomena will contribute to the gas sensing properties. Mixed oxides that forms distinct chemical compounds like in the systems Zn-Sn-O [7], Cd-In-O [8], and Sn-W-O [9-12] have been used successfully in gas detection.

Tamaki *et al.* [13] has study different metal tungstates to detect nitrogen oxides, however  $CuWO_4$  was missing in that study. A mixture of tungsten oxide and copper oxide heated in vacuum produces  $CuWO_4$  with a distorted wolframite type structure [14] and  $CuWO_3$  with a cubic structure [15]. The sol-gel technique is well suited for making mixed oxides, and work in W-Ti oxide [1], W-V oxide [16], V-Ti oxide [17], and Fe-Ti oxide [18] has been reported.  $W_xO_p$  films were obtained by spraying the polytungsten gel mixed with  $H_3PO_4$  onto glass substrate at 430 °C showed an improved electrochromism [19]. Combining the spray pyrolysis and the sol-gel techniques has produced very rough films [19]. This technique is very suitable to produce semiconductor metal oxide for gas-sensing applications; due that it yields a large interface between solid and a gaseous medium.

We report in this work the characterization and gas sensing properties of mixed  $WO_3-CuWO_4$  films obtained spraying the aqueous solutions of copper sulfate and polytungsten sol onto alumina substrates at 220 °C. The incorporation of the  $CuWO_4$  phase into  $WO_3$  improved the gas response to ethanol and butanol respect to pure  $WO_3$ .



## 2. EXPERIMENTAL

Combined spray pyrolysis and sol-gel techniques were used to obtain mixed tungsten oxide and copper tungstate films on alumina substrates. The process basically consists in producing an aerosol from a gel, which is sprayed on a hot substrate, where the film is going to grow. The outline of the spray system used in this work is described elsewhere [20]. A sol was prepared via acidification of 0.1 M sodium tungstate aqueous solution (pH  $\sim$  7.8) through a proton exchange resin. Different quantities of an aqueous solution of copper sulfate were added to the polytungsten sol to obtain a solution with a molar ratio Cu/W from 0 to 100 % (pH  $\sim$  1 – 1.5). These solutions were sprayed onto alumina substrates at 220 °C for 45 min.

For gas sensing studies the films were deposited onto alumina substrates with a preprinted gold electrodes, being 0.3 mm apart, and Pt-heating resistor on the reverse side. Rectangular (3 x 2.5 mm<sup>2</sup>) mixed WO<sub>3</sub>-CuWO<sub>4</sub> films were formed so they bridged the gold electrodes. The films were annealed in air by heating at temperatures in the 300 <  $\tau_a$  < 600 °C range for 3 h.

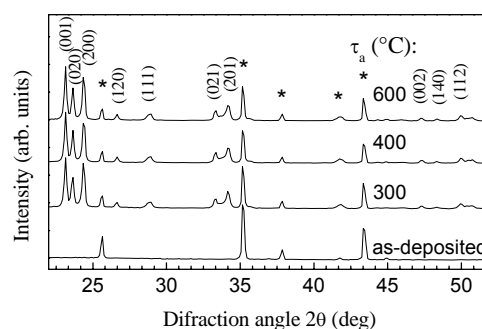
## 3. STRUCTURAL PROPERTIES

The crystal structures of mixed WO<sub>3</sub>-CuWO<sub>4</sub> films obtained were characterized by x-ray diffraction (XRD), and Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR). XRD was performed with a Phillips X Pert diffractometer operating with CuK $\alpha$  radiation, and the infrared spectra were measured in the 450 – 4000 cm<sup>-1</sup> wave number range using a Shimadzu 8300 spectrophotometer. For FTIR measurements a scratched film from the alumina substrate were mixed with KBr to make a very thin disc.

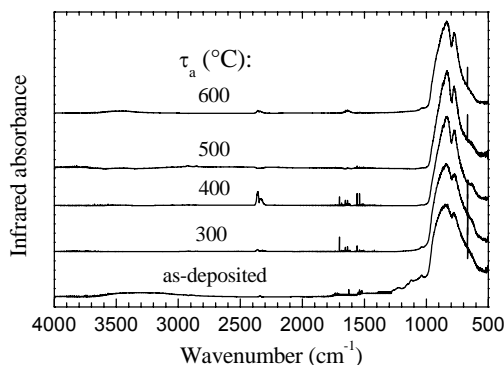
X-ray diffraction patterns for WO<sub>3</sub> films in as-deposited state and after annealing at 300, 400 and 600 °C are shown in Fig. 1; the peaks corresponding to the substrate are marked inset with an asterisk. The as-deposited WO<sub>3</sub> film does not show any peak at all. The heat-treated samples crystallize to the monoclinic WO<sub>3</sub> phase. Figure 2 shows the FTIR spectra for as-deposited and annealed (at 300, 400, 500, and 600 °C) WO<sub>3</sub> films. Both the as-deposited film and that annealed at 300 °C show a broad band at  $\sim$ 3400 cm<sup>-1</sup> which is ascribed to O-H stretching mode of water molecules in the films.

The broad peak in the region between 600 and 1050 cm<sup>-1</sup> with a shoulder around 850 cm<sup>-1</sup> can be attributed to the vibration modes of WO<sub>3</sub> [21]. The broad band of as-deposited WO<sub>3</sub> diminishes as the annealing temperature increases. For gas sensing experiments we used the films annealed at 600 °C, because the sensing effect is very well known to be optimized at temperatures between 200 and 400 °C.

Figure 3 shows the X-ray diffractograms for films made from different solutions with Cu/W molar ratio from 0 to 100 % and post-annealed at 600 °C. Peaks belonging to WO<sub>3</sub> as well as CuWO<sub>4</sub> phases are indicated in the figure. The asterisks in the figure represent the peaks due to substrate. Both WO<sub>3</sub> and CuWO<sub>4</sub> phases have x-ray diffraction peaks at 2 $\theta$  in the 22° - 25° range, and the broken lines indicate the Bragg angles of the WO<sub>3</sub>-stronger-peaks in this region. The incorporation of Cu into the WO<sub>3</sub> shows a systematic change of the peaks. Fig. 3 (in set) shows that the films obtained from solutions with a molar ratio Cu/W higher than 3 % present a strong CuWO<sub>4</sub> peak at 2 $\theta$  = 19.05°; therefore, the films obtained from molar ratio Cu/W higher than 3 % have both WO<sub>3</sub> and CuWO<sub>4</sub> phases. The amount of the CuWO<sub>4</sub> phase in the film increases as the molar ratio Cu/W in the starting solution augments. The film obtained from an equimolar solution of Cu and W was mainly CuWO<sub>4</sub>.

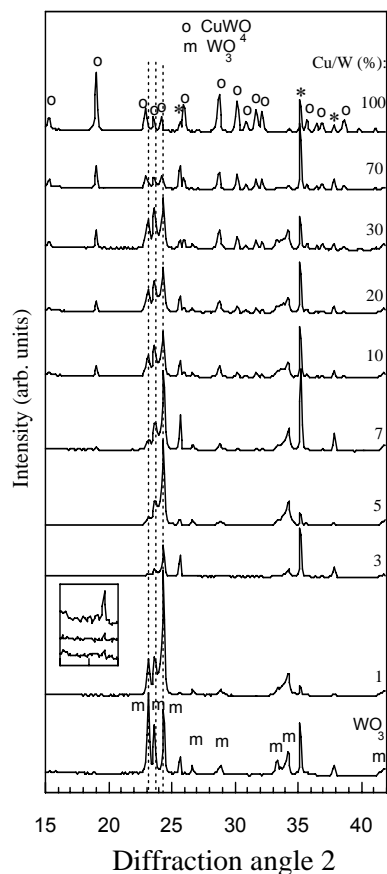


**Figure 1.** X-ray diffraction patterns for WO<sub>3</sub> films in as-deposited state and after annealed at 300 <  $\tau_a$  < 600 °C. Asterisks denote diffraction peaks from the substrate.



**Figure 2.** FTIR Spectra measured for  $\text{WO}_3$  films in as-deposited state and after annealed at  $300 < \tau_a < 600$  °C.

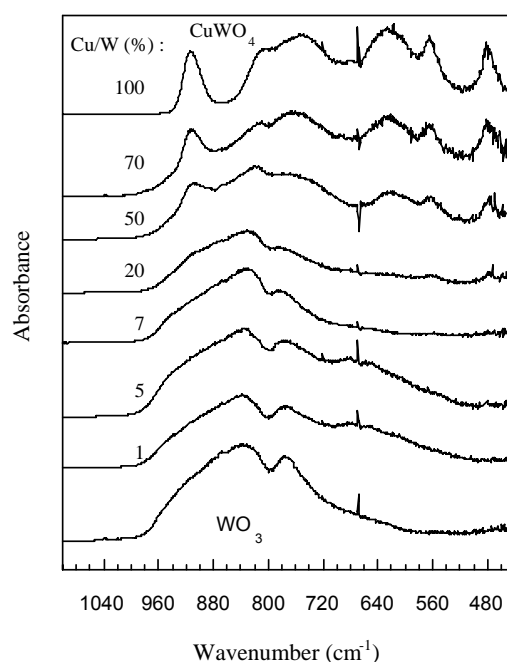
The infrared spectra of the films made from solutions with different molar ratio Cu/W from 0 to 100 % and post annealed at 600 °C are shown in Fig. 4. The infrared spectra of the films change as the amount of Cu increases in the spraying solution. The infrared spectrum of pure  $\text{CuWO}_4$  is in good agreement with those reported by Clark [22] and Arora [23]. The  $\text{CuWO}_4$  has a strong peak at around  $914 \text{ cm}^{-1}$  and  $\text{WO}_3$  has a broad peak around  $850 \text{ cm}^{-1}$ ; it is hard to detect small concentrations of  $\text{CuWO}_4$  in the film by infrared spectroscopy. The films prepared from a molar ratio Cu/W higher than 20 % present infrared bands corresponding to both  $\text{WO}_3$  and  $\text{CuWO}_4$  phases. The X-ray diffraction is more sensible to detect small amounts of  $\text{CuWO}_4$  in the films than infrared spectroscopy, but both results are in agreement in a general context.



**Figure 3.** X-ray diffraction patterns for films made from solution with different molar ratio Cu/W after annealing at 600 °C. Asterisks denote diffraction peaks from the substrate. Diffraction peaks from  $\text{WO}_3$  (m) and  $\text{CuWO}_4$  (o) phases are also indicated. The broken lines indicate the stronger positions of the  $\text{WO}_3$ . The inset shows the strong peak of  $\text{CuWO}_4$  at  $2\theta=19.05^\circ$  for films obtained from solutions with molar ratio Cu/W 3, 5 and 7%.

The microstructure of the films was analyzed by a scanning electron microscope (SEM), a Hitachi S500 instrument. The morphology of the as-deposited  $\text{WO}_3$  films post-annealed at 600 °C for 3 h is shown in Figure 5 with low (a) and high (b) magnification. The as-deposited  $\text{WO}_3$  film is composed of smooth fibers of around  $1.2 \mu\text{m}$  wide. After annealing the surface of the films became very rough with interconnecting rings: the smooth fibers turn to agglomerated grains. These grains revealed the crystallization of  $\text{WO}_3$ , which correlate the results from XRD. From micrographs (Fig. 6) one can follow the surface "irregularities" (eventually the porosity) variation of the mixed  $\text{WO}_3$ - $\text{CuWO}_4$  films. The films obtained from solutions of Cu/W molar

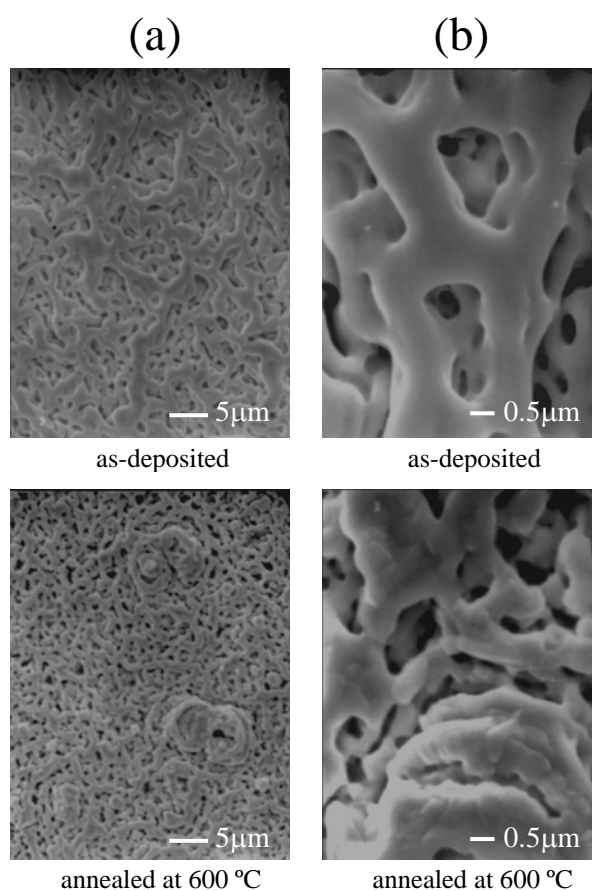
ratio less than 10 % present surface "irregularities" which start to decrease when films are made from molar ratio of Cu/W higher than 10 %; at this range the density of small spheres starts to increase as Cu/W ratio augments. The morphology of the pure  $\text{CuWO}_4$  film is composed of agglomerated small grains with a rough surface. A quantitative study of roughness and porosity are going to be performed at further work in order to establish a correlation between Cu/W (%) and roughness (eventually porosity) of the films.



**Figure 4.** FTIR spectra measured for mixed  $\text{WO}_3$ - $\text{CuWO}_4$  films made from solution with different molar ratio Cu/W after annealing at 600 °C.

#### 4. GAS SENSING PROPERTIES

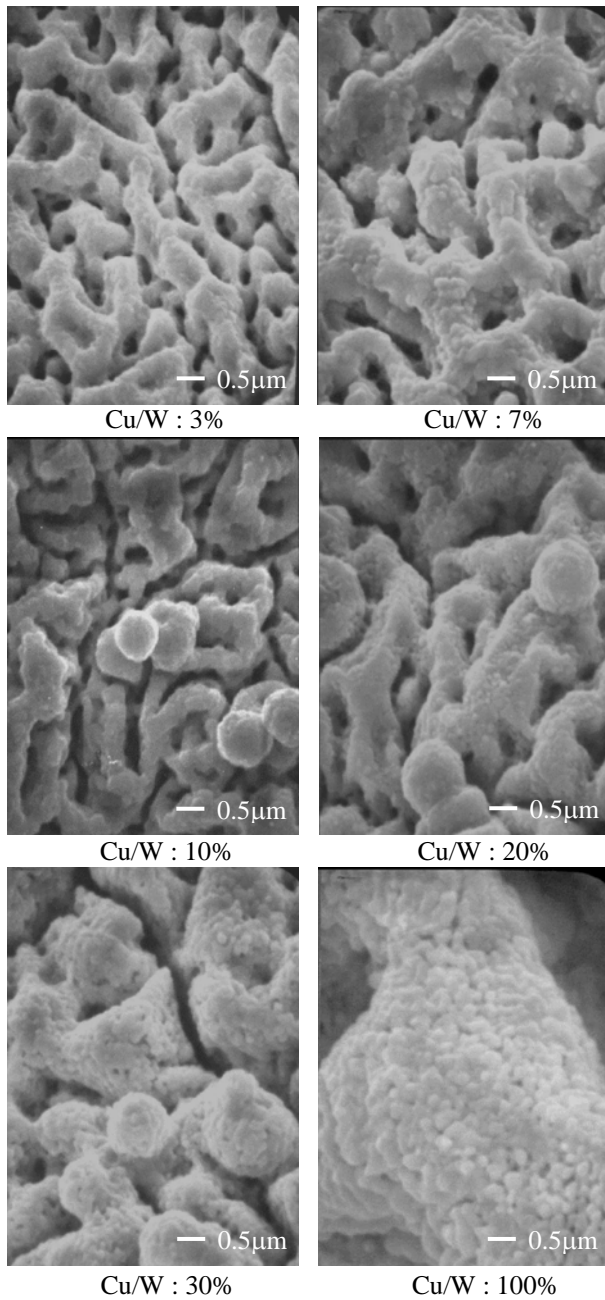
Pt-wire contacts were attached with a low-temperature gold paste to the two gold electrodes on the alumina substrate for electrical conductance measurements. The samples under test were placed in a stainless steel chamber (4.4 L) and exposed to different butanol and ethanol vapor concentrations. The 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 various working temperatures  $\tau_0$  in the  $240 < \tau_0 < 400$  °C range and using a computer-controlled measuring system.



**Figure 5.** Scanning electron micrographs for  $\text{WO}_3$  films as deposited and annealed at 600 °C in air for 3 h. Parts (a) and (b) refer to low and high magnification, respectively, as apparent from the horizontal bars

The gas sensitivity is defined here as the conductance ratio  $G_{\text{gas}}/G_{\text{air}}$ , where  $G_{\text{gas}}$  and  $G_{\text{air}}$  denote the conductance in the test gas and in air, respectively. Figure 7 shows results on the time dependence of conductance,  $G(t)/G_{\text{air}}$ , of a  $\text{WO}_3$  film annealed at 600 °C during repeated exposures to 5 ppm of ethanol in air at various working temperatures. The optimum working temperature for  $\text{WO}_3$  film to detect ethanol was found to be around 400 °C. Response and recovery times were 10 s and 30 s, respectively. For temperatures lower than 400 °C the conductance variation was small even for long response and recovery times. For this experiment we used a working temperature of 400 °C. The sensitivity of  $\text{WO}_3$  film to different concentrations of ethanol and butanol at 400 °C is shown in Figure 8. The sensitivity to butanol has a saturation for concentrations higher than 30 ppm, however the sensitivity to ethanol increases as ethanol concentrations increases

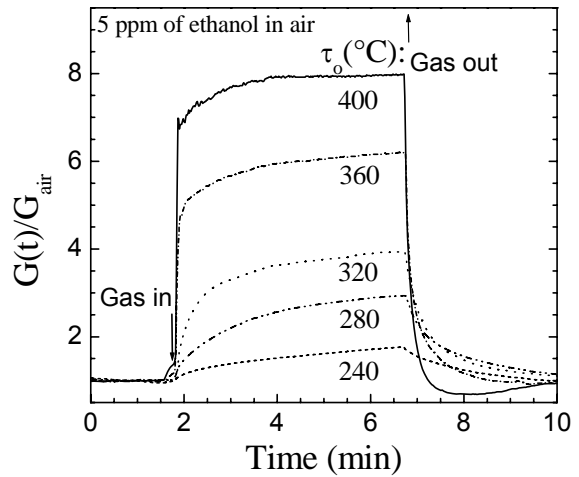
according to and approximate power law dependence.



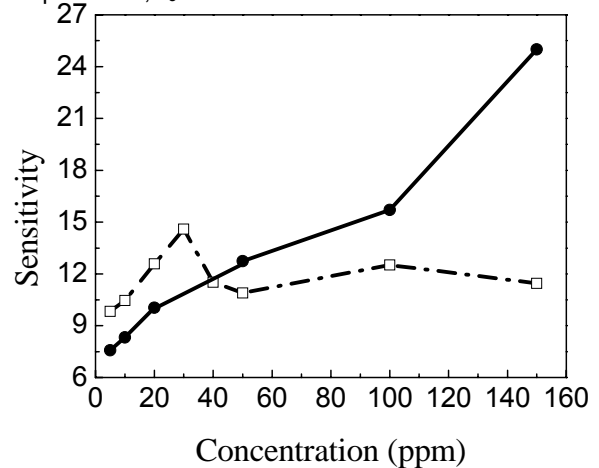
**Figure 6.** SEM micrographs for mixed  $\text{WO}_3\text{-CuWO}_4$  films after annealing at  $600\text{ }^\circ\text{C}$  obtained from solutions with the shown molar ratio  $\text{Cu/W}$ .

Figure 9 shows results of a detailed study on the gas sensitivity of mixed  $\text{WO}_3\text{-CuWO}_4$  films obtained from different solutions with molar ratio  $\text{Cu/W}$  from 0 to 100 % after annealed at  $600\text{ }^\circ\text{C}$  to 5 ppm of ethanol and butanol. The gas sensitivities to butanol and ethanol vapors are higher for films made from solutions with molar ratio  $\text{Cu/W}$  lower than 40 % than pure

$\text{WO}_3$ . The films obtained from solutions with molar ratio  $\text{Cu/W}$  higher than 40 % have lower gas sensitivity than pure  $\text{WO}_3$ . It was found the optimal molar ratio  $\text{Cu/W}$  for the solutions used to prepare the films were 10% and 7% with high gas sensitivity to butanol and ethanol, respectively. The pure  $\text{CuWO}_4$  film has lower gas sensitivities to ethanol and butanol than  $\text{WO}_3$ . Response and recovery times for mixed  $\text{WO}_3\text{-CuWO}_4$  films are similar than the pure  $\text{WO}_3$ .



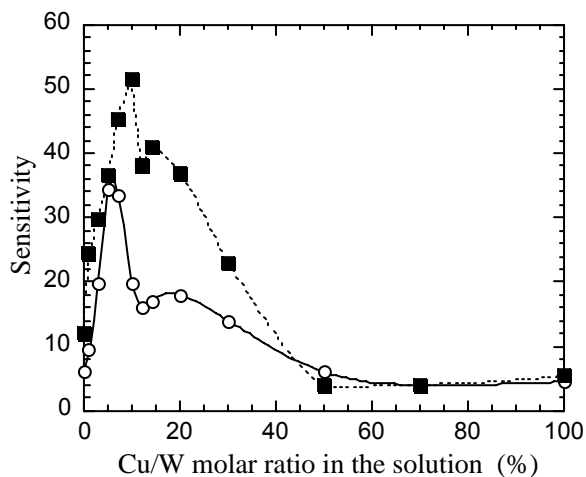
**Figure 7.** Conductance response vs. time,  $G(t)/G_{\text{air}}$ , of  $\text{WO}_3$  film after annealed at  $600\text{ }^\circ\text{C}$ , subjected to 5 ppm of ethanol in air at different operating temperatures,  $\tau_0$ .



**Figure 8.** Sensitivity of  $\text{WO}_3$  films after annealed at  $600\text{ }^\circ\text{C}$  to various concentrations of ethanol (○) and butanol (■) in air. The operating temperature is  $400\text{ }^\circ\text{C}$ .

Similar results were reported with 10 wt.% of  $\text{SnO}_2$  or  $\text{ZrO}$  loaded in  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  [24]. The high sensitivity of these sensors were explained on the basis of a  $\text{SnO}_2$  or  $\text{ZrO}$  activity than invokes the acid-based properties of sensing materials

towards the sensitive detection ethanol vapor in air [25]. The mechanism of the ethanol sensing is well described by Hellegouar'h et al. [26], and applies to our results.



**Figure 9.** Sensitivity vs molar ratio Cu/W from the solution used to obtain mixed  $\text{WO}_3$ - $\text{CuWO}_4$  films after annealed at 600 °C, exposed to 5 ppm of ethanol (○) and butanol (■) in air. The operating temperature is 400 °C.

## 5. DISCUSSION AND CONCLUSIONS

The annealed films obtained from a solution with molar ratio Cu/W lower than 3 % were mainly monoclinic  $\text{WO}_3$ , whereas those obtained from solutions with higher Cu/W molar ratios were composed of a mixture of  $\text{CuWO}_4$  and  $\text{WO}_3$  phases. The amount of the  $\text{CuWO}_4$  phase in the film augmented as the Cu/W molar ratio increased in the starting solution. The film obtained from a solution with a molar ratio Cu/W of 100% was pure  $\text{CuWO}_4$ . The  $\text{WO}_3$  films obtained using the combined sol-gel and spray pyrolysis showed high surface "irregularities" (eventually the porosity). The films obtained from solutions of Cu/W molar ratio up to 10% keep the "irregularities", but agglomerate of grains are formed when films are deposited from solutions with higher Cu/W molar ratio than 10%. The morphology of the  $\text{CuWO}_{4-x}$  films is composed of large crystallites.

The gas sensitivities to butanol and ethanol vapors are enhanced when both  $\text{WO}_3$  and  $\text{CuWO}_4$  phases are present in the films. It was found that optimal Cu/W molar ratio for spraying solutions were around 10% and 7% in order to get high gas sensitivity to butanol and ethanol,

respectively. The  $\text{CuWO}_4$  film has lower gas sensitivities than  $\text{WO}_3$ .

Therefore the presence of small amounts (less than 10 %) of  $\text{CuWO}_4$  improves the detection sensitivity of both butanol and ethanol probably due to the change of acid-based properties of the surface in the films [25], but at higher proportions crystallization of  $\text{CuWO}_4$  predominates diminishing the gas sensitivity detection, so the compromise of both tendencies are about 7-10 %.

## ACKNOWLEDGEMENTS

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

## REFERENCES

- [1] S. Hashimoto, H. Matsuoka, J. Electrochem Soc. 138 (1991) 2403.
- [2] J. Gottsche, A. Hinsh, V. Wittwer, Sol. Energy Mater. Sol. Cells 31 (1993) 415.
- [3] K. Zakrzewska, Thin Solid Films 391 (2001) 229.
- [4] Y.R. Do, W. Lee, K. Dwight, A. Wold, J. Solid State Chem. 108 (1994) 198.
- [5] M.J. Madou, S.R. Morrison, Chemical Sensing with Solid State Devices, Academic, San Diego, 1989.
- [6] G. Sberveglieri, Sens. Actuators B 23 (1995) 103.
- [7] Y.-S. Shen, T.-S. Zhang, Sens. Actuators B 12 (1993) 5.
- [8] Z. Szklarski, K. Zakrzewska, M. Rekas, Thin Solid Films 174 (1989) 269.
- [9] J.L. Solis, V. Lantto, Sens. Actuators B 24-25 (1995) 591.
- [10] J.L. Solis, V. Lantto, Physica Scripta T69 (1997) 281.

- [11] J.L. Solis, V. Lantto, *Sens. Actuators B* 48 (1998) 322.
- [12] J.L. Solis, V. Lantto, L. Haggstrom, B. Kalska, J. Frantti, S. Saukko, *Sens. Actuators B* 68 (2000) 286.
- [13] J. Tamaki, T. Fujii, K. Fujimori, N. Miura, N. Yamazoe, *Sens. Actuators B* 24-25 (1995) 396.
- [14] E. Gerbert, L. Kihlberg, *Acta Chem. Scand.* 21 (1967) 2575.
- [15] E. Gerbert, L. Kihlberg, *Acta Chem. Scand.* 23 (1969) 221.
- [16] N. Ozer, C.M. Lampert, *Thin Solid Films* 349 (1999) 205.
- [17] N. Ozer, S. Sabuncu, J. Cronin, *Thin Solid Films* 338 (1999) 201.
- [18] M. Macek, B. Orel, T. Meden, *J. Sol-Gel Sci. Technol.* 8 (1997) 771.
- [19] M. Gomez, A. Medina, W. Estrada, *Sol. Energy Mater.* 64 (2000) 297.
- [20] M. Miki, E. Andrade, *Thin Solid Films* 224 (1993) 87.
- [21] M.F. Daniel, B. Desbat, J.C. Lassègues, B. Gerand, and M. Figlarz, *J. Solid State Chem.* 67 (1987) 235.
- [22] G. M. Clark, and W.P. Doyle, *Spectrochim. Acta* 22 (1966) 1441.
- [23] S.K. Arora, T. Mathew, and N.M. Batra, *J. Crystal Growth* 88 (1988) 379.
- [24] C.V. Gopal Reddy, W. Cao, O.K. Tan, and W. Zhu, *Sens. Actuators B* 81 (2002) 170.
- [25] T. Jinkawa, G. Sakai, J. Tamaki, N. Miura, N. Yamazoe, *J. Mol. Catal. A: Chem.* 155 (2000) 193.
- [26] F. Hellegouar'h, F. Arefi-Khonsari, R. Planade, and J. Amouroux, *Sens. Actuators B* 73 (2001) 27.

## ***IV. Aplicaciones en la Industria***

# EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DE LA LAGUNA TERCIARIA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (UNITRAR) DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA, MEDIANTE EL EMPLEO DE I-131

Condori J. <sup>(1)</sup> [jcondori@ipen.gob.pe](mailto:jcondori@ipen.gob.pe); Maghella G. <sup>(1)</sup> [gmaghella@ipen.gob.pe](mailto:gmaghella@ipen.gob.pe); Mamani E. <sup>(1)</sup> [emamani@ipen.gob.pe](mailto:emamani@ipen.gob.pe); Balboa M. <sup>(2)</sup>; Fustamante N. <sup>(2)</sup>

(1) Dirección de Aplicaciones – IPEN / Lima, Perú  
(2) Universidad Nacional de Ingeniería / Lima, Perú

## 1. RESUMEN

El presente estudio consistió en la determinación del tiempo de residencia de la laguna de estabilización de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (UNITRAR), mediante el empleo de técnica de trazadores, a través de la inyección a la entrada de dicha laguna, de un trazador emisor gamma (I-131) a fin de evaluar el comportamiento del radiotrazador (y por ende las características hidráulicas de la laguna), hasta su salida mediante el empleo de sondas de detección.

## 2. CONTENIDO

Muchas plantas de tratamiento de aguas residuales no tienen la eficiencia esperada por deficiencias hidráulicas que ocasionan diferentes distribuciones de flujo y afectan los periodos de retención del agua en los reactores. Por esto, es necesario realizar evaluaciones. Estas evaluaciones se pueden llevar a cabo mediante el uso de radiotrazadores, a fin de evaluar el comportamiento hidráulico de la laguna y en la cual se muestran las peculiaridades del fluido dentro de la misma: presencia de cortocircuitos, volúmenes muertos, mezcla completa, etc.

Las aguas residuales domésticas que son tratadas por la laguna de estabilización estudiada provienen de los poblados colindantes con la laguna: El Milagro y El Ángel (8000 y 10000 habitantes respectivamente). El caudal de diseño de la planta es de 10 l/s, para una carga orgánica, en términos de DQO, de 500 mg/l.

El tratamiento que se lleva a cabo en esta Planta, está constituido por un sistema de lagunas del tipo facultativas en serie, la primera de forma rectangular (8000 m<sup>3</sup>) y la

segunda de forma cuadrada y con un volumen aproximado de 3750 m<sup>3</sup>).

El modelo hidráulico de ambas lagunas es de flujo disperso y los procesos que se llevan a cabo en ellas son: sedimentación; digestión; estabilización aeróbica de la materia orgánica; fotosíntesis con formación de algas y producción de oxígeno y consumo de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>); y remoción de bacterias y organismos patógenos.

Para la experiencia, se colocaron los detectores en diversos puntos de la laguna, de acuerdo a la Fig. 1:

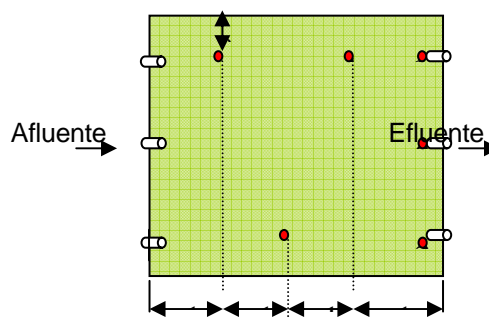


Figura 1. Distribución de los detectores en la laguna de estabilización.

Para evaluar los parámetros hidráulicos se consideró el caudal de funcionamiento y el volumen de la laguna, por lo que se empleó 80 mCi de I-131 y se utilizó el método de inyección instantánea (ver Fig. 2).

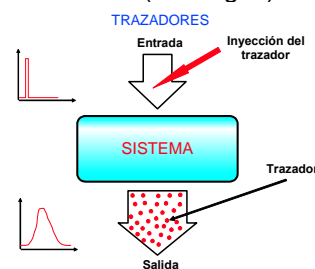
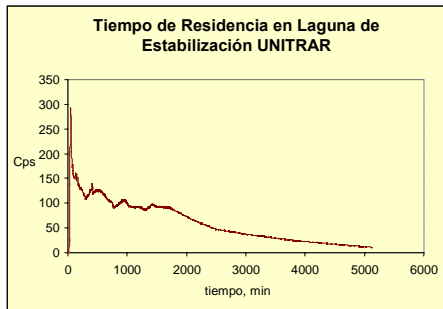


Figura 2. Evaluación de un Sistema mediante la Inyección de trazador.



El tiempo de residencia  $\Theta$  se calculó teniendo en cuenta el baricentro de la curva mostrada en la Figura 3.



**Figura 3.** Curva de respuesta del trazador a la salida de la Laguna.

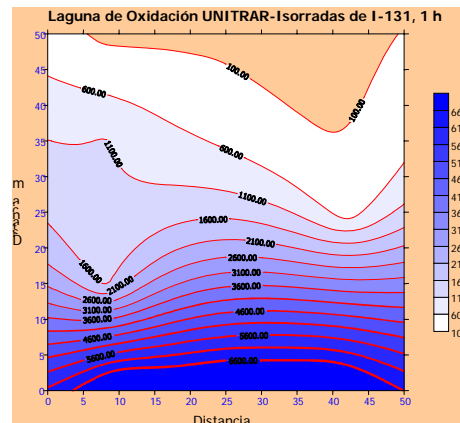
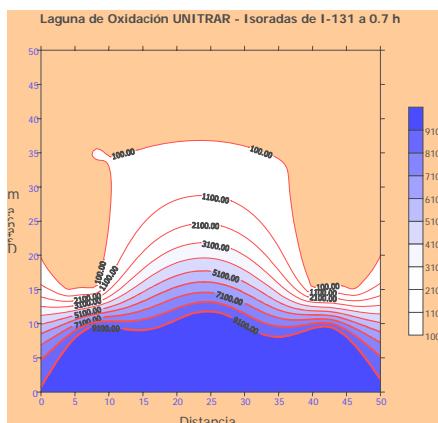
Se advierte que aprox. a las 48 horas de la inyección de trazador prácticamente el nivel de éste es muy bajo, con una fracción del mismo significativa que ya ha pasado, determinando que la curva de respuesta

presente una cola relativamente larga por efecto de la presencia de zonas con volúmenes muertos de tránsito muy lento.

$\Theta$ teórico	$\Theta$ práctico	% vol. muerto
4.34	3.57	17.74

A continuación se tiene el análisis de la curva, utilizando el método de Wolf Resnick y de Coeficiente de dispersión.

Distancia Pto. de Inyec. -Sonda (m)	Coef. de Disp. longitudinal	Vol. Muerto (%)	Flujo Pistón (%)	Flujo Mezclado (%)
15	1.50	10.20	5.03	84.77
25	0.69	0.00	18.70	81.30
35	0.65	19.50	9.98	70.52
50	0.84	17.34	11.32	71.34
				% FM prom. = 76.98



**Figuras 4 y 5.** Comportamiento y distribución del flujo en la laguna de estabilización.

a las 0.7 h. luego de la inyección, existe flujo preferencial superficial y al centro de la unidad. Al lado derecho de ésta se observa una retracción de las isorradadas, lo que podría inducir a la existencia de un elemento que distorsione las líneas de flujo, posiblemente la altura del sedimento en el fondo de la unidad. Esto ocurre aprox. entre 20 y 25 metros del punto de inyección. Al cabo de una hora, parte del trazador con flujo preferencial tipo pistón llega al otro extremo de la unidad, casi con contaje de fondo.

Como conclusiones tenemos:

- El trazador recorre 3/5 de distancia lineal de la Laguna en 0,7 hr, y sale a la hora de iniciado el experimento lo que nos indica que hay un flujo preferencial en la parte superior de la

Laguna, siendo este flujo mayor por la parte central.

- El tiempo de residencia para la estación de verano es de 3.57 días, este valor varía de acuerdo a los caudales, temperatura y regulación a la salida de la Laguna de Estabilización.
- El % de volumen muerto de la laguna es de 17.34%, flujo pistón de 11.32 % y el de flujo mezclado de 71.40%.

### 3. REFERENCIAS

[1] International Atomic Energy Agency, "Radiotracer Technology for Engineering Unit Operation Studies and Unit Processes Optimization", Poland – 1999.

# MINAS DE GRAFITO STAEDTLER® COMO ELECTRODO DE TRABAJO DESCARTABLE PARA VOLTAMETRIA DE REDISOLUCION ANODICA

Chacón E. <sup>(1)</sup>; Montoya E. <sup>(1)</sup>

(1) Dirección General de Promoción y Desarrollo Tecnológico – IPEN / Lima, Perú

## RESUMEN

Se describe el uso de minas de grafito recubiertas electrolíticamente con mercurio, como electrodos descartables de trabajo para el análisis de plomo y cadmio en muestras de agua mediante voltametría inversa de onda cuadrada. Al emplear solución tampón CH<sub>3</sub>COONa – CH<sub>3</sub>COOH 1.13 M de pH = 4,7 como electrolito soporte, se observó una linealidad en el rango de 0 a 150 ppb con coeficientes de correlación de 0.9997 y 0.9991 para plomo y cadmio respectivamente. Los límites de detección determinados (P = 95 %) fueron de 3 (± 1) ppb para plomo y 5 (± 2) ppb para cadmio. Empleando solución de KNO<sub>3</sub> 0.1M como electrolito de soporte, se observó una linealidad en el rango de 0 a 50 ppb con coeficientes de correlación de 0.9999 y 0.9997 para plomo y cadmio respectivamente. Los límites de detección determinados (P = 95%) fueron de 0.7 (± 0.2) ppb para plomo y 1.1 (0.4 ppb) para cadmio. La desviación estándar relativa de la mediciones fue de hasta 4% en el rango de 20 a 150 ppb para los analitos estudiados. El electrodo propuesto es fácil de elaborar y de bajo costo.

## INTRODUCCIÓN

La voltametría de redisolución anódica es una técnica electroanalítica empleada en la determinación de trazas de metales pesados (Pb y Cd). Debido a que incluye el paso de la preconcentración de los analitos en la superficie del electrodo, alcanza límites de detección de 10<sup>-9</sup> M [1, 2]; y el hecho de emplear un barrido de onda cuadrada en el paso de la redisolución incrementa la sensibilidad y rapidez de la técnica [3, 4].

Los electrodos de trabajo que se aplican en las técnicas voltamétricas por redisolución, se clasifican en dos grandes grupos: a) los electrodos de mercurio de goteo y de gota colgante, y b) los electrodos sólidos inertes. Los primeros se utilizan frecuentemente

porque presentan amplios intervalos de potencial catódico y por su geometría (casi esférica), ya que en ellos la relación superficie / volumen juega un papel importante en la sensibilidad del análisis.

A mediados de 1970, Florence desarrolló los electrodos de película de mercurio (MFE), que fueron estudiados electroquímicamente por Lund y Salberg [5]. El electrodo consiste en depositar in situ sobre un soporte inerte una capa muy delgada de mercurio. El electrodo ofrece una gran relación superficie / volumen que permite una amplia concentración de amalgama durante la etapa de depósito, y puede ser empleado bajo condiciones de agitación intensa de la solución [6].

A lo largo de las últimas décadas se han realizado diversos estudios avocados a encontrar electrodos indicadores alternativos a La gota colgante de mercurio, como el realizado por Samuel S. Lord y L.B. Rogers [7], en el que se compara el uso de diversos electrodos indicadores en estado sólido (grafito, oro y platino) para voltametría, debido a que estos pueden ser usados a potenciales anódicos más intensos que el electrodo de gotas de mercurio tradicional, no existiendo variaciones en el área del electrodo, evitando el ruido capilar y evitando el empleo de volúmenes considerables de mercurio líquido; el grafito ofreció excelentes resultados en las pruebas realizadas. Recientemente, Mikkelsen y Schröeder [8] han propuesto un electrodo de amalgama dental, para la determinación de Zn, Pb y Cd en vinos y TI en brandy, a niveles de ng/ml.

El grafito empleado normalmente en voltametría es carbón vitrificado de grado espectrográfico [9, 10] y se impregna de cera [11] para cubrir las porosidades existentes en su estructura. Algunos autores han propuesto recubrir la superficie del electrodo con Nafión que es un polímero intercambiador de iones que evita la adsorción de componentes,

potencialmente interferentes, de la matriz de la muestra, permitiendo que el analito llegue al electrodo. [12, 13].

Como alternativa al empleo del carbón vítreo de grado espectrográfico se propone el uso de repuestos de lápices automáticos comerciales como electrodos indicadores sólidos, descartables, de bajo costo y sin otro recubrimiento que una película de mercurio, para el análisis de metales pesados a nivel de trazas por voltametría inversa.

## PARTE EXPERIMENTAL

### Instrumentación

Se empleó un prototipo de analizador voltamétrico elaborado y construido en los laboratorios de Instrumentación y Desarrollo Electrónico [14]; el control del experimento y la adquisición de datos se realizó empleando un programa elaborado en el sistema de desarrollo LabWindows CVI<sup>®</sup> V5.0 de NATIONAL INSTRUMENTS<sup>®</sup>. El pH se midió empleando un Potenciómetro Orión 920 EA.

### Electrodos

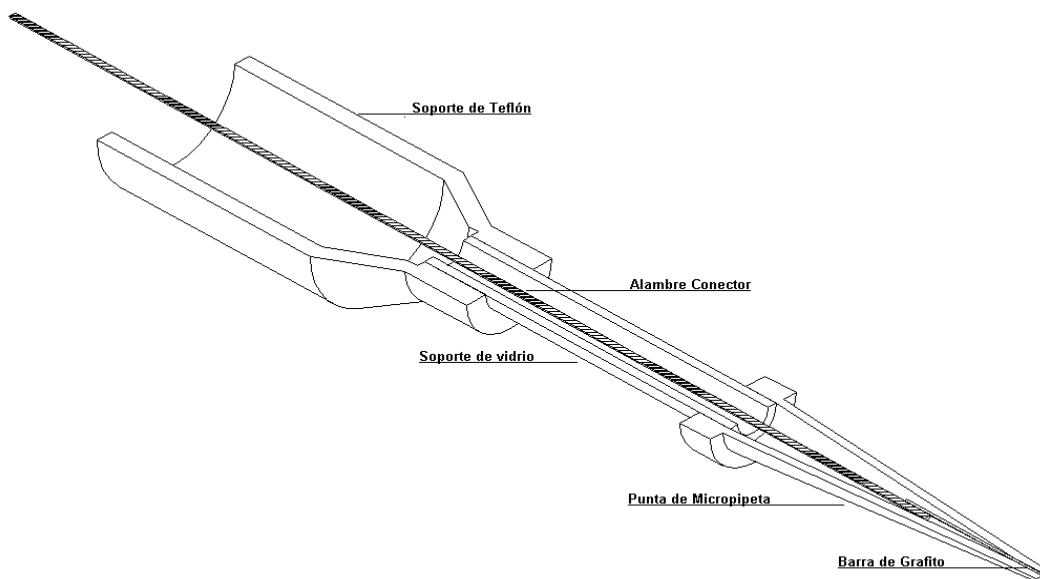
El electrodo de trabajo utilizado se diseñó de manera que sea intercambiable; este electrodo consta de una barra de grafito de

0.5 mm de diámetro, obtenida comercialmente como minas de repuestos para lápices automáticos, la marca empleada fue STAEDTLER<sup>®</sup> 0.5 HB. La barra de grafito se coloca dentro de una punta de micropipeta a presión (figura 1); luego se uniformiza la superficie empleando papel lija N° 2500, procediendo por último a pulir manualmente la superficie del electrodo en forma circular con papel brillante.

Se empleó un electrodo combinado de Ag/AgCl (saturado con KCl) como electrodo de referencia y alambre de platino como electrodo auxiliar.

### Reactivos

Soluciones estandar de cadmio (10 000 ug ml<sup>-1</sup>) y plomo (1000 ug ml<sup>-1</sup>) fueron obtenidas de MERCK<sup>®</sup>. La solución de plateado Hg<sup>+1</sup> 1x10<sup>-3</sup> g mL<sup>-1</sup> se preparó a partir de HgNO<sub>3</sub>.H<sub>2</sub>O (MERCK<sup>®</sup> grado analítico), HNO<sub>3</sub> cc (grado suprapuro). Los electrolitos de soporte empleados fueron: a) Solución tampón CH<sub>3</sub>COONa – CH<sub>3</sub>COOH de concentración global de 1.13M y pH = 4.7; b) Solución de KNO<sub>3</sub> 0.1M. El oxígeno presente en el electrolito de soporte fue purgado por un tiempo de 10 minutos antes de realizadas las mediciones, empleando nitrógeno gaseoso PRAXAIR<sup>®</sup> de alta pureza.



**Figura 1.** Vista de la sección transversal completa del electrodo de grafito de 0.5mm de diámetro.

### Procedimiento

La lámina de mercurio se obtiene por electrodeposición la siguiente manera: se coloca una solución de  $1.0 \times 10^{-3} \text{ mol l}^{-1} \text{ Hg}_2^{+2}$  al interior de la celda polarográfica, y se mantiene el potencial del electrodo a  $-0.9 \text{ V}$  por un tiempo de 20 minutos; luego esta solución se cambia por 15 ml de la solución de electrolito de soporte y el potencial se lleva a  $+0.1 \text{ V}$  por un tiempo de 10 minutos.

Las curvas de calibración mostradas en las figuras 6 – 9, fueron obtenidas por adiciones sucesivas de cantidades apropiadas, de soluciones estándar con una concentración inicial de 1000 ppb de los iones plomo y cadmio, obteniéndose

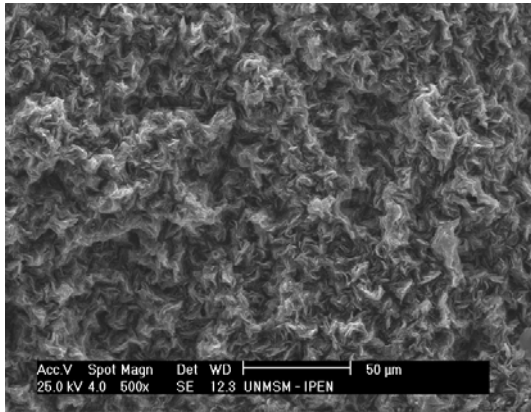
luego voltamogramas como los mostrados en las figuras 4 y 5.

Las condiciones para la electrodeposición fueron: un potencial de  $-0.9 \text{ V}$  vs. Ag/AgCl durante 5 minutos, el plomo y el cadmio fueron redissueltos por SWASV empleando un barrido anódico, con una velocidad de barrido  $2 \text{ mV/s}$ ,  $25 \text{ mV}$  de altura de pulso, con un tiempo de pulso de 0.15 segundos.

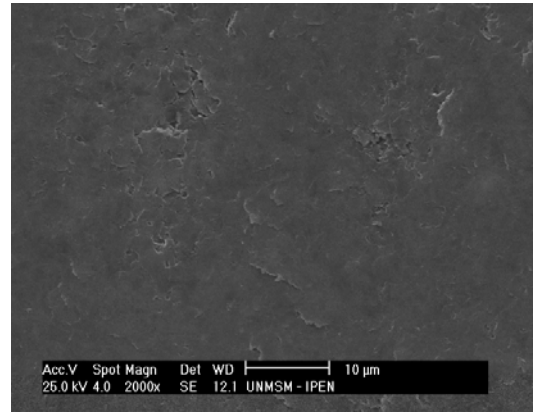
El cálculo de los resultados fué realizado por un programa de macros en Excel®. Las incertidumbre de todas las mediciones fueron determinadas con un nivel de confianza del 95%, de acuerdo a los procedimientos recomendados por la Organización Internacional de Estandarización [15].

**Tabla 1.** Rectas de Calibrado para los iones Pb(II) y Cd(II) por Voltametría de Redisolución Anódica (SWASV). Electrolito de Soporte  $\text{KNO}_3$  0.1M.

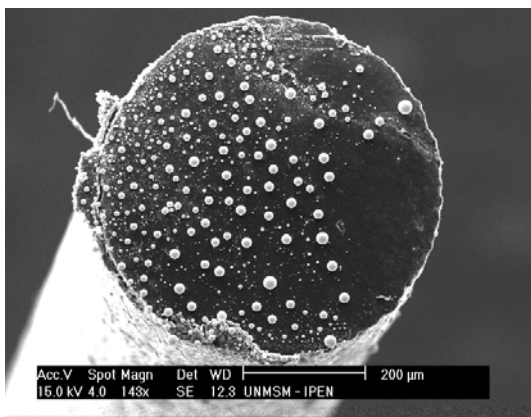
Elemento	Recta de Calibrado	Margen de Linealidad	Límite de Detección	$r^2$
Plomo	$I_p(\mu\text{A}) = -0.001 + 0.0203x$	$2.42 \times 10^{-7} - 4.83 \times 10^{-8} \text{ M}$	$5.3 \times 10^{-9} \text{ M}$	0.9997
Cadmio	$I_p(\mu\text{A}) = 0.003 + 0.0198x$	$4.45 \times 10^{-7} - 4.8 \times 10^{-8} \text{ M}$	$6.2 \times 10^{-9} \text{ M}$	0.9999



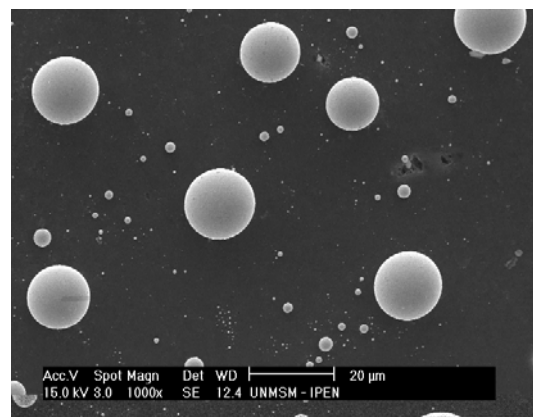
(a)



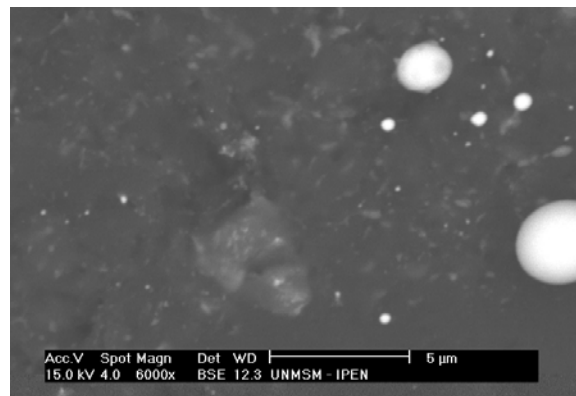
(b)



(c)

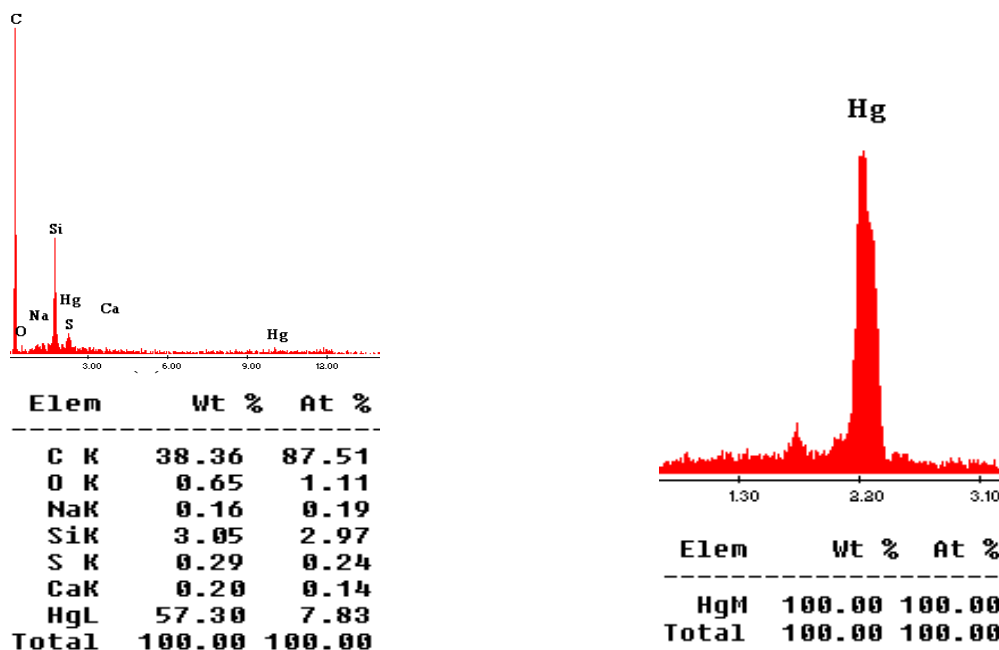


(d)



(e)

**Figura 2.** Imágenes MEB de la superficie del electrodo de grafito. (a) Barra de grafito fracturada, (b) Barra de grafito pulida, (c) barra de grafito recubierta electrolíticamente de mercurio, (d) Figura c con mayor aumento. (e) barra de grafito usada con material biológico.



**Figura 3.** Análisis por Fluorescencia de Rayos X de la superficie del electrodo de grafito, (a) Análisis por FRX de la superficie del grafito, (b) Análisis por FRX de las microgotas formadas en la superficie del electrodo.

Las concentraciones de plomo en las soluciones de los electrolitos de soporte mostradas en las figuras 2 y 3, fueron determinadas por adición estándar

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la figura 2, se observa imágenes tomadas por SEM a tres electrodos de grafito; en la figura (a) se muestra una barra de grafito fracturada, en la que se observa grandes irregularidades en la superficie del electrodo, que al ser superficies no reproducibles, no pueden ser empleadas como electrodos directamente, por lo que se procedió a pulir al espejo las superficies de los electrodos; en la figura (b) se muestra una barra de grafito fracturada y posteriormente pulida al espejo como se indicó con anterioridad, se observa la morfología del grafito, en la figura (c) se muestra la superficie del electrodo facturada, pulida y plateada, es decir; depositado electroquímicamente mercurio en la superficie del electrodo, se observa la formación de microgotas en ciertos sectores de la superficie de grafito, indicando que existen centros activos en la superficie que promueven la formación de las microgotas, la velocidad de formación

de estas, es lenta pero una vez que existe un sustrato de mercurio en la superficie, las posteriores reducciones de mercurio serán sobre estos sustratos, observándose por tal razón el tardío inicio en la formación de otras microgotas, esto se puede observar en la figura (d) en la que se muestra la superficie del electrodo (c) pero con mayor aumento. Al parecer las reacciones químicas se llevan a cabo en estos pequeños centros activos (gotas de mercurio), no siendo necesaria la formación de una capa regular de mercurio sobre la superficie del grafito, lo que es difícil, debido a que el mercurio no se adhiere totalmente al grafito, por otra parte, un área considerable de la superficie del grafito esta siendo desaprovechada. Debido a que el mercurio tiene una tensión superficial extraordinariamente alta y a que no moja al grafito, así como al hecho de que el mercurio tiende a formar gotas esféricas cuando está sumergido en agua, no hay razones para suponer que el mercurio hubiera formado inicialmente una película sobre la superficie del grafito y que las gotas observadas bajo el microscopio electrónico pudieran ser un artefacto.

La figura 3, muestra un análisis multielemental de la superficie de los

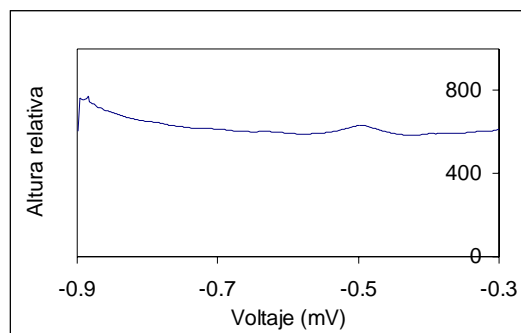
electrodos mostrados; en la figura (a) se observa la composición principal del grafito empleado en las diferentes pruebas, existiendo un pequeño porcentaje de azufre que forma ciertos artefactos en la superficie del electrodo con una dimensión de 4 micras, debido a que el mercurio tiene una gran afinidad por el azufre, esto puede ser observado en la figura 2 (e). En la figura 3 (b), se muestra en análisis realizado a las microgotas, dando como resultado que se trata de mercurio metálico en la totalidad de su composición.

Lo mencionado arriba explica los resultados obtenidos (Tabla 1 y 3) al emplear este tipo de grafito, como la relación lineal existente entre la concentración y la corriente diferencial obtenida, lo que permite cuantificar de manera adecuada los analitos en estudio con un nivel de confianza del 95%; esto en de acuerdo con lo mencionado por algunos autores [16, 17] que sugieren que la superficie del electrodo sólido en la cual el mercurio se depositará, debería ser lo mas uniforme posible.

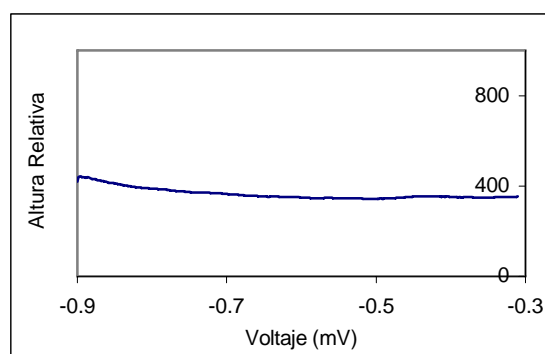
Se observó la presencia de trazas de plomo, provenientes de los reactivos empleados en la elaboración de los electrolitos de soporte en los voltamogramas obtenidos. No se observó presencia de cadmio.

En las figuras 4 y 5 se comparan la señal de fondo de los electrolitos de soporte empleados. Los valores obtenidos fueron:  $4 \pm 3$  ppb y  $1.2 \pm 0.7$  ppb de plomo para el buffer  $\text{CH}_3\text{COONa} - \text{CH}_3\text{COOH}$  a  $\text{pH} = 4.7$ , y la solución de  $\text{KNO}_3$  0.1M respectivamente.

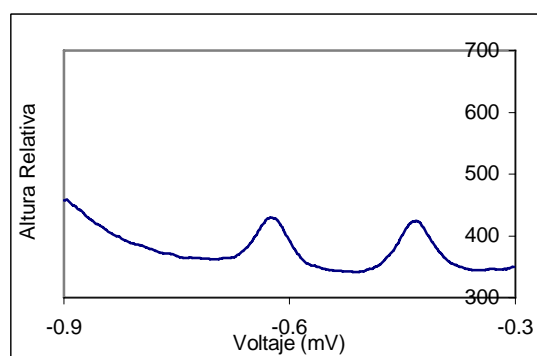
Si bien los límites de detección (Tabla 1 y 3) alcanzados al trabajar con la solución de  $\text{KNO}_3$  0.1M son menores que al emplear la solución de buffer acetato, esta última fue empleada en gran parte del trabajo debido a que el principal inconveniente presentado al utilizar la solución de  $\text{KNO}_3$  0.1M, es que no amortigua variaciones de  $\text{pH}$ , lo que da lugar a una inaceptable dispersión en las intensidades y potenciales característicos de las señales obtenidas.



**Figura 4.** voltamograma del fondo empleando electrolito de soporte  $\text{CH}_3\text{COOH} - \text{CH}_3\text{COONa}$   $\text{pH} = 4.3$ . 5 min de electrodeposición a  $-0.9$  V, seguido de un barrido anódico, velocidad de barrido 2 mV/s, con una altura de pulso de 25 mV.

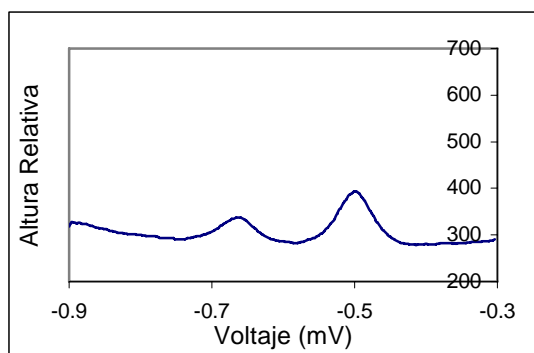


**Figura 5.** Voltamograma del fondo empleando electrolito de soporte  $\text{KNO}_3$  5 min de electrodeposición a  $-0.9$  V, seguido de un barrido anódico, velocidad de barrido 2 mV/s, con una altura de pulso de 25 mV.



**Figura 6.** Voltamograma de 10 ng/g de  $\text{Pb}^{2+}$  y  $\text{Cd}^{2+}$  por la técnica de redisolución anódica de onda cuadrada en una solución de  $\text{KNO}_3$  como electrolito soporte. 5 min de deposición a  $-0.9\text{V}$ , seguido de un barrido anódico, velocidad de barrido 2 mV/s, con una altura de pulso de 25 mV  $E_{\text{Cd}} = -0.662$  V vs. Ag/AgCl,  $E_{\text{Pb}} = -0.496$  V vs. Ag/AgCl.





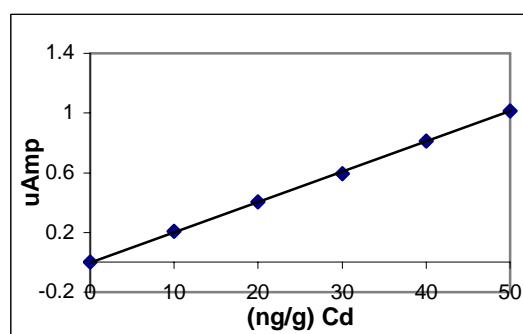
**Figura 7.** Voltamograma de 10 ng/g de  $Pb^{2+}$  y  $Cd^{2+}$  por la técnica de redisolución anódica de onda cuadrada en una solución de  $CH_3COONa - CH_3COOH$  a pH 4,3 como electrolito soporte. 5 min de deposición a  $-0.9V$ , seguido de un barrido anódico, velocidad de barrido 2 mV/s, con una altura de pulso de 25 mV  $E_{Cd} = -0.662 V$  vs.  $Ag/AgCl$ ,  $E_{Pb} = -0.496 V$  vs.  $Ag/AgCl$ .

Se observó que para la misma concentración de iones metálicos (figuras 6 y 7), y empleando las mismas condiciones de trabajo; la intensidad de corriente para el ión cadmio fué mayor al emplear como electrolito de soporte la solución de  $KNO_3$  0.1M que cuando se empleó el buffer acetato, es decir que la señal de 10ppb de cadmio obtenida al emplear buffer acetato es el 70% de la señal obtenida al emplear  $KNO_3$  0.1M como electrolito de soporte. Estas diferencias en la intensidad de corriente pueden deberse a que se emplean soluciones con diferente viscosidad, teniendo en cuenta que en la ecuación de Stokes–Einstein:  $D \approx 1/\eta$ , la corriente de difusión es inversamente proporcional a la viscosidad del medio [18, 19], otra posibilidad es que el ión metálico cadmio este formando un complejo estable con el acetato, por lo que no se observa la verdadera intensidad en este medio.

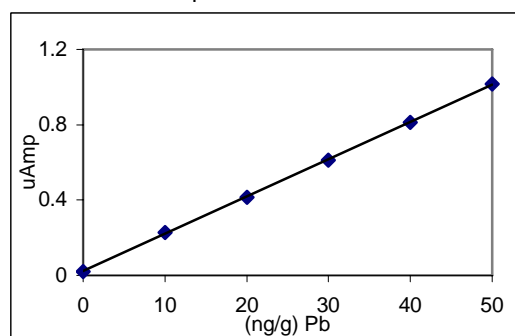
**Tabla 2.** Altura del pico de corriente vs. Concentración del ión metálico.

Conc. (ng/ml)	Corr. Prom. (uAmp)		Desv. Est. (uAmp)		C.V.	
	Cd	Pb	Cd	Pb	Cd	Pb
0	0.0000	0.0220	0.0000	0.0028	0.0	12.8
10	0.2063	0.2271	0.0052	0.0066	2.5	2.9
20	0.4028	0.4150	0.0120	0.0124	3.0	3.0
30	0.5945	0.6128	0.0220	0.0150	3.7	2.4
40	0.8136	0.8118	0.0030	0.0081	0.4	1.0
50	1.0156	1.0150	0.0130	0.0094	1.3	0.9

Empleando electrolito soporte  $KNO_3$  0.1M. 5 min de deposición a  $-0.9V$ , seguido de un barrido anódico, velocidad de barrido 2 mV/s, con una altura de pulso de 25 mV.  $N = 5$  para todas las determinaciones.



**Figura 8.** Curva de calibración para Cadmio con electrolito soporte  $KNO_3$  0.1M. 5 min de electrodeposición a  $-0.9V$ , seguido de un barrido anódico, velocidad de barrido 2 mV/s, con una altura de pulso de 25 mV.



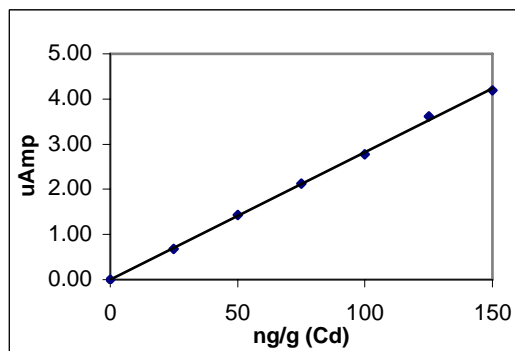
**Figura 9.** Curva de calibración para Plomo con electrolito soporte  $KNO_3$  0.1M. 5 min de electrodeposición a  $-0.9V$ , seguido de un barrido anódico, velocidad de barrido 2 mV/s, con una altura de pulso de 25 mV.  $N = 4$  para todas las determinaciones.

**Tabla 3.** Rectas de Calibrado para los iones Pb(II) y Cd(II) por Voltametría de Redisolución Anódica (SWASV). Electrolito de Soporte CH<sub>3</sub>COOH – CH<sub>3</sub>COONa pH=4.3

Elemento	Recta de Calibrado	Margen de Linealidad	Límite de Detección	r <sup>2</sup>
Plomo	$I_p(\mu A) = -0.091 + 0.0220x$	$1.21 \times 10^{-7} - 7.24 \times 10^{-7} \text{ M}$	$1.64 \times 10^{-8} \text{ M}$	0.9998
Cadmio	$I_p(\mu A) = 0.009 + 0.0282x$	$2.22 \times 10^{-7} - 1.33 \times 10^{-6} \text{ M}$	$4.49 \times 10^{-9} \text{ M}$	0.9996

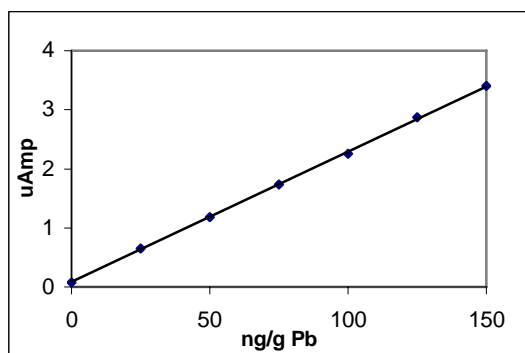
**Tabla 4.** Altura del pico de corriente vs. Concentración del ión metálico.

Conc. (ng/ml)	Corr. Prom. (uA)		Desv. Est (uA)		C.V.	
	Cd	Pb	Cd	Pb	Cd	Pb
0	0.0000	0.0787	0.000 0	0.008 8	0.00	11.14
25	0.6793	0.6553	0.025 8	0.005 1	3.80	0.77
50	1.4294	1.1859	0.049 9	0.029 5	3.49	2.48
75	2.1216	1.7358	0.037 9	0.015 4	1.79	0.89
100	2.7753	2.2498	0.043 5	0.006 1	1.57	0.27
125	3.6108	2.8701	0.057 7	0.015 6	1.60	0.54
150	4.1831	3.3999	0.023 8	0.025 3	0.57	0.75



**Figura 11.** Curva de calibración para cadmio con electrolito soporte acetato a pH 4,3. 5 min de deposición a – 0.9V, seguido de un barrido anódico, velocidad de barrido 2 mV/s, con una altura de pulso de 25 mV.

Empleando electrolito soporte CH<sub>3</sub>COONa – CH<sub>3</sub>COOH a pH 4,3. 5 min de deposición a – 0.9V, seguido de un barrido anódico, velocidad de barrido 2 mV/s, con una altura de pulso de 25 mV. N = 5 para todas las determinaciones.



**Figura 10.** Curva de calibración para Plomo con electrolito soporte acetato a pH 4,3. 5 min de deposición a – 0.9V, seguido de un barrido anódico, velocidad de barrido 2 mV/s, con una altura de pulso de 25 mV.

Las curvas de calibración mostradas en las figuras 8 – 11 presentan un coeficiente de correlación momento producto, r mayor a 0.999, indicando que el electrodo de trabajo propuesto presenta una relación de carácter lineal entre la corriente diferencial (uAmp) y la concentración del analito (ng/g), en el rango de concentraciones estudiados.

En la tabla 4 se observa un coeficiente de variación de 11.14 para una concentración de cero ppb de plomo, esto debido a la presencia de impurezas en el electrolito de soporte, ya que al estar presente el ión metálico plomo en mínimas cantidades la variación de corriente diferencial (uAmp) provenientes de esta será mayor, originando un coeficiente de variación elevado, no observándose así para el cadmio por estar el electrolito de soporte libre de impurezas de cadmio.

Cabe mencionar que los resultados obtenidos aquí son aceptables y relativamente comparables a los obtenidos por los electrodos de grafito vitrificado, que reportan [13] un límite de detección de  $4.1 \times 10^{-8} \text{ M}$  y  $3.0 \times 10^{-8} \text{ M}$  para los iones plomo y cadmio respectivamente, comparados con los límites de detección obtenidos en este trabajo que son  $1.6 \times 10^{-8} \text{ M}$  y  $4.5 \times 10^{-9} \text{ M}$ ,

pero estos resultados no son tan buenos como los obtenidos al emplear ultra micro electrodos cuyos límites de detección llega a  $1 \times 10^{-10}$  M [20].

Los resultados obtenidos con el micro electrodo de grafito de lápices automáticos, son comparables a los vitrificados y a diferencia de estos últimos no se ha empleado recubrimiento de cera alguno debido a que se tiene conocimiento [11] de que el grafito empleado en lápices, usualmente contiene pequeñas cantidades de cera sólida en su conformación.

## CONCLUSION

Los resultados obtenidos por el grafito propuesto como electrodo de trabajo para voltametría inversa, muestran que el hecho de que la superficie del grafito propuesto no sea totalmente cubierto por mercurio no impide obtener señales analíticas que mantengan una alta correlación con las concentraciones de los analitos estudiados, siendo estas rectas lineales.

Los resultados muestran que el electrodo de grafito propuesto y su modo de prepararlo son confiables; ya que presentan muy buena correlación en un amplio rango de concentraciones, tal como se observa en las curvas de calibración tanto para plomo como para cadmio; para los cuales se obtuvo un límite de detección calculado de las curvas de calibración ( $P = 95\%$ ) de  $3 (\pm 1)$  ppb para plomo y  $5 (\pm 2)$  ppb para cadmio en el rango de 0 a 150 ppb, empleando electrolito soporte acetato de sodio- ácido acético.

## REFERENCIAS

- 1) John G. Nikelly y Donald Cooke. Anal.Chem., 29, 933-939, (1957).
- 2) Joseph Wang, Howard Dewald. Anal. Chimica. Acta, 146, 45 – 50, (1983).
- 3) Randhal E. Hamm. Anal. Chem., 30, 350-354, (1958).
- 4) Bor-Jian Dai y Hsuan-Jung Huang. Anal. Chimica Acta, 258, 245 – 252, (1992).
- 5) W. Lund y M. Saldberg. Anal. Chimica Acta, 76, 273 – 281, (1975).
- 6) Icela Barceló, H Solis, I. Gonzales, Sociedad Química de México, Vol. 40, N°6 , 263 – 269, (1996).
- 7) Samuel S. Lord y L.D. Rogers. Anal. Chem., 26, 284-295, (1954).
- 8) O. Mikkelsen, K. Shcröder, Anal. Chimica Acta, 458, 249 – 256, (2002).
- 9) R. Dalanguin, H. Gunasingham, Anal. chimica Acta, 291, 81 – 87, (1994).
- 10) J. Aldstadt, D. King, Analyst 119, 1813 – 1818, (1994).
- 11) F. Gaylor, A. Conrad, J. Landerl. Anal. Chem., 29, 224-228, (1957).
- 12) J. Aldstadt, H. Dewald, Anal.Chem., 64, 3176 – 3179, (1992).
- 13) C. Brett, D. Fungaro, J.Braz.Chem.Soc., Vol. 11, N°3, 298 – 303, (2000).
- 14) Montoya S. Haroldo. Informe de Prácticas Pre-profesionales IPEN 1999.
- 15) EURACHEM GUIDE, “Quantifying Uncertainty in Analytical Measurement”, Helsinki 1999.
- 16) Janusz Golas, Zbigniew Galus. Anal. Chem., 59, 389 – 392, (1987).
- 17) Samuel Kounaves y Weng Deng, 65, 375 – 379, (1993).
- 18) Louis Meites, Polarographic Techniques, 2da ed., Jhon Wiley & Sons. 1967, pag. 141.
- 19) Elemental Analysis of Biological Materials, Technical Reports Series N° 197 – IAEA. pag. 293. Viena – 1980
- 20) J. Wang, B. Tian, Anal.Chem., 64, 1706 – 1709, (1992).

## ***V. Aplicaciones en Biología***

# INTRACELLULAR LOCALIZATION OF A PHOTSENSITIZER AND CHLORIDE CHANNEL ACTIVATION IN ELECTROCYTES

Santiago J. <sup>(1)</sup> [jsantiago@ipen.gob.pe](mailto:jsantiago@ipen.gob.pe); Prado M. <sup>(2)</sup> [inprado@criba.edu.ar](mailto:inprado@criba.edu.ar)

(1) Dirección General de Promoción y Desarrollo Tecnológico – IPEN / Lima, Perú  
(2) Instituto de Investigaciones Bioquímicas – Universidad Nacional del Sur / Argentina

## ABSTRACT

The intracellular localization of a lipophilic alkyl long-chain tetraphenylporphyrin in electrocytes, *Psammobatis extenta* (Rajidae) is described. In contrast to the usual case, this porphyrin derivative was localized in electromotor nerves and in nuclei chromatin of electrocytes. Both structures exhibited intense fluorescence. However, the mitochondria were slightly fluorescent. These data are discussed in relation to electrocyte death in a weak electric fish. Additionally, the electron probe X-ray microanalysis suggest the activation of the chloride and cationic channels.

## RESUMEN

La localización intracelular de un derivado lipofílico de tetrafenilporfirina, unido a cuatro grupos alquilo de cadena larga, en electrocitos de la especie *Psammobatis extenta* (rayas) es descrita. En contraste con el comportamiento normal, este derivado de porfirina se localiza en los nervios electromotores y en los núcleos (cromatina) de los electrocitos. Ambas organelas presentaron una fluorescencia intensa. Sin embargo, la fluorescencia presentada por las mitocondrias fue débil. Estos datos son discutidos en relación con la muerte de los electrocitos de peces eléctricos de descarga débil. Adicionalmente, los datos obtenidos en el microanálisis por rayos-X (EDAX) sugieren la activación de los canales de cloro y catiónicos.

## 1. INTRODUCTION

The development of new generation photosensitizers to improve the efficiency of photodynamic therapy (PDT) is an area of intensive research. In PDT, the activation of a photosensitizer by light generates singlet molecular oxygen, a highly reactive form of oxygen that reacts with many biomolecules, including lipids, proteins, and nucleic acids.<sup>1</sup> These biomolecules are chemical modified and therefore can not accomplish their function, with the subsequent cell death. This

therapy is applied for treatment of cancers, as well as for bacterial and viral eradication.<sup>2-6</sup>

The fluorescence exhibited by photosensitizers allows also tumor detection.<sup>7</sup> Nevertheless, the application of PDT remains restricted due to the limited penetration of light in tissues, the photosensitization of normal tissues and the residual skin photosensitivity that is observed for several weeks. The advantages of this method, as compared to other conventional cancer treatment modalities, are its low systemic toxicity and its ability to destroy tumors selectively. The lipophilic degree of photosensitizers determines localization, and therefore site and type of damage of the cells.<sup>8,9</sup> In general, lipophilic photosensitizers accumulate in the membrane of the cell and its organelles.<sup>5</sup> In the other hand, hydrophilic, as well as aggregated states of photosensitizers, enter into the cell by pinocytosis and are localized mainly in lysosomes and endosomes.<sup>10</sup> There are many photosensitizers, usually porphyrin or phtalocyanine derivatives, under clinical study and can be classified as lipophilic or hydrophilic.<sup>11</sup> However, there are few examples of such macrocycles with long alkyl-chain studied for PDT. It was found that the efficiency and selectivity of tumors targeting slightly increased upon increasing the length of the alkyl groups connected to the Zn(II)-phtalocyanine complex.<sup>12,13</sup>

In this work, we have investigated uptake, intracellular localization of 5,10,15,20-tetrakis(4-*n*-dodecylphenyl)-porphyrin (TPP), elemental composition and morphological changes in electrocytes of *Psammobatis extenta*. The *P. extenta* belongs to Rajidae, one of three groups of weakly electric fish. We choose electrocytes for this study because they are big cells with very few organelles, this facilitate the study of the intracellular localization of the photosensitizer. In addition, electric ray electrocytes have myoproteins.<sup>14,15</sup> The electrocytes are highly polarized and multinuclear cells. They are semicircular in shape and have their concave face receiving innervations (IF) from electromotor neurons of the spinal cord. The other face, convex, is

non-innervated (NIF) and shows a system of caveolae.<sup>14</sup> The nuclei are localized at the posterior region of the cytoplasm.<sup>15</sup>

## 2. MATERIALS AND METHODS

### Chemicals

The TPP derivative was synthesized following the literature procedure.<sup>16,17</sup> The purity was controlled by <sup>1</sup>H-NMR and elemental analysis.

$\lambda_{max}$  (CHCl<sub>3</sub>) = 421 nm. This compound was already studied as for its thermal properties. It was found to exhibit two discotic lamellar phases. The phases change and the transition temperatures are: C - 31°C - D<sub>L</sub> - 52°C - D<sub>L'</sub> - 155°C - Isotrópico<sup>16,17</sup>

### Fluorescence microscopy

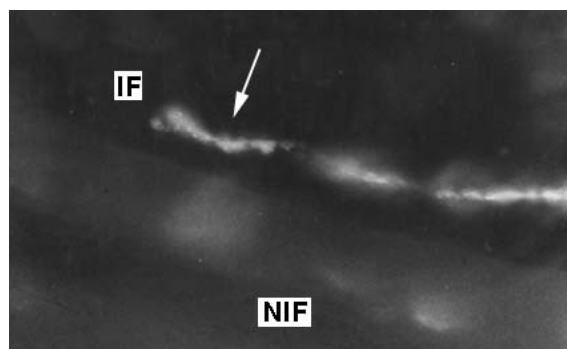
Cryostat sections about 10 μm were incubated for 3 min. with 7,8 x 10<sup>-5</sup> M solution of the TPP derivative in chloroform. Sections were fixed for 5 min at 4°C in a mixture of 3.7% formaldehyde and 0.5% glutaraldehyde in 0.05 M phosphate buffer, pH 7.4, and maintained for 30 min. at 4°C. After fixation, sections were washed in PBS for 20 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 and did not produce any fluorescence.

### EDAX-SEM analysis

For EDAX-SEM analysis, after fixation, samples, sections of 20 μm, were washed in the same buffer and in ice-cold distilled water for 2 hours, and then dehydrated by washing many times with acetone. After dehydration, samples were routinely critical-point dried and metalized with gold (200A) 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. Microanalysis was carried out at the non-innervated face of the electrocytes.

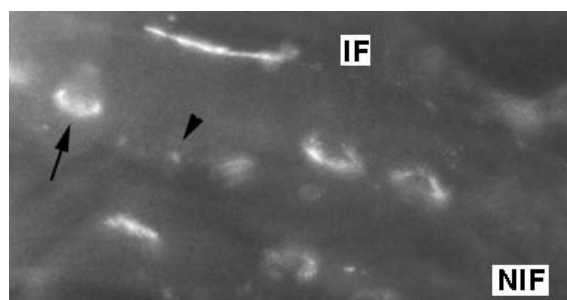
## 3. RESULTS AND DISCUSSIONS

The intracellular distribution of this photosensitizer in electrocytes is shown in figure 1 and 2.



**Figure 1.** Localization of the TPP derivative on the terminal nerves (arrow) of an electrocyte (x600).

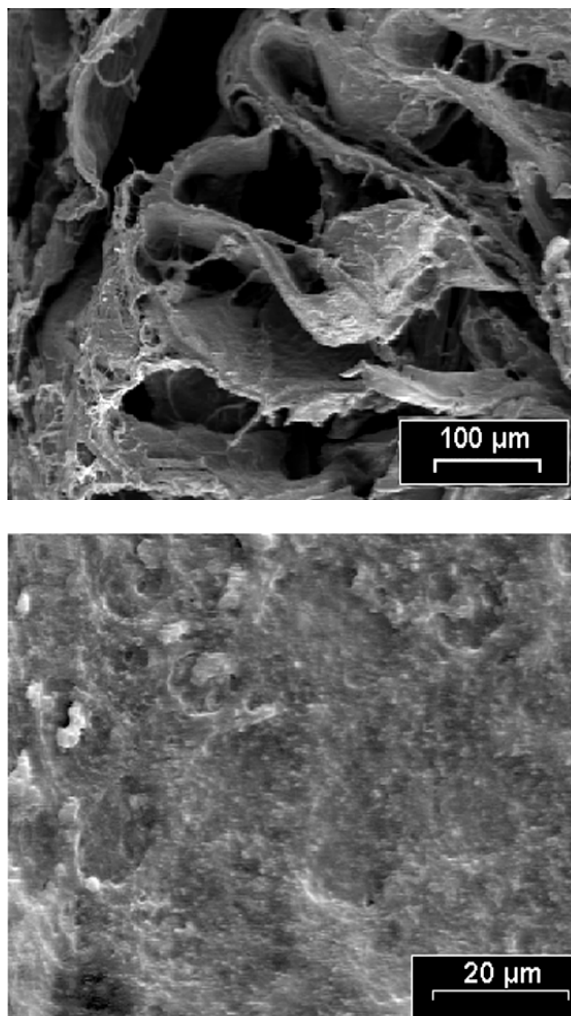
The red fluorescence pattern of the TPP derivative was observed as a thick band that corresponds to the nerves and nerve terminals (Fig.1). The affinity of this lipophilic photosensitizer for the nerves is explained because this tissue is rich in fatty acids. In addition, the nuclei show an intense red fluorescence and its localization 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 hydrophobic phthalocyanine localize on the lysosomes.<sup>18</sup>



**Figure 2.** Localization of the TPP derivative on the nuclei (arrow) and in mitochondria (arrow head) of an electrocyte (x600).

Immediately after the penetration of the TPP derivative in the electrocytes, they start to swell and the concave face loses all their invaginations (Fig. 3). In order to understand the reason of the swelling of cells, microanalysis by energy-dispersive X-ray spectra (EDAX) of the same region was carried out (Fig. 4). After treatment of the electrocyte with the TPP derivative, the relative semi-quantitative weight % ( $K$ ) for oxygen, sodium and chloride ions were: 39, 17 and 15, respectively. Compared to negative controls, the peak for  $\text{Na}^+$  is 5-fold bigger and for oxygen the variation is not significant. Also, the peak of  $\text{Ca}^{2+}$  is 2-fold bigger but for  $\text{K}^+$  is 6-fold minor. The simultaneous increasing of  $\text{Na}^+$  and  $\text{Ca}^{2+}$  concentration and decreasing of  $\text{K}^+$  concentration is a good evidence of the cationic channel activation with the porphyrin derivative. However, the most important change is the new big peak observed for  $\text{Cl}^-$  anion. This constitutes an evidence for chloride channel activation. The massive intracellular accumulation of  $\text{Cl}^-$  and specially the influx of  $\text{Na}^+$  lead to cell swelling, and the subsequently necrotic response of cells.<sup>19,20</sup> It should be pointed out that chloride channel activation is not usual for weak electric fish. However, voltage-gated chloride channel was demonstrated in non-innervated plasma membrane of *Torpedo* electrocyte, a strong electric fish.<sup>21</sup>

The activation of chloride channel by this TPP derivative may constitute an alternative in the study and treatment of the cystic fibrosis, which is related to a dysfunction of the chloride ion transport.<sup>22</sup> In contrast, the increase of  $\text{Ca}^{2+}$  concentration in electrocytes suggest a participation of an apoptotic mechanism.<sup>1</sup> Moreover, the interaction of the TPP derivative with DNA, and even the low amount of mitochondrial-bound porphyrin, may contribute to cell death by apoptotic mechanism after excitation with light.

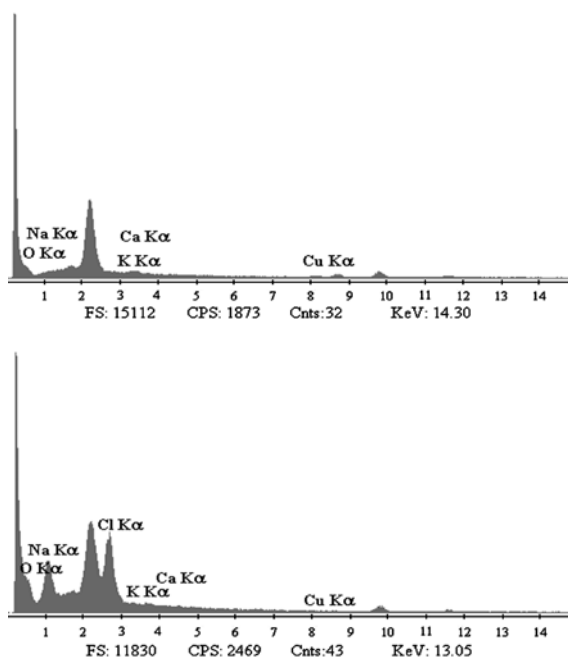


**Figure 3.** Scanning electron micrograph of non-innervated face of an electrocyte before (up) and after treatment with the TPP derivative (bottom).

The photosensitizer used in this work has liquid crystal properties.<sup>16,17</sup> It will be very interesting to compare these results with another photosensitizer with similar chemical structure with no mesomorphic properties.

#### 4. CONCLUSIONS

The lipophilic TPP derivative used in this work has high affinity for terminal nerves and nuclei cromatine but little one for mitochondria. The presence of this compound on these organelles provokes morphological and physiological change in electrocytes leading to cationic and chloride channel activation.



**Figure 4.** Microanalysis by EDAX of the same zone observed in figure 3, non-innervated face, before (up) and after treatment (bottom) of an electrocyte with the TPP derivative.

## 5. REFERENCES

- [1] Oleinick N; Morris R; Belichenko I. *Photochem. Photobiol. Sci.*, **1**, 1-21, 2002.
- [2] Rywkin S; Ben-Hur E; Malik Z; Prince A; Li Y; Kenney M; Oleinick N; Horowitz B. New phthalocyanines for photodynamic virus inactivation in red blood cell concentrates, *Photochem Photobiol.*, **60**, 165-170, 1994.
- [3] Merchat M; Giacomoni P; Villanueva A; Bertoloni G; Jori G. Photosensitization of bacteria to visible light by meso-substituted porphyrins, *J. Braz. Chem. Soc.*, **6**, 123-125, 1995.
- [4] Kassab K; Dei D; Roncucci G; Jori G; Copellotti O. Phthalocyanine-photosensitized inactivation of a pathogenic protozoan, *Acanthamoeba palestinensis*, *Photochem. Photobiol. Sci.*, **2**, 668-672, 2003.
- [5] Malik Z; Babushkin T; Sher S; Hanania J; Laedan H; Nitzan Y; Salzberg S. Collapse of  $K^+$  and ionic balance during photodynamic inactivation of leukemic cells, erythrocytes and staphylococcus, *Int. J. Biochem.*, **25**, 1399-1406, 1993.
- [6] Reddy E; Ceccon M; Valduga G; Jori G; Bommer J; Elisei F; Latterini L; Mazzucato U. Photophysical properties and antibacterial activity of meso-substituted cationic porphyrins, *Photochem. Photobiol.*, **75**, 462-470, 2002.
- [7] Moan J; Christensen T. Porphyrins as tumor localizing agents and their possible use in photochemotherapy of cancer, *Tumor Res.*, **15**, 1-10, 1980.
- [8] Weizman E; Rothmann C; Greenbaum L; Shainberg A; Adamek M; Ehrenberg B; Malik Z. Mitochondrial localization and photodamage during photodynamic therapy with tetraphenylporphyrins, *J. Photochem. Photobiol. B: Biol.*, **59**, 92-102, 2000.
- [9] Graham A; Li G; Chen Y; Morgan J; Oseroff A; Dougherty T; Pandey R. Structure-Activity Relationship of New Octaethylporphyrin-based Benzochlorins As Photosensitizers for Photodynamic Therapy, *Photochem. Photobiol.*, **77**, 561-566, 2003.
- [10] Ber K; Moan J. Lysosomes and microtubules as targets for photochemotherapy of cancer, *Photochem. Photobiol.*, **65**, 403-409, 1997.
- [11] Schaffer M; Schaffer P; Corti L; Gardiman M; Sotti G; Hofstetter A; Jori G; Duhmke E. Photofrin as a specific radiosensitizing agent for tumors: studies in comparison to other porphyrins, in an experimental in vivo model, *J. Photochem. Photobiol. B: Biol.*, **66**, 157-164, 2002.
- [12] Ometto C; Fabris C; Milanese C; Jori G; Cook M; Russell D. Tumour-localizing and -photosensitizing properties of a novel zinc(II)-octadecyl- phthalocyanine, *Br. J. Cancer*, **74**, 1891-1899, 1996.
- [13] Fabris C; Ometto C; Milanese C; Jori G; Cook M; Russell D. Tumour-localizing and tumour-photosensitizing properties of Zinc(II)-octapentyl-phthalocyanine, *J. Photochem. Photobiol. B: Biol.*, **39**, 279, 1997.
- [14] Prado Figueroa M; Vidal A; Barrantes F. Ultrastructure of *Psammobatis extenta* (Rajidae) electrocytes and cytochemical



- localization of acetylcholinesterase, acetylcholine receptor and F-actin, *Biocell*, **19**, 113-123, 1995,.
- [15] Vidal A; Prado Figueroa M; Eberwein M; Kreda E; Barrantes F. Co-distribution of tropomyosin and  $\alpha$ -actinin with actin in *Psammobatis extenta* electrocytes brings out their similarity with muscle fiber cytoplasm, *Comp. Biochem. Physiol.* **116A**, 113-118, 1997.
- [16] Shimizu Y; Miya M; Nagata A; Ohta K; Matsumura A; Yamamoto I; Kusabayashi S. Mesomorphic phase transitions of 5,10,15,20-tetrakis(4-n-dodecylphenyl)porphyrin, *Chem. Letters*, 25-28, 1991.
- [17] Shimizu Y; Miya M; Nagata A; Ohta K; Yamamoto I; Kusabayashi S. Mesomorphic phase transitions of tetraphenylporphyrins with four long aliphatic chains, *Liq. Cryst.*, **14**, 795-805, 1993.
- [18] Ball D; Mayhew S; Wood S; Griffiths J; Vernon D; Brown S. A comparative study of the cellular uptake and photodynamic efficacy of three novel zinc phthalocyanines of differing charge, *Photochem. Photobiol.*, **69**, 390-396, 1999.
- [19] Okada Y; Maeno E. Apoptosis, cell volume regulation and volume-regulatory chloride channels, *Comp. Biochem. Physiol.*, **130A**, 377-383, 2001.
- [20] Barros L; Hermosilla T; Castro J. J. Necrotic volume increase and the early physiology of necrosis, *Comp. Biochem. Physiol.*, **130A**, 401-409, 2001.
- [21] White M; Miller C. Probes of the conduction process of a voltage-gated Cl<sup>-</sup> channel from *Torpedo* Electropax, *J. Gen. Physiol.*, **78**, 1-18, 1981.
- [22] Schwiebert E; Cid-Soto L; Stafford D; Carter M; Blaisdell C; Zeitlin P; Guggino W; Cutting G. Analysis of ClC-2 channels as an alternative pathway for chloride conduction in cystic fibrosis airway cells, *Proc. Natl. Acad. Sci.*, **95**, 3879-3884, 1998.

# DESARROLLO Y APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA FISH EN EL ESTUDIO DE LOS EFECTOS DE LAS RADIACIONES IONIZANTES

Espinoza, M.<sup>(1)</sup>; Oliveros, N.<sup>(2)</sup>; Quintana, M.<sup>(3)</sup>; Montez, R.<sup>(4)</sup>

(1) Departamento de Biología – IPEN / Lima / Perú

(2) Universidad Nacional Mayor de San Marcos / Lima, Perú

(3) Universidad Nacional Federico Villarreal / Lima, Perú

(4) Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas / Lima, Perú

## RESUMEN

Se muestran los resultados de la estandarización y uso de una técnica para hacer la hibridación *in situ* con fluorescencia (FISH) en el Laboratorio de Citogenética y Radiobiología del Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN). Tras una búsqueda de información bibliográfica se decidió trabajar con el método que emplea sondas para cromosoma total marcadas con un fluorocromo de emisión verde (WCP). Se hizo el estudio con dos muestras de sangre irradiadas y una muestra control. Las dosis suministradas a dos de las muestras fueron 0.75 y 1.8 Gy de rayos gamma del Co-60. Por razones de tipo económico se tuvo que trabajar tan sólo con las sondas para los cromosomas 1 y 2. Eso ha causado que nuestra eficiencia para detectar translocaciones por FISH haya sido baja (25%) siendo usual en otros laboratorios trabajar con eficiencias de alrededor del 33% para lo cual debemos incluir al menos tres pares de cromosomas. Como consecuencia de lo anterior la proporción de dicéntricos y translocaciones en la muestra de células estudiadas no concuerda con lo esperado: 1 dicéntrico por cada translocación.

## ABSTRACT

Results of standardization work and use of a methodology for fluorescence *in situ* hybridization (FISH) under development in the Cytogenetics and Radiobiology Laboratory of Peruvian Nuclear Energy Institute (IPEN), are shown. After searching for scientific literature, it was decided to work with a method that employs whole chromosome probes (WCP) labeled with a spectrum green fluorochrome. The study was performed using two irradiated blood samples and a control one. Doses delivered were 0.75 and 1.8 Gy of gamma rays from Co-60. For economical reasons, it was necessary to buy only WCP FISH probes for

chromosomes 1 and 2. This situation has occasioned that the efficiency to detect FISH translocations is poor (about 25%) and in the meanwhile, other laboratories around the world are getting near 33% of efficiency working with three pairs of chromosomes in order to reach 33% of efficiency. As a consequence of this, the proportion of dicentrics and translocations found in our samples does not agree with expected values: 1 dicentric for each translocation.

## 1. INTRODUCCIÓN

Las radiaciones ionizantes son un agente mutagénico y cancerígeno de comprobada eficiencia. Su principal efecto biológico es la ionización y ruptura de las cadenas del ADN. Como consecuencia de esto, se origina una serie de alteraciones cromosómicas estructurales estables (translocaciones, inversiones, duplicaciones) e inestables (cromosomas en anillo, cromosomas dicéntricos y fragmentos acéntricos de diversa morfología)[1, 2, 3] (Fig. 1). Desde 1962, el estudio de las alteraciones cromosómicas inestables ha sido una vía para hacer estimaciones de la dosis de radiación ionizante absorbida por el cuerpo humano, especialmente en casos de exposición accidental externa. Para hacer esta estimación de dosis o «dosimetría biológica» se tiene que hacer el análisis y determinar las frecuencias de los cromosomas dicéntricos, cromosomas en anillo y los correspondientes fragmentos cromosómicos acéntricos que son producidos por la radiación ionizante en los tejidos del cuerpo. Por presentar una serie de ventajas en su estudio frente a otros tipos de células, los linfocitos de la sangre circulante son las células elegidas como «dosímetros biológicos» [1].



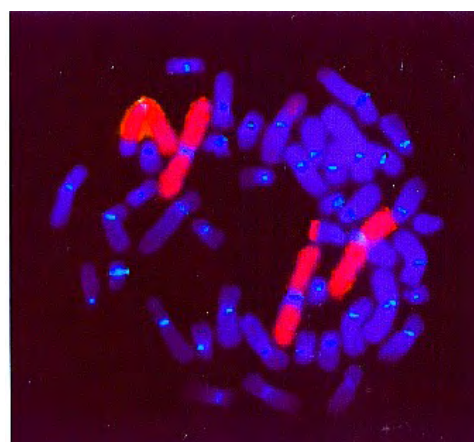
**Figura 1.** Metafase de una célula sometida a irradiación mostrando las aberraciones citogenéticas más características: un dicéntrico, un cromosoma en anillo y 2 fragmentos.

Ocurre que la presencia de cromosomas dicéntricos, cromosomas en anillo y fragmentos producen, dentro de las células que los portan, una serie de desajustes fisiológicos, reproductivos y genéticos que hacen que éstas tengan una tendencia a morir y por ende a desaparecer dentro de los tejidos con el paso del tiempo. De este modo, una persona que ha sufrido sobreexposición a las radiaciones ionizantes y en la cual no se ha hecho una estimación de la dosimetría biológica de acuerdo a su número de cromosomas dicéntricos, anillos y fragmentos, después de unos años habrá perdido casi todas las células portadoras de las mencionadas alteraciones y ya no sería posible determinar la dosis que absorbió como producto de la sobreexposición que sufrió. Sin embargo se sabe que las radiaciones ionizantes inducen aproximadamente el mismo número de cromosomas dicéntricos que translocaciones dentro de las células. Además, las translocaciones, sobre todo las denominadas «balanceadas» o «recíprocas», pueden permanecer durante todo el resto de la vida del individuo, siendo de ese modo una fuente de información estable dentro de las células para averiguar las dosis en una perspectiva retrospectiva [4, 5, 6]. El problema es que mientras el estudio de los cromosomas dicéntricos, anillos y fragmentos es relativamente fácil e inequívoco como indicador de sobreexposición, el estudio de las translocaciones ha sido, tradicionalmente, muy engorroso, oneroso y difícil.

El desarrollo durante la década pasada, de la llamada «citogenética molecular» ha hecho

posible que el estudio de las translocaciones de cualquier tipo dentro de las células sea tanto o más fácil e inequívoco que el estudio de dicéntricos, anillos y fragmentos para evaluar a una persona sobreexpuesta [6, 7, 8]. En base al estudio de las translocaciones que porta en sus células un individuo se está desarrollando en el varios laboratorios del mundo la denominada «dosimetría biológica retrospectiva».

Para entender mejor el párrafo anterior es necesario hacer una breve explicación de la metodología general usada en la dosimetría biológica retrospectiva. Ésta se basa en el desarrollo de sondas de ADN marcadas con fluorocromos, que se fijan (hidridizan) específicamente a determinadas secuencias del ADN de los cromosomas de tal modo que se puede marcar o teñir de forma diferencial cromosomas completos, lo que se conoce como «pintado cromosómico». Así, podemos escoger las sondas que van a «pintar» un determinado par cromosómico (o determinados pares cromosómicos) de forma que se van a detectar las translocaciones en las que éste (o éstos) cromosoma(s) esté(n) implicado(s). Esta técnica se reproduce en el laboratorio más rápida y confiablemente que las antiguas tinciones para bandeamiento cromosómico, haciendo innecesario el armado de cariotipos. La técnica de marcado de cromosomas se llama hibridización *in situ* (ISH) y si la molécula que marca es fluorescente (F) se obtienen las siglas FISH. Esta técnica también se conoce como «pintado cromosómico» y su uso adecuado permite la identificación fácil de las partes de un cromosoma translocado en otros de la misma célula (Fig.2).



**Figura 2.** Marcación FISH de una translocación balanceada radioinducida y teñida con sondas WCP y pancentromérica. Cortesía del HGUGM (Madrid, España).

El presente trabajo trata sobre la estandarización de la técnica de tinción FISH hecha en el Laboratorio de Citogenética y Radiobiología del Departamento de Biología (Dirección General de Promoción y Desarrollo Tecnológico – IPEN) sobre la base de varias técnicas usadas en laboratorios de Europa y que fueron, de alguna manera, adaptadas a nuestra realidad. Hicimos también un avance en el estudio de translocaciones radioinducidas en dos experimentos con muestras que fueron irradiadas con miras a establecer una versión de la curva de calibración para la dosimetría biológica de los rayos gamma.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### **Cultivo de linfocitos**

Se colectó sangre venosa de dos donantes, masculino (45 años) y femenino (41 años), en buen estado de salud. La sangre, recibida en tubos de vidrio, sellados al vacío, heparinizada, en condiciones estériles y a temperatura ambiente fue irradiada con una fuente de Co-60 de uso médico, en volúmenes de 4 ml con dosis de 0.75 y 1.8 Gy a la tasa de 0.24 Gy/min. De cada volumen se hizo dos cultivos y de cada uno se obtuvo entre 2 y 5 portaobjetos con muestra para análisis al microscopio. La técnica de cultivo utilizada es la descrita por el OIEA [1] modificada para nuestro laboratorio [11] y que en resumen, consiste en preparar tubos de cultivo conteniendo 6 ml de medio RPMI 1640 con glutamina, .15 ml de PHA, 2 ml de suero bovino fetal, sin antibióticos y 0.8 ml de sangre total. El cultivo fue a 37 °C, en total oscuridad y por 45 horas. Al cabo de ese tiempo se añadió 0.5 ml de colchicina 40 µg/ml y se dejó incubar por otras tres horas más. Luego se hizo el tratamiento hipotónico con KCl 0.075 M por 20 minutos y tras separar las células por centrifugación (10' a 1000 rpm) se las fijó con una mezcla metanol: ácido acético, 3:1. Se repite este proceso de fijación dos veces más y se preparan las muestras haciendo un goteo sobre portaobjetos limpios y congelados. Las muestras se almacenaron en frío a -20 °C hasta su utilización en el proceso de hibridización in situ con fluorescencia (FISH).

### **Técnica de hibridización in situ con fluorescencia (FISH):**

Se estableció como técnica de trabajo una que reducía de tres a dos los días de trabajo sobre

la base de una técnica empleada en el Hospital General Universitario Gregorio Marañón de Madrid (HGUGM), España. En este trabajo empleamos 5 kits de sondas WCP (whole chromosome probes) Spectrum Green de la marca VYSIS, Inc., USA. Para las observaciones empleamos un microscopio ZEISS Axioscop 2 provisto de un lente Neofluar 100X y dotado de los filtros necesarios para la observación. Las fotos mostradas en este trabajo fueron tomadas con apoyo del HGUGM durante la primera parte de nuestro trabajo.

### Primer Día:

#### **Pretratamiento de los portaobjetos:**

Pasarlos por una solución de formamida:2xSSC al 70% (en una jarra Coplin colocar 35 ml de formamida + 15 ml de 2xSSC) a 73 °C por 5 minutos.

Pasarlos por una serie de etanoles al 70%, 85% y 100%, un minuto en cada solución.

Dejar en el etanol al 100% hasta un poco antes de la hibridización (en este momento se empiezan a preparar las sondas).

Unos dos minutos antes de hacer la hibridización colocar los portaobjetos en la plancha calefactora termostática a una temperatura entre 45 - 50 °C (para evaporar totalmente el etanol).

#### **Preparación de la sonda:**

Mezclar 7 µl de T4 (tampón de hibridización)

1 µl de P1 (painting 1)

1 µl de P2 (painting 2)

1 µl de agua destilada

-----  
10 µl (volumen total que se coloca en un tubito Eppendorf)\*

(\* si sólo se utiliza 1 sonda painting, se añaden 2 µl de agua destilada para completar el volumen total a 10 µl.

Se hace la desnaturalización de la mezcla a 73 °C durante 5 minutos en el baño termostático (en el tubito Eppendorf).

#### **Hibridización:**

Colocar 10 µl de la mezcla anterior en el portaobjetos, cubrir con cubreobjetos de vidrio y sellar los bordes del cubreobjeto con pegamento.

Dejar en cámara húmeda durante la noche a 37 °C.

### Segundo Día:

**Lavados:** (Elegir uno de los dos descritos a continuación y proceder en oscuridad o al menos con luces de seguridad)

Lavado Lento: (poner el baño termostático a 46 °C)

Pasar el portaobjetos por una solución de formamida:2xSSC al 50% (poner en una jarra Coplin 25 ml de formamida + 25 ml de 2xSSC) a 46 °C, agitándolo por unos segundos y dejándolo por 10 minutos en total.

Pasar el portaobjetos a otra jarra Coplin con solución de formamida:2xSSC al 50% a 46 °C por 10 minutos, agitándolo por unos segundos y dejándolo por 10 minutos en total.

Pasar el portaobjetos a una tercera jarra Coplin con solución de formamida:2xSSC al 50% a 46 °C por 10 minutos, agitándolo por unos segundos y dejándolo por 10 minutos en total.

Pasar a una jarra Coplin con solución 2xSSC a 46°C, agitar y dejar 10 minutos.

Pasar a una jarra Coplin con una solución de 2xSSC:0.1 NP40 a 46 °C y dejar por 5 minutos.

### Lavado Rápido:

Pasar el portaobjetos por una jarra Coplin con una solución de 0.4xSSC a 70 °C durante 2 minutos.

Dejar secar el portaobjetos en oscuridad.

Coloración de contraste (Contratinción): Con DAPI 1 o contratinción de otra marca (1 µl de colorante de contraste + 9 µl de agua destilada).

Mezclar 6 µl del colorante de contraste así preparado + 200 µl de Mountant.

Los portaobjetos tratados con el lavado lento recibirán 10 µl de colorante de contraste.

Los portaobjetos tratados con el lavado rápido recibirán 12 µl de colorante de contraste.

Cubrir con cubreobjetos de vidrio y mirar al microscopio.

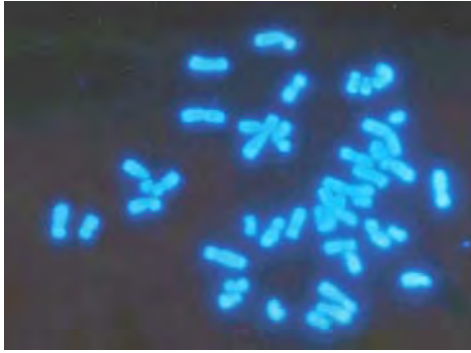
## 3. RESULTADOS

La tabla mostrada abajo resume de manera concisa los hallazgos en el análisis de metafases de 46 o más piezas cromosómicas, adecuadamente pintadas por el proceso citado arriba y tabuladas tras la verificación de las alteraciones observadas al menos por dos personas. Desafortunadamente, el hecho de no contar con un sistema fotográfico conectado al microscopio (equipo muy costoso para nuestro laboratorio) no nos permitió hacer vistas de las metafases de células irradiadas. La rapidez con que se difumina la fluorescencia hace necesario un trabajo muy rápido en el análisis y la posterior verificación de alguna duda en la observación. Por esa razón debíamos hacer el pintado de pocas láminas por vez y eso hizo lento el avance del trabajo.

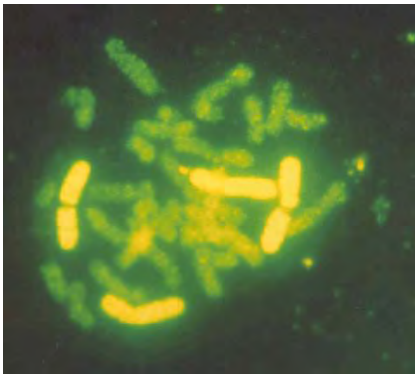
Al inicio de nuestro trabajo, con la colaboración del Laboratorio de Dosimetría Biológica del Hospital General Universitario Gregorio Marañón de Madrid, España, pudimos lograr algunas fotografías de nuestras primeras metafases (no irradiadas) pintadas con sondas WCP para marcar los cromosomas 1 y 2, aprovechando una breve estancia de uno de nosotros en ese laboratorio (Figuras 3, 4 y 5).

**Tabla 1.** Análisis de las anomalías cromosómicas inestables en linfocitos irradiados con <sup>60</sup>Co y marcados según la metodología FISH estandarizada. La falta de concordancia entre la cantidad de translocaciones detectadas y de cromosomas dicéntricos, que se ven en ambos experimentos de irradiación (0.75 y 1.85 Gy) se debe a la baja eficiencia de detección de translocaciones con la marcación de sólo dos pares de cromosomas, 1 y 2 en este caso.

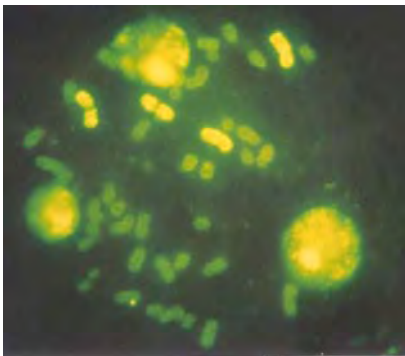
DOSIS (Gy)	CÉLULAS ANALIZADAS	Translocs (*)	DIC	Translocs totales / célula (*)	SE x 10 <sup>-3</sup>	Dicéntricos FISH / Célula
0	135	0	0	0		0
0.75	112	2	6	0.0179	8.74	0.0534
1.8	78	4	3	0.0513	30.5	0.0385



**Figura 3.** Contratinción con DAPI. 1000X.



**Figura 4.** Marcación FISH de los cromosomas 1 (extremos derecho e izquierdo) y 2 (al centro, arriba y abajo). Los cromosomas sin marcación aparecen en segundo plano con fluorescencia verdosa.



**Figura 5.** Es posible marcar con FISH los cromosomas interfásicos. Los cromosomas 1 aparecen con el centrómero fácilmente distinguible y el par 2, a la derecha de los anteriores, se hallan cerca de varios núcleos en interfase dentro de los cuales es posible distinguir las marcas fluorescentes de los mencionados cromosomas.

#### 4. DISCUSIÓN

El objetivo de este trabajo fue lograr la estandarización de una metodología que permita a nuestro laboratorio usarla como herramienta para la dosimetría biológica de las radiaciones ionizantes en los casos en que se

necesite saber, en retrospectiva, la dosis recibida por personas sobreexpuestas a radiaciones ionizantes. Después de una detallada revisión de la literatura escogimos dos métodos FISH usados en el HGUGM de Madrid, España. Uno, el denominado «Método Indirecto» resultaba difícil de probar porque requería adquirir sondas de ADN de una marca que no tenía representación oficial en Sudamérica. Preferimos, entonces, ensayar el denominado «Método Directo» que se pudo aplicar gracias a la colaboración de la organización GRIAPRA de España. Tardamos varios meses en lograr una respuesta adecuada del método (Figuras 3, 4 y 5). Sin embargo, hay todavía muchos aspectos que debemos mejorar para poder hacer una aplicación correcta de esta metodología, primero, en el establecimiento de una apropiada curva de calibración y, posteriormente, para dar la adecuada rigurosidad estadística a la evaluación citogenética por FISH de los casos que se presenten.

La sensibilidad del método podría ser incrementada incrementando la eficiencia para detectar translocaciones en las metafases. Actualmente, debido a limitaciones de orden presupuestal, sólo estamos estudiando la marcación FISH de los cromosomas 1 y 2 que, juntos, equivalen al 16.32% del genoma [1]. Eso nos da una eficiencia de detección del 25% aproximadamente, lo cual está aún lejos del 33% con el que trabajan casi todos los laboratorios del mundo que aplican la tinción FISH a la dosimetría biológica de las radiaciones ionizantes. Para alcanzar ese valor es indispensable trabajar al menos con tres pares de cromosomas: por ejemplo, 1, 2 y 4, como fue nuestro planteamiento inicial. En los trabajos que haremos posteriormente haremos la inclusión del cromosoma 4 con lo que llegaremos al 22.71% del genoma.

La principal ventaja del análisis de las translocaciones con la metodología FISH es que tales aberraciones son evidenciadas de tal manera que se hace muy fácil detectarlas e identificar su tipo rápidamente. Además, se puede hacer la discriminación entre translocaciones y dicéntricos coloreando específicamente los centrómeros con una sonda pancentromérica [12]. Sin embargo, eso, en nuestro caso, incrementaría los costos de nuestro proyecto en un 20% por lo que debemos ver cuál debe ser nuestra estrategia para desarrollar completamente la técnica en nuestro país.

## 5. REFERENCIAS

[1] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Cytogenetic Analysis for Radiation Dose Assessment. A Manual. Technical Reports Series N° 405. Vienna, 2001.

[2] STRAUME, T.; LANGLOIS, R. G.; LUCAS, J.; JENSEN, R. H.; BIGBEE, W. L.; RAMALHO, A. T.; BRANDAO-MELLO, C. E. Novel biodosimetry methods applied to victims of the Goiania accident. *Health Phys.*, 60 (1) 71-76, 1991.

[3] SCHEID, W.; WEBER, J.; PETRENKO, S.; TRAUT, H. Chromosome aberrations in human lymphocytes apparently induced by Chernobyl fallout. *Health Phys.* 64(5): 531-534; 1993.

[4] LLOYD, D. C.; LUCAS, J. N.; EDWARDS, A. A.; DENG, W.; VALENTE, E.; HONE, P. A.; MOQUET, J. E. A study to verify a reported excess of chromosomal aberrations in blood lymphocytes of Namibian uranium miners. *Radiat. Res.* 155, 809-817, 2001.

[5] LUCAS, J. N.; AWA, A.; STRAUME, T.; POGGENSEE, M.; KODAMA, Y.; NAKANO, M.; OHTAKI, K.; WEIER, H. U.; PINKEL, D.; GRAYS, J.; LITTLEFIELD, G. Rapid translocation frequency analysis in humans decades after exposure to ionizing ionization. *Nt. J. Radiat. Biol.* 62 (1), 53-63, 1992.

[6] DARROUDI, F.; NATARAJAN, A. T. Application of FISH chromosome painting assay for dose reconstruction: state of the art and current views. *Radiat. Prot. Dosim.*, 88 (1), 51-58, 2000.

[7] RAVE-FRANK, M.; VIRSIK-PEUCKERT, P.; SCHMIDBERGER, H.; RODEMANN, H. P. Reciprocal translocation frequency in irradiated sensitive and resistant human tumor cells in correlation with clonogenic in vitro cell survival: a possibility of tumor radiosensitivity prediction? *Radiother. Oncol.* 38 163-170, 1996.

[8] MOQUET, J. E.; EDWARDS, A. A.; LLOYD, D. C.; HONE, P. A. The use of FISH chromosome painting for assessment of old doses of ionizing radiation. *Radiat. Prot. Dosim.* 88 (1), 27-33, 2000.

[9] LLOYD, D. C.; EDWARDS, A. A.; MOQUET, J. E.; HONE, P. A. Doses in radiation accidents investigated by chromosome aberration analysis. XXII: Review of cases investigated, 2000-2002. NRPB-W33. National Radiological Protection Board. 2003.

[10] GONZÁLES CALVO, A.; ASUNCIÓN DIEZ, S. Dosimetría biológica: análisis de las aberraciones cromosómicas para la estimación de dosis. Casos investigados en España. Consejo de Seguridad Nuclear. Colección Otros Documentos CSN, 9. 1998.

[11] ESPINOZA, M. E.; ALFARO, J.; CANO, Y.; ACOSTA, O. Estudio de los cromosomas en personas rutinariamente expuestas a radiaciones ionizantes. Informe Final Científico. Contrato de Subvenciones CONCYTEC N°677-09-93-OAI. 1998.

[12] PINKEL, D.; STRAUME, T.; GRAY, J.W. Cytogenetic analysis using quantitative, high-sensitivity, fluorescence hybridization. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 83, 2934-2938, 1986.



# AISLAMIENTO Y CARACTERIZACIÓN MOLECULAR DE MICROORGANISMOS BIOOXIDANTES DE ARSENOPIRITA

Quintana M.<sup>(5)</sup>; Ly M.<sup>(2), (3)</sup>; Bauer J.<sup>(2)</sup>; Montoya Y.<sup>(1)</sup>; Comallonga L.<sup>(2), (4)</sup>; Vassel B.<sup>(2), (4)</sup>; Espinoza M.<sup>(1)</sup>; Espinoza J.<sup>(1), (5)</sup>

(1) Departamento de Biología – IPEN / Lima, Perú

(2) Departamento de Microbiología – Universidad Particular Cayetano Heredia / Lima, Perú

(3) Compañía Minera Fortuna S.A.

(4) Escuela de Minas de Ales / Francia.

(5) Unidad de Biotecnología Molecular – Universidad Particular Cayetano Heredia / Lima, Perú

## 1. RESUMEN

La identificación de los genes de respuesta a condiciones extremas como altas temperaturas, alta concentración de metales de arsénico, pH muy bajo permitiría el establecimiento de procesos mas rápidos y eficientes de tratamiento de minerales mediante biominería. En este proceso los sulfuros metálicos insolubles son oxidados a sulfatos metálicos solubles (Rawlings & Silver, 1995). En el presente informe se presentan los avances en el aislamiento y caracterización de las poblaciones de microorganismos acidófilos y quimilitotróficos biooxidantes de hierro y sulfuros actuantes en la biooxidación de arsenopirita. Se han aislado microorganismos del género *Acidithiobacillus* y *Leptospirillum* en cultivos de 10<sup>5</sup> ufc/ml en placa (proporción 1.5:1) identificados por morfología en coloración Gram y visualizados en el microscopio óptico (1000X).

## 2. MATERIALES Y METODOS

### 2.1 Cultivo y aislamiento de las bacterias.

#### Medio 271: APH

2.00 g de Sulfato de amonio, 0.50g de Fosfato de potasio dibásico, 0.50g de Sulfato de magnesio, 0.10g de Cloruro de potasio, 0.01g de Nitrato de calcio, 8.00g de Sulfato de hierro en 1 litro de agua destilada ajustada a pH 2 con ácido sulfúrico. Se esterilizó por filtración.

#### Medio sólido

A: Agarosa

Para eliminar sustancias orgánicas que puedan inhibir el crecimiento bacteriano, pues se trata de bacterias quimilitotróficas obligadas (Johnson, 2001), se lavó previamente la agarosa de la siguiente manera: 10 g de agarosa en 25ml de alcohol y 50 ml de agua destilada se

mantuvieron en agitación por 5 minutos luego del cual se dejó decantar la solución. Se descartó el sobrenadante (fase alcohólica) y se repitió el lavado con alcohol 2 veces más y luego sólo 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 por 15 min.

B: Medio Holmes 10X

35 ml de medio 9K 10X, 7.5 ml de solución de sulfato ferroso heptahidrato a pH 2 y 407.5ml agua destilada ácida (pH 3). Medio 9K 10: 30.00 g de Sulfato de amonio, 0.50g de Fosfato de potasio dibásico, 5.0g de Sulfato de magnesio, 1.0g de Cloruro de potasio, 0.12g de Nitrato de calcio, 10 ml de ácido sulfúrico en 1 600 ml de agua destilada. Se esterilizó en autoclave a 121°C x 15 min. Solución de sulfato ferroso: 5g de sulfato ferroso en 15 ml de agua destilada. Se ajustó el pH a 2 con ácido sulfúrico y se esterilizó por filtración. Se mezclaron B y A a 55°C aprox. El medio fue distribuido en placas, las cuales fueron incubadas a 37°C por 24 horas.

### 2.2 Procedimiento

- Se colectó una muestra del tanque 3 de la mina Tamboraque (Huarochirí, Lima), se observó una gota de la muestra en el microscopio de contraste de fases y se verificó la presencia de microorganismos.
- Para aumentar la población de bacterias oxidantes de hierro y/o sulfatos y adaptar a dichos microorganismos a condiciones de laboratorio se sembró 10 ml de dicha muestra en 100 ml de medio 271 APH (2 repeticiones) y se dejó en incubación a 37°C hasta ver cambiar el medio a un color naranja intenso por efecto de la oxidación bacteriana del sulfato ferroso presente en el medio a sulfato férrico (Rawlings y col, 1999) (6 días aprox.).

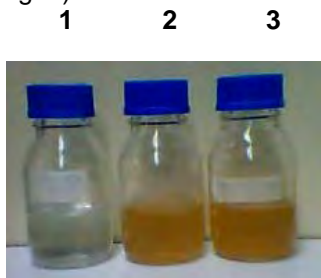


- Para verificar la presencia bacteriana en el medio oxidado se cogió una gota del cultivo y se realizó coloración Gram, observándose en el microscopio la presencia de bacterias oxidantes de hierro y/o sulfato (Gram negativas)
- De este cultivo se cogió 1 ml y se sembró en 100 ml de medio APH fresco. Se dejó en incubación a 37°C, esta vez por 8 días aprox.
- Con el fin de obtener cultivos puros, se sembró con ayuda de un asa de vidrio, 10 µl del cultivo mixto en las placas con medio sólido tratado especialmente para estas bacterias y así conseguir colonias separadas que permitan el aislamiento y futura identificación de los microorganismos presentes en la muestra. Las placas se dejaron en incubación a 37°C hasta la aparición de las colonias (14 días aprox.).

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Colección muestras

Se tomó una muestra de 1L del tanque 3 del proceso a escala de laboratorio de la mina Tamboraque. De la muestra se inoculó 10 ml en 100 ml de los medios sintéticos 882 y el APH (pH2) por duplicado. Los cultivos se incubaron a 37°C sin agitación. Luego de 6 días se hizo el monitoreo del cambio de coloración en el medio por la oxidación del ión ferroso a ión férrico, observándose crecimiento en el medio APH y no crecimiento en 882. (Fig. 1).



**Figura 1.** Cultivo de microorganismos biooxidantes en medio APH. **1.** Control; **2.** Cultivo primario; **3.** Cultivo secundario. **N.B.** la coloración debida a la oxidación de ión ferroso a ión férrico.

#### 3.2 Coloración Gram

Los microorganismos acidófilos y quimilitotróficos oxidantes de hierro y/o sulfatos que crecieron en el cultivo primario con medio APH fueron teñidos con la coloración Gram, observándose solo bacilos Gram negativos con morfología correspondiente a *Acidithiobacillus* y *Leptospirillum* (Johnson, 2001) en una proporción de 1.5:1.

#### 3.3 Aislamiento en placa

El cultivo primario fue pasado a medio fresco APH observándose un crecimiento adecuado. Una alícuota de este medio se sembró en un medio sólido para el aislamiento de especies de microorganismos acidófilos y quimilitotróficos biooxidantes de manera que nos permita separar e identificar clones de estos organismos para su caracterización genética.

#### 3.4 Genotipificación de microorganismos biooxidantes.

Se han diseñado primers para identificar molecularmente las especies de bacterias biooxidantes de la muestra, sobre la base de la información de secuencias depositadas en el GenBank del gen 16S rRNA de *Acidithiobacillus* (GenBank Accesion N° AB039820) y *Leptospirillum* (GenBank Accesion N° AF356838). Para tal fin se hicieron alineamientos múltiples que nos permitieran identificar las regiones conservadas del 16S rRNA entre estas especies pero a su vez, diferentes para el resto de acidobacterias (Figura 2). Los primers fueron diseñados a partir de dichas regiones conservadas utilizando el programa Oligo version 2. La genotipificación se efectuará por análisis de restricción usando la enzima *StuI* (Figura 3).

### 4. REFERENCIAS

- 1). 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.
- 2). 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.

- 3). Rawlings, D. and Silver, S. (1995) Mining with microbes. *Bio/Technology* **13**:773-778.

gi 871397	*	20	*	40	*	60	*	80	
gi 1844820 :	---	-----	-----	AA	CGAA	CGTGG	CGCGT	GCCT	TAACAC
gi 1844820 :	GT	CGA	CAGAG -	TTTTGAT	CGTGG	CTC	AGAC	GAA	CGTGG
gi 1844820 :	GT	CGA	CAGAG -	TTTTGAT	CGTGG	CTC	AGAC	GAA	CGTGG
gi 1844820 :	GT	CGA	CAGAG -	TTTTGAT	CGTGG	CTC	AGAC	GAA	CGTGG
gi 1844820 :	GT	CGA	CAGAG -	TTTTGAT	CGTGG	CTC	AGAC	GAA	CGTGG
gi 1844820 :	GT	CGA	CAGAG -	TTTTGAT	CGTGG	CTC	AGAC	GAA	CGTGG
gi 1844819 :	GT	CGA	CAGAG -	TTTTGAT	CGTGG	CTC	AGAC	GAA	CGTGG
gi 1424889 :	---	-----	-----	AA	CGAA	CGTGG	CGCGT	GCCT	TAACAC
gi 1844819 :	GT	CGA	CAGAG -	TTTTGAT	CGTGG	CTC	AGAC	GAA	CGTGG
gi 1844819 :	GT	CGA	CAGAG -	TTTTGAT	CGTGG	CTC	AGAC	GAA	CGTGG
gi 6491778 :	---	-----	-----	AA	CGAA	CGTGG	CGCGT	GCCT	TAACAC
gi 1844819 :	GT	CGA	CAGAG -	TTTTGAT	CGTGG	CTC	AGAC	GAA	CGTGG
gi 1844819 :	---	-----	-----	AA	CGAA	CGTGG	CGCGT	GCCT	TAACAC
gi 2135978 :	---	-----	-----	AA	CGAA	CGTGG	CGCGT	GCCT	TAACAC
gi 7228414 :	---	-----	-----	AA	CGAA	CGTGG	CGCGT	GCCT	TAACAC
gi 1143606 :	---	-----	-----	AA	CGAA	CGTGG	CGCGT	GCCT	TAACAC

aacgaaacgctggcggtgcctaaacacacatgcaagtcc acgtgaaaggggag

gi 871397	*	1540	*	1560	
gi 1844820 :	-	G	-----	-----	: 1484
gi 1844820 :	-	G	-----	-----	: 1537
gi 1844820 :	-	G	-----	-----	: 1537
gi 1844820 :	-	G	-----	-----	: 1536
gi 1844820 :	-	G	-----	-----	: 1535
gi 1844819 :	-	G	-----	-----	: 1538
gi 1424889 :	-	G	-----	-----	: 1484
gi 1844819 :	-	G	-----	-----	: 1531
gi 1844819 :	-	G	-----	-----	: 1534
gi 6491778 :	-	G	-----	-----	: -
gi 1844819 :	-	G	-----	-----	: 1535
gi 1844819 :	-	G	-----	-----	: 1516
gi 2135978 :	-	G	-----	-----	: 1462
gi 7228414 :	-	G	-----	-----	: 1490
gi 1143606 :	-	G	-----	-----	: -

Figura 2. Alineamiento múltiple de secuencias del 16S rRNA de *Acidothiobacillus* y *Leptospirillum*

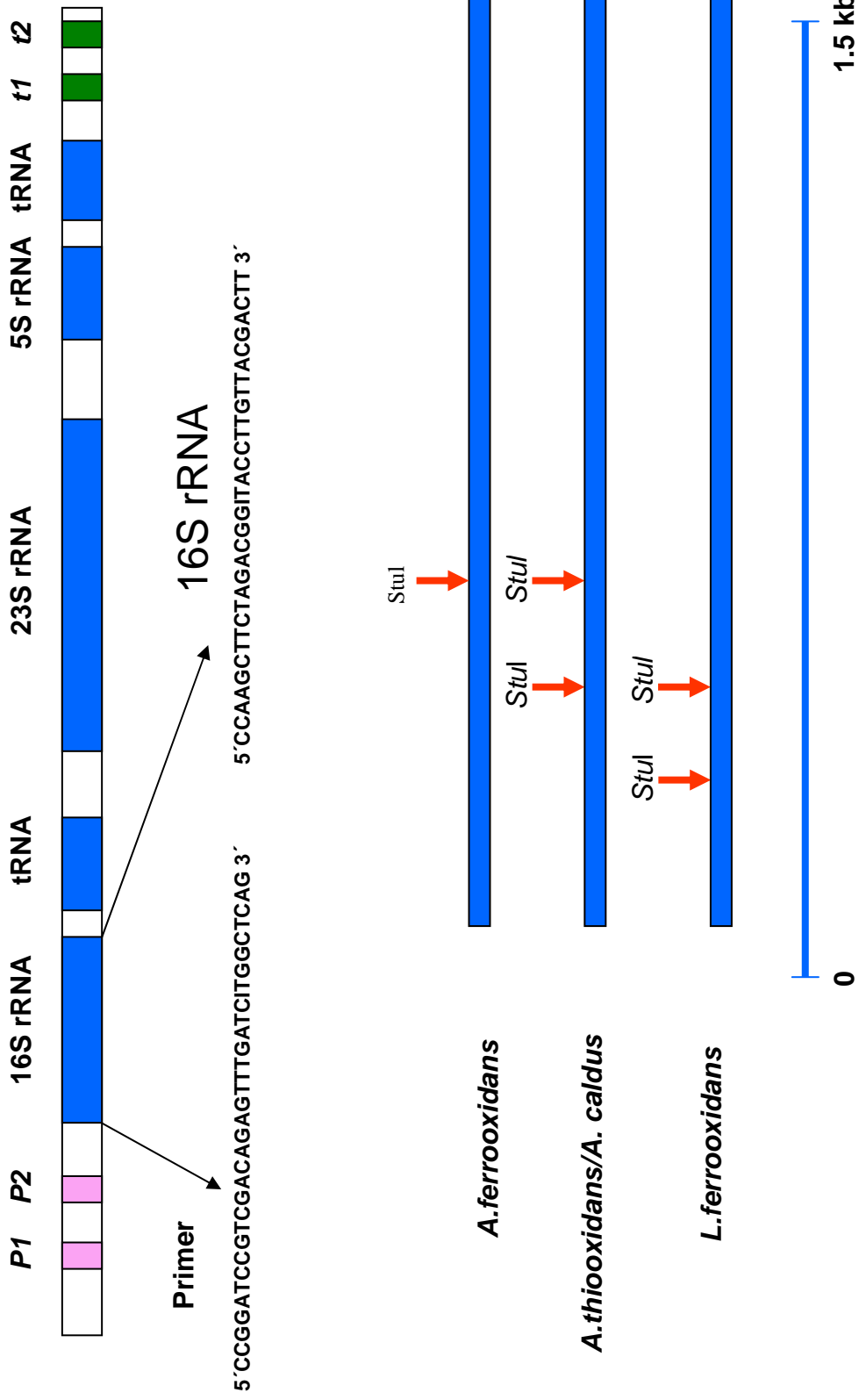


Figura 3. Genotipificación de bacterias biooxidantes por análisis de 16S rRNA

# CLONING *LEISHMANIA* TELOMERES IN YEAST BY COMPLEMENTATION

Espinoza J. <sup>(1,2)</sup> [jespinoza@ipen.gob.pe](mailto:jespinoza@ipen.gob.pe)

(1) Department of Biology – Peruvian Institute of Nuclear Energy (IPEN) / Lima, Perú  
(2) Molecular Biotechnology Unit – Universidad Peruana Cayetano Heredia / Lima, Perú

Keywords: *Leishmania* telomeres, complementation, yeast

## ABSTRACT

*Leishmania* telomeres were cloned in yeast by complementation using a half arm of the yeast artificial chromosome vector pJS97. A single copy marker associated to the telomere (YT2) located 6 kb away from one end of a megabase size chromosome of 1116c8 was cloned by end rescue and DNA sequenced. The sequence of 1479 bp did not show a significant homology with any sequence stored in GenBank. *Leishmania* telomeres are amenable to be cloned and maintained in yeast, this approach will facilitate the analysis of telomere and subtelomere regions which are usually underrepresented in genomic libraries.

## 1. RESULTS AND DISCUSSION

*Leishmania* has 36 chromosomes and the linkage of genes appears conserved across species (Wincker et al., 1996, Ravel et al., 1996). However, the molecular karyotype of this parasite display a high degree of size polymorphism between strains and species (Bastien et al., 1992; Espinoza et al., 1995). The contribution of subtelomere/telomere variation to the karyotype polymorphism in *Leishmania* will require the characterization of repetitive elements forming these regions (Ravel et al., 1995). Long range restriction mapping of chromosomes I, II and V of strain isolates of *L. infantum* showed that the size variation of these chromosomes was produced by changes in the subtelomeric region (Blaineau et al., 1992; Bastien, et al., 1992). The hexamer repeat 5' GGGATT 3' is forming the telomeres of *L. donovani* (Ellis and Crampton, 1988). In addition, the telomeric oligonucleotide (GGGATT)<sub>n</sub> hybridised the chromosomes of several *Leishmania* species (Ellis and Crampton, 1988), suggesting that this sequence is forming the telomeres of the *Leishmania* species that are pathogenic to humans. In the present work, telomeres of *L. major*

LV39 and *L. peruviana* were cloned in yeast by complementation. The yield of cloning *Leishmania* telomeres in yeast by complementation might be increased by a rapid identification of false positives by using a negative selection screenig with plates containing 5-Fluororotic acid (5-FOA) (Boeke et al., 1987) as was the case in cloning human telomeres (Dobson and Brown, 1992) and *P. falciparum* telomeres (De Bruin et al., 1992).

A telomeric end of 1116c8 (Ytel2) was cloned in the pJS97 vector and maintained in YPH252 yeast strain (Sikorski and Hieter, 1989). Ytel2 clone hybridised to the (TTAGGG)<sub>4</sub> with a size of 27 kb. End rescue produced a 1.48 kb DNA fragment from the Ytel2 that hybridised to a megabase size chromosome (not shown). The YT2 hybridisation signal of the 1116c8 genomic DNA is degraded when digested with 0.25 and 0.5 units of Bal 31. The same blot was stripped and hybridised with a 3 kb anonymous probe derived from the 1116c8 genome did not show any degradation (Fig. 1). YT2 is a single copy marker located 6 kb away from one end of a megabase size chromosome of 1116c8.

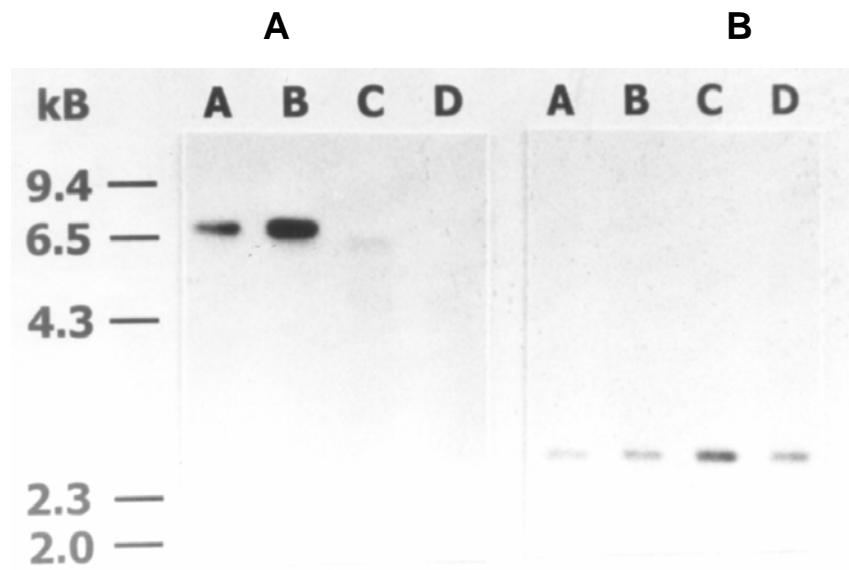
The sequence of 1479 bp did not show a significant homology with any sequence stored in GenBank. There are three telomere hexamer copies dispersed in the sequence. There is a short region from 510 to 610 that has a composition of 72% A-T (GenBank accession number AF474146) BglIII produced YT2 hybridising fragments of different size in *L. peruviana* strains (Fig.2.A). This size variation is not caused by a BglIII polymorphism since double digestion with BglIII/BamHI produced a single YT2 hybridising fragment of 1.5 kb in *L. peruviana* isolates (Fig. 2.B). These isolates were from different locations in Perú (Davies et al., 1995). The average length of YT2 hybridising fragments in the whole population was 9.0 kb ± 4.81 kb (n=39). Isolates from Lima has an average

length of 12.19 kb  $\pm$  2.0 kb (n=6). Isolates from Ancash has a media of 14.3 kb  $\pm$  1.98 kb (n=10), isolates from Piura has an average length of 5.57 kb  $\pm$  3.17 kb (n=22). The average length of YT2 hybridising fragment from Piura isolates was shorter than the isolates from Lima and Ancash.

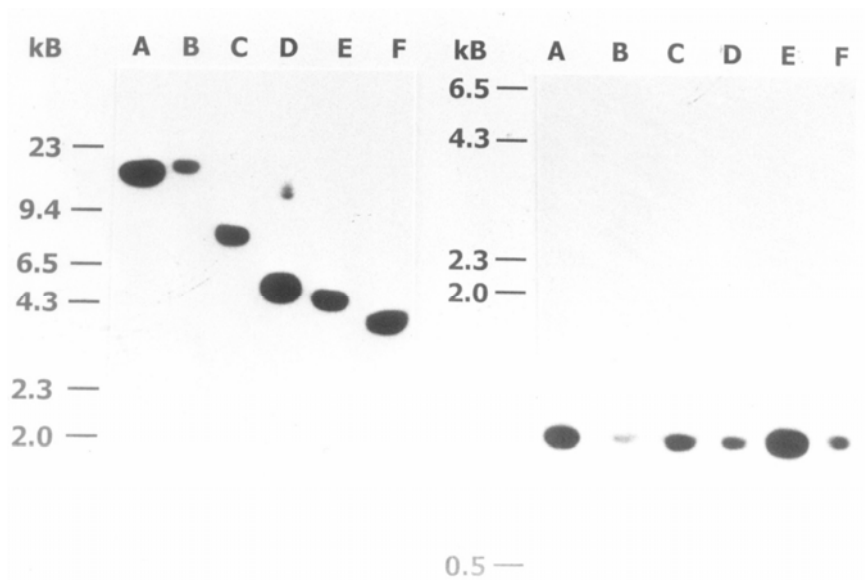
The YT2 marker was not detected by hybridisation in three *L. peruviana* isolates collected from Lima (1015 and 1260) and Ancash (1060). This marker was probably lost by a genome rearrangement, however a sequence divergence, even unlikely, could also produce a loss of the hybridisation signal.

## 2. REFERENCES

- 1) Bastien, P., Blaineau, C. and Pagès, M. (1992). Molecular karyotype analysis in *Leishmania*. In: Avila, J.L. and Harris, J.R. (eds.), Subcellular Biochemistry: Intracellular Parasites. Plenum Press, New York. Vol 18. pp. 131-187.
- 2) Bishop, R.P. and Miles, M.A. (1987). Chromosome size polymorphisms of *Leishmania donovani*. Molecular and Biochemical Parasitology. 24: 263-272.
- 3) Blackwell, J.M. (1992). Leishmaniasis epidemiology: all down to the DNA. Parasitology. 104: S19-S34.
- 4) Boeke J.D. , Trueheart, J., Natsoulis, G. and Fink G. (1987). 5-Fluoroacetic acid as a selective agent in yeast molecular genetics. Methods in Enzymology. 154: 164-175.
- 5) Burke, D.T., Carle, G.F. and Olson, M.V. (1987). Cloning of large segments of exogenous DNA into yeast by means of artificial chromosome vectors. Science. 236: 806-812.
- 6) Davies, C.R., Llanos-Cuentas, A., Pyke, S.D.M. and Dye, C. (1995). Cutaneous leishmaniasis in the Peruvian Andes: an epidemiological study of infection and immunity. Epidemiology and Infection. 114: 297-318.
- 7) De Bruin, D., Lanzer, M. and Ravetch, J.V. (1992) Characterization of Yeast Artificial Chromosomes from *Plasmodium falciparum*: Construction of a stable, representative library and cloning of telomeric DNA fragments. Genomics. 14: 332-339.
- 8) Dobson, M. J. and Brown, W.R.A. (1992). Cloning human telomeres in yeast artificial chromosomes. In: Anand, R. (ed.), Techniques for the Analysis of Complex Genomes. Academic Press, London. pp. 81-92.
- 9) Ellis, J. and Crampton, J. (1988). Characterisation of a simple, highly repetitive DNA sequence from the parasite *Leishmania donovani*. Molecular and Biochemical Parasitology. 29: 9-18.
- 10) Espinoza, J.R., Skinner, A.C., Davies, C.R., Llanos-Cuentas, A., Arevalo, J., Dye, C., McMaster, W.R., Ajioka, J.W. and Blackwell, J.M. (1995). Extensive polymorphism at the GP63 locus in field isolates of *Leishmania peruviana*. Molecular and Biochemical Parasitology. 72: 203-213.
- 11) Lanzer, M., Fischer, K. and Le Blancq, S.M. (1995). Parasitism and chromosome dynamics in protozoan parasites: is there a connection?. Molecular and Biochemical Parasitology. 70: 1-8.
- 12) Shero, J.H., McCormick, M.K., Antonarakis, S.E. and Hieter, P. (1991). Yeast Artificial Chromosome vectors for efficient clone manipulation and mapping. Genomics. 10: 505-508.
- 13) Sikorski, R.S. and Hieter, P. (1989). A system of shuttle vectors and yeast host strains designed for efficient manipulation of DNA in *Saccharomyces cerevisiae*. Genetics. 122: 19-27.
- 14) Wincker, P., Ravel, C., Blaineau, C., Pages, M., Jauffret, Y., Dedet, J.P. and Bastien, P. (1996). The *Leishmania* genome comprises 36 chromosomes conserved across widely divergent human pathogenic species. Nucleic Acids Research. 24: 1688-1694.



**Figure 1.** Telomere fragments from *L. peruviana* isolates Panel A: Digested with *Bgl*III and hybridised with YT2 probe. Panel B: Digested with *Bgl*III and *Bam*HI and hybridised with YT2 probe.



**Figure 2.**

## ***VI. Aplicaciones en Medicina***



# DIAGNOSTIC VALUE OF 99m-Tc GLUCOHEPTONATE SCINTIMAMMOGRAPHY IN THE ASSESSMENT OF PALPABLE BREAST TUMORS

Massardo T. <sup>(1)</sup>; Morales R. <sup>(2)</sup>; Alonso O. <sup>(3)</sup>; Cano R. <sup>(2)</sup>; Aguilar C. <sup>(2)</sup>; León L. <sup>(2)</sup>; Velarde R. <sup>(2)</sup>; Vigil C. <sup>(2)</sup>; Padhy A. <sup>(4)</sup>.

*(1) Department of Nuclear Medicine of University of Chile Clinical Hospital / Santiago, Chile.*

*(2) Department of Nuclear Medicine and Breast Diseases of Peruvian Institute of Nuclear Energy, Neoplastic Diseases Institute / Lima, Peru.*

*(3) Department Nuclear Medicine and Oncology. University of Uruguay Clinical Hospital / Montevideo, Uruguay.*

*(4) Nuclear Medicine Section, Department of Human Health, International Atomic Energy Agency / Vienna, Austria.*

## OBJECTIVE

In the scope of a prospective trial evaluating different Tc-99m radiopharmaceuticals for the diagnosis of breast cancer (IAEA E1.30.17) we investigated the value of 99mTc glucoheptonate scintimammography (GH) in the assessment of palpable breast masses.

## 1. MATERIAL AND METHODS

Twenty-six patients with palpable breast lumps referred from an oncological reference center in Peru were studied with GH and X-ray mammograms and then submitted to biopsy. Their mean age corresponded to 46 ± 10 yr and mean lesion size to 25 ± 11 mm (range: 6.0-60mm). Prone lateral views and anterior supine scan were performed 10 min after

GH injection using an isotime acquisition of 10 min and a dose of 740 MBq. Axillary regions were evaluated in twenty patients. Two independent observers blinded for clinical data interpreted all scans. Positive scans were those focal and well defined breast or axillary tracer uptake.

## 2. RESULTS

Six out of 26 breast lesions were benign lesions; in 9/20 cases there was no malignant axillary involvement. Strong diffuse bilateral breast uptake was observed in 80% of all cases (10% mild, 20% moderate and 50% severe). Interobserver concordance was 80% for breast and 85% for axillary lesions. The diagnostic values of mammograms and GH (95% Confidence Interval or C.I.) for breast lesions were as follows:

BREAST	X-Ray Mammo	GH
Sensitivity	<b>100% (C.I.: 83.2%-100%)</b>	<b>55% (C.I.: 31.6%-77%)</b>
Specificity	<b>33% (C.I.: 4.3%-77.7%)</b>	<b>100% (C.I.: 54.1%-100%)</b>

For axillary involvement diagnosis, GH sensitivity and specificity were 8.3 % (C.I.: 0.2%-38.5%) and 87.5% (C.I.: 47.3%-99.7%), respectively.

## 3. CONCLUSION

GH is not an accurate method for detecting breast lesions, though it is very specific compared with X-Ray mammogram. Diffuse tracer uptake observed in normal breast glands may contribute to this situation.

# LYMPHOSCINTIGRAPHY WITH 99m Tc-DEXTRAN AND RADIOGUIDED BIOPSY IN SENTINEL NODE LOCALIZATION IN BREAST CANCER

Aguilar C. <sup>(1)</sup>; Cano R. <sup>(1)</sup>; Morales R. <sup>(1)</sup>; Mendoza G. <sup>(1)</sup>; Saavedra P. <sup>(1)</sup>; Mendoza G. <sup>(2)</sup>; López D. <sup>(1)</sup>; Carlos I. <sup>(1)</sup>; Velarde R. <sup>(2)</sup>.

*(1) Centro de Medicina Nuclear IPEN-INEN, Instituto Peruano de Energía Nuclear, Instituto de Enfermedades Neoplásicas / Lima, Perú.*

*(2) Departamento de Senos, Huesos y Tumores Mixtos, Instituto de Enfermedades Neoplásicas / Lima, Perú.*

## AIM

The aim of this work was to evaluate the usefulness of lymphoscintigraphy using Tc 99m-dextran and a gamma detection probe, previous to as well as during radioguided biopsy, in patients with breast cancer and negative findings in axilla, respectively.

## 1. MATERIALS AND METHODS

33 patients (range age 27-74 years) with breast cancer diagnosis, stage I and II, with tumors smaller than 5 cm in diameter and negative findings in axilla were evaluated from June 2000 to Dec 2001 to whom 37 MBq of Tc 99m-Dextran in a volume of 0.2 cc, was infiltrated intradermally, before the patient was placed under gamma camera and the sentinel node location was marked on skin. Biopsy was done using a combined method -gamma counter and vital blue dye- in thirty-three patients.

## 2. RESULTS

The sentinel node was visualized by lymphoscintigraphy in 32 patients (32/33)

between five and twelve minutes after the radiopharmaceutical was injected.

Sentinel node biopsy was done in an average time of sixteen minutes, proving that the skin markers were accurate in 90 % (30/33) of cases. Three false negative patients were found. In six patients the frozen biopsy was positive and confirmed using paraffin. The identification rate using both lymphoscintigraphy and radioguided biopsy was 97%.

## 3. CONCLUSION

Lymphoscintigraphy with Tc-99m-dextran and surgical biopsy using the combined method could identify sentinel node in 97% of the patients with breast cancer and negative findings in axilla. The rate of false negative (9.3%) was according to expected. Lymphoscintigraphy was able to define the specific lymphatic drainage in each patient (32/33) and visualize the sentinel node to predict the lymphatic flow (32/33), which is specific in each patient. Skin marks were highly accurate in helping the surgeon with less operating time.

# EVALUATION OF Tc-99m SESTAMIBI SCINTIMAMMOGRAPHY IN THE DIAGNOSIS OF BREAST CANCER PATIENTS

Santa Cruz R. <sup>(1)</sup>; Morales R. <sup>(1)</sup>; Cano R. <sup>(1)</sup>; Aguilar C. <sup>(1)</sup>; López D. <sup>(1)</sup>; Carlos I. <sup>(1)</sup>;  
Vigil C. <sup>(1)</sup>; Velarde R. <sup>(1)</sup>; Cisneros F. <sup>(1)</sup>

(1) *Departments of Nuclear Medicine, Radiology and Breast Tumors of Instituto de Enfermedades Neoplásicas and Instituto Peruano de Energía Nuclear / Lima, Peru.*

## AIM

The purpose of this study was to evaluate the diagnostic accuracy of Tc-99m Sestamibi scintimammography in the diagnosis of breast cancer in patients with palpable breast lesions and to determine the sensitivity, specificity, and positive and negative predictive values of this method.

## 1. MATERIAL AND METHODS

Fifty women (mean  $\pm$  SD 46  $\pm$  9y) referred for a suspicious breast lesion on physical examination and abnormal or indeterminate mammogram underwent Tc-99m sestamibi scintimammography. Lateral prone and supine images were obtained at 15 and 60 minutes after administration of 25 mCi of the tracer, in the contralateral arm to the breast lesion. Subsequently, excisional biopsy and/or fine needle aspiration biopsy were performed. Scintigraphic results were compared with biopsies.

## 2. RESULTS

Breast cancer of 3 different types was histologically confirmed in 44 patients. Benign lesions were found in 6 patients. Tc-99m Sestamibi scintimammography was positive in 42/44 breast cancer patients (sensitivity 95,5%) and was negative in 5/6 patients with benign lesions (specificity 83,3%). Positive predictive value was 97,7% and negative predictive value was 71,4%.

## 3. CONCLUSION

Tc-99m Sestamibi scintimammography is a valuable complementary tool in the diagnosis of breast palpable lesions, with a high sensitivity and specificity. We suggest its use as an adjuvant technique in patients with doubtful mammographies.

# 99m Tc-DEXTRAN LYMPHOSCINTIGRAPHY AND RADIO GUIDED BIOPSY FOR LOCALIZING THE SENTINEL NODE IN MALIGNANT MELANOMA

Aguilar C. <sup>(1)</sup>; Saavedra P. <sup>(1)</sup>; Cano R. <sup>(1)</sup>; Morales R. <sup>(1)</sup>; Carlos I. <sup>(1)</sup>;  
Lopez D. <sup>(1)</sup>; Leon L. <sup>(2)</sup>; Vigil C. <sup>(2)</sup>; Abugattas J. <sup>(2)</sup>.

*(1) Centro de Medicina Nuclear Instituto Peruano de Energia Nuclear, Instituto de Enfermedades Neoplásicas / Lima, Perú.*

*(2) Departamento de Senos, Huesos y Tumores Mixtos, Instituto de Enfermedades Neoplásicas / Lima, Perú.*

## AIM

Evaluation of <sup>99m</sup>Tc dextran lymphoscintigraphy and radio guided biopsy for localization of sentinel node in patients with malignant melanoma

## 1. MATERIAL AND METHODS

Forty-two patients (range 4-76 years), with malignant melanoma were studied from June 2000 to December 2001. Lesions were located in lower limb in 27 patients, in upper limb in six and in trunk in nine. The size of the lesions ranged from 1-5cm. The radiopharmaceutical was injected intradermally around the lesion, using 37 MBq of <sup>99m</sup>Tc-dextran, with a volume of 0,2 ml.

Planar images were acquired for localizing sentinel node once the lymphatic channel was seen in the screen. A mark was done on skin to localize the node. The patients were driven to the operating room and

gamma probe plus blue dye were used to localize intraoperatively the sentinel node.

## 2. RESULTS

Images showed adequate drainage to one ganglionar region in thirty-nine patients, to two regions in two patients and to three regions in one patient. Sentinel node was found in all cases, between one to fifteen minutes after injection. Sixty-two nodes were seen and skin mark was successful for localizing the node in 61. The identification rate using blue dye and gamma probe was 100%. Radio guided biopsy was performed in eight minutes as time average.

## 3. CONCLUSIONS

<sup>99m</sup>Tc dextran lymphoscintigraphy and radio guided biopsy are useful for localizing of sentinel nodes in patients with malignant melanoma and shorten operating time.

# DIAGNOSTIC VALUE OF EARLY 99m-Tc METILENDIPHOSPHONATE SCINTIMAMMOGRAPHY IN THE ASSESSMENT OF PALPABLE BREAST TUMORS

Massardo T. <sup>(1)</sup>; Alonso O. <sup>(2)</sup>; Zhu H. <sup>(5)</sup>; Ravishankar U. <sup>(6)</sup>; Maunda K. <sup>(7)</sup>; Kabasakal L. <sup>(8)</sup>; Morales R. <sup>(3)</sup>; Gonzalez P. <sup>(1)</sup>; Padhy A. <sup>(4)</sup>.

(1) University of Chile Clinical Hospital, Nuclear Medicine Center, Santiago, Chile.

(2) University of Uruguay Clinical Hospital, Nuclear Medicine Center and Oncology Department, Montevideo, Uruguay.

(3) Peruvian Institute of Nuclear Energy, Neoplastic Diseases Institute, Lima, Peru.

(4) Nuclear Medicine Section, Department of Human Health, International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria.

(5) China.

(6) Nueva Dhely – India.

(7) Tanzania.

(8) Turquía.

## OBJECTIVE

In the scope of a prospective trial evaluating different Tc-99m radiopharmaceuticals for the diagnosis of breast cancer (IAEA E1.30.17) we investigated the value of 99mTc metilendiphosphonate (MDP) scintimammography in the assessment of palpable breast masses. Early MDP images have been advocated with a role in this subject.

## 1. MATERIAL AND METHODS

Seventy patients with palpable breast lumps referred from different centers from Chile, China, India, Peru, Tanzania and Turkey were studied with MDP and X-ray mammograms and then submitted to biopsy. Two patients had bilateral lesions. The group mean age corresponded to 51 ±

13 yr with lesions ranging from 17-47mm. Prone lateral views and anterior supine scan were performed 10 min after MDP injection using an isotime acquisition of 10 min and a dose of 740 MBq. Axillary regions were evaluated in 36 cases. Two independent observers blinded for clinical data interpreted all scans. Positive scans were those with focal and well defined breast or axillary tracer uptake.

## 2. RESULTS

Ten out of 72 breast lesions were benign and in 13/36 cases there was no malignant axillary involvement. Moderate diffuse bilateral breast uptake was observed frequently. Interobserver concordance was 89.3% for breast and 81.1% for axillary lesions. The diagnostic value and likelihood ratio (LR) for breast lesions (using 95% Confidence Interval or C.I.) were as follows:

BREAST	X-Ray Mammo	MDP
Sensitivity	<b>88.9% (C.I.: 77.4%-95.8%)</b>	<b>64.5% (C.I.: 51.3%-76.3%)</b>
Specificity	<b>72.2% (C.I.: 46.3%-90.3%)</b>	<b>40.0% (C.I.: 12.2%-73.8%)</b>
LR positive	<b>3.2 (1.7-7.1)</b>	<b>1.1 (0.7-2.1)</b>
LR negative	<b>0.1 (0.07-0.3)</b>	<b>0.9 (0.5-2.2)</b>

Mammogram sensitivity was better than MDP (p: 0.0024).

For lymphatic involvement diagnosis, MDP sensitivity and specificity were 13.0% (C.I.:2.8%-33.6%) and 92.3% (C.I.: 64.0%-99.8%), respectively.

## 3. CONCLUSION

MDP scintimammography using early images is not an accurate method for detecting palpable breast lesions. Compared with X-Ray mammogram, its overall value is much lower.

# CAPTACIÓN FISIOLÓGICA Y ARTEFACTOS EN RASTREO CORPORAL TOTAL CON YODO 131 EN PACIENTES CON CÁNCER DE TIROIDES

## Reporte Preliminar

Mendoza G. <sup>(1)</sup>; Cano R. <sup>(1)</sup>; Morales R. <sup>(1)</sup>; Flores R. <sup>(3)</sup>; Saavedra P. <sup>(1)</sup>; Rojas M. <sup>(2)</sup>; Morales J. <sup>(2)</sup>; Salvatierra <sup>(2)</sup>; Aguilar C. <sup>(1)</sup>

(1) Centro de Medicina Nuclear (CEMN) – IPEN; Instituto de Enfermedades Neoplásicas / Lima, Perú

(2) Departamento de Radiología, Instituto de Enfermedades Neoplásicas / Lima, Perú

(3) Departamento de Radiología, Hospital Almanzo / Chiclayo, Perú

## OBJETIVO

Determinar la frecuencia de presentación de zonas de captación fisiológica o de artefactos por contaminación en los rastreos corporal total con I131.

## 1. MATERIAL Y METODOS

Se evaluaron retrospectivamente las historias clínicas de los pacientes que acudieron al CEMN, con diagnóstico de cáncer de tiroides, para efectuarse rastreo corporal total con Iodo 131 (RTT), desde Enero de 1990 a Diciembre del 2000. Se revisaron 489 rastreos. Se consideró RTT positivo cuando se observó la presencia de tejido tiroideo funcional o de tejido metastásico y RTT negativo cuando no se observó tejido tiroideo funcional o tejido metastásico, y/o captación fisiológica o de artefactos por contaminación.

## 2. RESULTADOS

El análisis de los datos mostró que 315 RTT (64,4%) fueron positivos, 174 (35,6%) fueron negativos.

De los 174 RTT negativos en 18 estudios (10,3%), se observó captación fisiológica en mucosa bucal; en 7 (4,0%), en mucosa nasal; en 2 (1,1%), en hígado; en 11 (6,3%), en asas intestinales; en 62 (35,6%), en vejiga; y en 09 (5,1%), en estómago, y glándulas salivales; en 01 (0,2%), hubo captación en cuero cabelludo (artefacto).

## 3. DISCUSIÓN

El rastreo corporal total con I131 es un estudio de imágenes de gran utilidad en el seguimiento de los pacientes con cáncer diferenciado de tiroides. El I131 es captado por el remanente de tejido tiroideo o por tejido metastásico, lo que nos orienta a decidir si el paciente debe recibir una dosis ablativa de yodo. Existen también otras causas no patológicas de focos de hipercaptación, que son los tejidos donde se puede ver captación fisiológica del I131, o cuando hay artefactos por contaminación. En este artículo presentamos una detallada revisión de las zonas de captación no patológicas observadas en nuestra experiencia.

# CORRELACION ENTRE ANTIGENO PROSTATICO ESPECIFICO, GAMMAGRAFIA OSEA Y GRADO HISTOLOGICO EN PACIENTES CON CANCER DE PRÓSTATA.

## Reporte Preliminar

Mendoza G.<sup>(1)</sup>; Cano R.<sup>(1)</sup>; Benavente V.<sup>(2)</sup>; Dyer R.<sup>(3)</sup>; Saavedra P.<sup>(1)</sup>; Morales R.<sup>(1)</sup>; Aguilar C.<sup>(1)</sup>

(1) Centro de Medicina Nuclear (CEMN) – IPEN; Instituto de Enfermedades Neoplásicas / Lima, Perú.

(2) Servicio de Urología, Instituto de Enfermedades Neoplásicas / Lima, Perú.

(3) Departamento de Patología, Instituto de Enfermedades Neoplásicas / Lima, Perú.

## OBJETIVO

Evaluar la correlación existente entre la presencia de metástasis óseas (determinado por el índice de Soloway), la concentración sérica del PSA, y el grado histológico del cáncer de próstata (determinado por el índice de Gleason).

## 1. MATERIAL Y METODOS

Se evaluaron retrospectivamente las historias clínicas de los pacientes que acudieron al CEMN procedentes del Servicio de Urología del Instituto de Enfermedades Neoplásicas (INEN) de Enero 1993 a Diciembre 1995, con diagnóstico de cáncer de próstata, para efectuarse gammagrafía ósea y dosaje de PSA y PAP séricos. Se incluyeron aquellos pacientes que tenían diagnóstico reciente de Cáncer de próstata, que no habían recibido tratamiento, en los cuales el estudio anatómico-patológico se había basado en el Índice de Gleason, y en los que la gammagrafía ósea y el dosaje de PSA no hubiesen sido efectuados con más de 30 días de diferencia entre ambos exámenes. En 165 pacientes se cumplieron los criterios de inclusión.

## 2. RESULTADOS

El análisis preliminar de los datos mostró que la edad de los pacientes osciló entre 48 y 90 años, con una media de 70,9 años.

Los pacientes acudieron con un tiempo de enfermedad entre 0 meses (hallazgo de examen clínico) y 120 meses, siendo el promedio de 10,2 meses. Los síntomas con que acudieron a la consulta fueron de prostatismo en 75, solo dolor óseo localizado en 7, prostatismo y dolor óseo en 39 y deterioro del estado general en 44. El valor del PSA fue menor a 4 ng/ml en 15 pacientes, de 4 a 20 ng/ml en 31 pacientes, de 20,1 a 100 ng/ml en 40 y 77 pacientes tuvieron un dosaje mayor de 100,1 ng/ml.

De las 165 gammagrafias óseas realizadas 81 fueron informadas como normales o con patología de tipo benigno y 84 tuvieron metástasis ósea. (Nueve casos fueron clasificados como soloway I; 17 casos, Soloway II; 23, Soloway III y 35, Soloway IV). En la evaluación histológica se vio que 14 pacientes tuvieron adenocarcinoma bien diferenciado, en 75 pacientes fue moderadamente diferenciado y en 74 pobremente diferenciado.

## 3. DISCUSIÓN

En forma preliminar, según las observaciones realizadas, se puede concluir que el dosaje del PSA ha demostrado tener alta correlación con la gammagrafía ósea, para establecer la presencia o ausencia de metástasis óseas.

Esta correlación se incrementa si se asocia con el grado histológico del tumor utilizando el Índice de Gleason.

# EXPERIENCIA PERUANA EN LA PRODUCCIÓN DE UN KIT LIOFILIZADO DE IgG MARCADO CON Tc-99<sup>m</sup>

Petzoldt I. <sup>(1)</sup> [ipetzoldt@ipen.gob.pe](mailto:ipetzoldt@ipen.gob.pe); Caballero J. <sup>(1)</sup> [jcaballero@ipen.gob.pe](mailto:jcaballero@ipen.gob.pe); Robles A. <sup>(1)</sup> [arobles@ipen.gob.pe](mailto:arobles@ipen.gob.pe); Agurto G <sup>(1)</sup> [gagurto@ipen.gob.pe](mailto:gagurto@ipen.gob.pe).

(1) Planta de Producción de Radioisótopos – IPEN / Lima, Perú

## RESUMEN

Ante la ausencia de un kit de <sup>99m</sup>Tc-IgG para radiodiagnóstico de inflamación e infección ocultas, a fines de 1998 se capacitó personal en preparación y control de calidad de dicho radiofármaco en un país de la región. La técnica de producción del Kit de IgG que se utilizó está basada en el protocolo de producción validado en CNEA-Argentina. Se redujo la proteína, se colectaron fracciones y donde se obtuvo la proteína se utilizó para elaborar el kit liofilizado.

## 1. OBJETIVO

Estandarizar y validar la producción de un kit de IgG liofilizado, para ser marcado eficientemente con <sup>99m</sup>Tc obtenido por extracción.

## 2. MATERIAL Y MÉTODO



Se utilizó 50 mg de IgG Sandoz, reducida por método directo con 2Mercapto etanol, en una relación de 1000:1, purificada por pasaje a través de columna de Sephadex G-50, previamente lavada con buffer fosfato (PBS) pH=7.4. La proteína fue eluída con PBS frío y purgado constantemente con nitrógeno gaseoso. Se colectaron fracciones de 1.5 ml. La proteína colectada en los tubos del 3 al 8

medidos a 280 nm, se juntó y se le añadió el ligando MDP sal trisódica (50 µg/mg proteína) y el reductor SnF<sub>2</sub> (3.5 µg/mg de proteína). Del pool colectado se fraccionó a razón de 1 mg de proteína por vial. Las muestras fueron congeladas con nitrógeno líquido y se liofilizó por 24 horas con una temperatura final de 10°C. La marcación del kit liofilizado se realizó con un máximo de actividad de 10 mCi de Tc-99m de extracción en un volumen de 1 ml. Para el control radioquímico se utilizó: ITLC embebida en albúmina al 5 %/ mezcla amoniacal; ITLC/acetona; ITLC/suero fisiológico, asimismo se realizaron los controles de distribución biológica a las 4 y 24 horas en animales inflamados con trementina y el control de estabilidad hasta por tres meses.

## 3. RESULTADOS

Con esta metodología se produjeron 10 lotes. Se obtuvo una pureza radioquímica con un promedio de 95.26 % como en distribución biológica el promedio de la relación pata inflamada/ normal en el control a las 24 horas, reporta 5.93.

## 4. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos son compatibles con valores que reporta la literatura tanto en pureza como en la relación de la pata inflamada/ pata normal (>2.5). En los controles realizados el porcentaje de fijación de dosis inyectada en la pata inflamada es similar a los compartimentos comprometidos.

## 5. CONCLUSIONES

Se estandarizó un kit de Tc-99m IgG con una técnica viable y reproducible y reporta buena fijación en estudios clínicos. Debido a su limitada estabilidad en anaquel, se realizará una segunda etapa de este trabajo para prolongar su estabilidad por más de tres meses.



**Pureza radioquímica y distribución biológica.**

N°	fecha	lote	PRQ	% DB				Relación PN/PI ≥ 2.5 (24 h)
				240 minutos		24 horas		
				pata inflam.	pata normal	pata inflam.	pata normal	
1	06/11/98	L -1/98	94.9	2.69	0.84	3.44	0.96	3.583333333
2	12/11/98	L-2/98	93.46	2.6	0.56	1.91	0.58	3.293103448
3	12/03/99	903169	91.24	10.89	1.54	7	1.09	6.422018349
4	29/12/99	912689	97.12	7.46	1.4	4.93	0.83	5.939759036
5	13/09/00	009390	92.99	6.68	0.56	2.87	0.38	7.552631579
6	03/05/01	005261	98.3	10.41	1.87	5.59	0.79	7.075949367
7	25/10/01	010531	95.84	13.53	2.8	5.98	0.9	6.644444444
8	13/03/02	003202	94.8	5.12	1.21	4.41	0.88	5.011363636
9	26/06/02	006352	94.88	9.42	1.94	8.35	1.21	6.900826446
10	17/10/02	010492	94.52	5.84	1.34	4.86	0.69	7.043478261

**6. REFERENCIAS**

[1] Hnatowich DJ, Mardirossian G, Rusckowski M, Fogarasi M, Virzi F, Winnard P Jr (Dept. Nuclear Medicine, University of Massachusetts Medical Center, Worcester 01655). "Directly and indirectly technetium-99m-labeled antibodies--a comparison of in vitro and animal in vivo properties.". J Nucl Med. 1993 Jan;34(1):109-19.

[2] Crudo J., Durán A., Asurmendi S., Castiglia S. G. -"Producción de un kit de Inmunoglobulina humana (IgG) para marcar con <sup>99m</sup>Tc" XXII Reunión Anual de la AATN. Noviembre 1994.

[3] "Capacitación en grupo sobre producción de un kit de IgG para marcar con <sup>99m</sup>Tc", para becarios de países de la Región Latinoamericana, bajo el marco de ARCAL XV, OIEA.

# DISEÑO DE UNA FORMULACIÓN PARA LA OBTENCIÓN DE $^{99m}\text{Tc}-(\text{V}) - \text{DMSA}$

Agurto G. <sup>(1)</sup> [gagurto@ipen.gob.pe](mailto:gagurto@ipen.gob.pe); Caballero J. <sup>(1)</sup> [icaballero@ipen.gob.pe](mailto:icaballero@ipen.gob.pe);  
Petzoldt I. <sup>(1)</sup> [ipetzoldt@ipen.gob.pe](mailto:ipetzoldt@ipen.gob.pe); Otero M. <sup>(1)</sup> [motero@ipen.gob.pe](mailto:motero@ipen.gob.pe);  
Morote M. <sup>(1)</sup> [mmorote@ipen.gob.pe](mailto:mmorote@ipen.gob.pe)

(1) *Planta de Producción de Radioisótopos – IPEN / Lima, Perú*

## RESUMEN

La preparación a pH ácido del agente de radiodiagnóstico (ARD) del ácido dimercapto succínico (DMSA) que marcado con tecnecio ( $^{99m}\text{Tc}$ ) es un radiofármaco utilizado en neoplasias para la evaluación de la funcionalidad renal. Si en la formulación del ARD variamos el pH ácido a pH alcalino y se marca con  $^{99m}\text{Tc}$  da como resultado el kit  $^{99m}\text{Tc}-(\text{V})-\text{DMSA}$ , el cual posee afinidad por células con alta actividad metabólica. Por esta particular propiedad, este Kit es empleado en medicina nuclear para el diagnóstico de cáncer medular en tiroides y otros tumores de cabeza y cuello.

## 1. OBJETIVO

Diseñar una formulación del agente de radiodiagnóstico en forma liofilizada para la preparación del complejo  $^{99m}\text{Tc}-(\text{V})-\text{DMSA}$ .

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo se ha desarrollado la formulación del ARD con dos métodos diferentes:

**Método 1:** el ARD se obtiene mezclando el contenido de dos viales (A y B).

El vial A es una solución que tiene la siguiente composición: el ligando DMSA (0.9-1.0 mg), cloruro estañoso dihidratado  $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (0.166-0.42mg), myo-inositol (50mg), ácido ascórbico (0.625 - 0.7 mg), formulado a un pH entre 2.2-2.5 y liofilizado por 27 horas.

El vial B esta compuesto por una solución de bicarbonato de sodio ( $\text{NaHCO}_3$ ) al 4.2%.

### Método de Marcación 1

- Reconstituir el vial A con 1.0 mL de la solución del vial B, agitar hasta completa disolución.

- Al instante añadir de 1 a 3 mL de la solución de pertecnecio de sodio ( $\text{Na}^{99m}\text{TcO}_4$ ) con la actividad requerida.
- El pH de la solución de  $^{99m}\text{Tc}-(\text{V})-\text{DMSA}$  debe ser entre 8 – 9.
- Agitar el contenido del vial por algunos segundos y dejar reposar a temperatura ambiente por 20 minutos.

**Método 2:** la formulación del ARD se obtiene en un solo vial con la siguiente composición: DMSA (1.0-1.35 mg),  $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (0.11-0.2mg), myo-inositol (50mg), ácido ascórbico (0.625 - 0.7 mg), luego se lleva a pH 7.5–8.0 con la solución de  $\text{NaHCO}_3$  al 4.2%. Liofilizar por 27 horas.

### Método de Marcación 2

- Añadir al vial 2 mL de la solución de pertecnecio de sodio ( $\text{Na}^{99m}\text{TcO}_4$ ) con la actividad requerida.
- Agitar el contenido del vial por algunos segundos y dejar reposar a temperatura ambiente por 20 minutos.

## 3. CONTROL DE CALIDAD

**Pureza radioquímica** se ha analizado la Pureza radioquímica (PRQ) mediante ITLC utilizando para el método 1 Silicagel 60 en n-butanol/ácido acético/agua en proporción 3:2:3. en la tabla 1 se muestra la relación de la distancia recorrida por cada componente y la distancia recorrida por el solvente ( $R_f$ ).

Tabla 1.

Soporte	ITLC-SG (folio de aluminio)
Solvente	n-Butanol:ácidoacético:H <sub>2</sub> O (3:2:3)
$R_f$ $^{99m}\text{Tc}-\text{DMSA III}$	0.0
$R_f$ $^{99m}\text{Tc}-\text{DMSA V}$	0.4 – 0.6
$R_f$ $^{99m}\text{TcO}_4$	0.6 – 0.7

Para el método 2 se uso tres sistemas cromatográficos que se describen en la tabla 2 con su respectivo  $R_f$ .

Tabla 2.

Soporte	ITLC-SG	Whatman 3MM	Whatman 3MM
Solvente	MEC	NaCl 0.9%	n-Butanol:ácido acético:H <sub>2</sub> O (3:2:3)
Rf <sup>99m</sup> Tc-Dmsa III	0.0	0.7 – 1.0	0.0
Rf <sup>99m</sup> Tc-Dmsa V	0.0	0.7 – 1.0	0.3 – 0.6
Rf <sup>99m</sup> TcO <sub>4</sub>	0.9 – 1.0	0.7 – 1.0	0.6 – 0.7
Rf <sup>99m</sup> TcO <sub>2</sub>	0.0	0.0	0.0

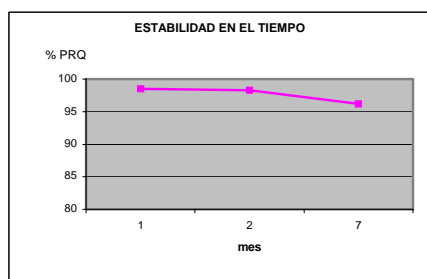
La distribución biológica (D.B), este estudio se realizó para determinar la distribución normal del ARD en animales no tratados, ratas wistar macho con un peso de 250 – 300 g.

Con una jeringa de 1 ml (tipo insulina) inyectar vía intravenosa 0.1 ml de la solución de <sup>99m</sup>Tc-(V)-DMSA después de 20 minutos de haber sido reconstituido el liofilizado. Sacrificar los animales después de 1 hora de haber sido inyectados.

#### 4. RESULTADOS

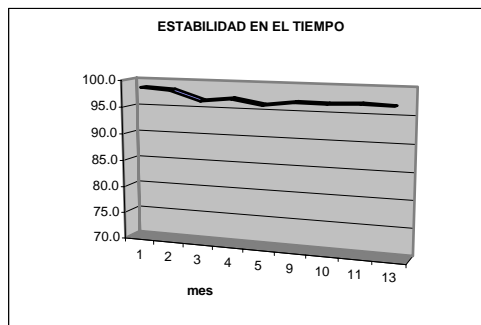
Mediante el método 2 de formulación se obtiene un ARD en forma liofilizada con una composición por vial de: 1.0 mg de ligando DMSA, SnCl<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O 0.2 mg, myo-inositol 50 mg, ácido ascórbico 0.7 mg y NaHCO<sub>3</sub> al 4.2% para ajuste de pH entre 7.5 - 8 dando como resultado una PRQ mayor al 95% y estable por 06 meses que se muestran en el grafico 1.

Gráfico 1.



Esta misma formulación se obtiene con el método 1 con la diferencia que el ARD esta compuesto por dos viales (A y B) con una PRQ mayor al 95% y estable por 13 meses.

Gráfico 2.



Los estudios de D.B realizados presentan valores compatibles con los reportados en la literatura\* y se presentan en la tabla 3.

Tabla 3.

ORGANOS	Resultados	Formulación M 1 (n=4)
	Publicados	
	IAEA-SM-355/77 1h	
HIGADO	1.5 (0.2)	1.04
BAZO	-	0.06
PULMONES	-	0.28
RIÑONES	3.6 (0.5)	2.34
ESTOMAGO	1.5 (0.9)	2.10
INTESTINOS-I		
INTESTINOS-II		
VEJIGA(ORINA)	-	25.54
CORAZON	-	0.15
FEMUR	-	1.00
MUSCULO	-	0.22
CEREBRO	-	0.02
COLA	-	1.38
TUMOR	-	-
TIROIDES	-	-
SANGRE TOTAL	5.5 (0.3)	6.04
MASA OSEA	26.2 (1.7)	26.97
MASA MUSCULAR	13.2 (1.4)	5.73

#### 5. DISCUSIÓN

Para la formación del complejo <sup>99m</sup>Tc-(V)-DMSA por el método 1 se requiere previamente la adición NaHCO<sub>3</sub> al 4.2% antes de su marcación con <sup>99m</sup>Tc, en el método 2 la formación del complejo se obtiene simplemente en una sola etapa por adición del <sup>99m</sup>Tc.

#### 6. CONCLUSIONES

Se determina el diseño del método 2 de una formulación en forma liofilizada del ARD listo para su marcación por simple adición del <sup>99m</sup>Tc formándose el complejo <sup>99m</sup>Tc-(V)-DMSA a pH 7.5-8. El complejo será analizado en el tiempo para determinar su periodo de estabilidad a si

como en animales tumorados y en humanos.

## 7. REFERENCIAS

[1] Rodríguez, M y col. Preparación de  $^{99m}\text{Tc(V)}$ -DMSA a partir de un Kit comercial de ácido dimercaptosuccínico. Revista Radiofarmacia Internet Julio 1998.

[2] Horiuchi-Suzuki K. y col. Challenges Associated with Re-186: from "carrier-free"  $^{99m}\text{Tc(V)}$ DMS to "carrier" containing  $^{186}\text{Re(V)}$ -DMS. International symposium on modern trend in radiofarmaceutical for diagnosis and therapy. Lisboa, Portugal 1998.

[3] Washburn L, Biniakiewicz D. Reliable preparation of  $^{99m}\text{Tc(V)}$ DMSA by simple modified method using a commercial kit  $^{99m}\text{Tc(III)}$ DMSA. Journal of Nuclear Medicine 1995.

## ***VII. Aplicaciones en el Medio Ambiente***

# RESULTADOS DE LOS ISÓTOPOS AMBIENTALES O-18 y DEUTERIO EN AGUAS TERMALES DE “BORATERAS”

Valencia J. <sup>(1)</sup> [jvalencia@ipen.gob.pe](mailto:jvalencia@ipen.gob.pe)

(1) Dirección de Aplicaciones – IPEN / Lima, Perú

## RESUMEN

Como una alternativa a fin de mitigar la contaminación por aguas termales en la cuenca alta del río Maure departamento de Tacna, zona altoandina del sur del Perú, se postula una solución, con el aprovechamiento de la energía geotérmica y generación eléctrica mediante pozos de explotación geotérmica que permitiría disminuir la presión en el reservorio y consecuentemente bajar el flujo natural de aguas termales de los manantiales con los elementos contaminantes Boro y Arsénico. Los isótopos ambientales indican la existencia de recarga en el posible sistema geotérmico, asegurando su aprovechamiento y permitiendo la descontaminación de las aguas termales y superficiales destinadas al abastecimiento para el departamento de Tacna.

## ABSTRACT

As an alternative in order to mitigate the contamination for thermal waters in the high basin of the river Maure department of Tacna, area altoandina of the south of the Peru, a solution is postulated to mitigate the contamination, with the use of the geothermal energy and electric generation by means of wells of geothermal exploitation that would allow lower the pressure in the reservoir and consequently to lower the natural flow of thermal waters of the springs with the elements polluting Boron and Arsenic. The environmental isotopes indicate the recharge existence in the possible geothermal system, assuring their use and allowing the decontamination of the thermal and superficial waters dedicated to the supply for the department of Tacna.

## 1. ISÓTOPOS AMBIENTALES

Los isótopos ambientales  $\delta^{18}\text{O}$  y  $\delta\text{D}$  integran la molécula de agua y son sensibles a los efectos de latitud, altitud y temperatura[1] los isótopos son de mucha importancia en la solución del problema de caracterización isotópica de aguas

termales, sobre todo en la interacción agua-roca a alta temperatura [2], procesos físico-químicos, y mezcla, que permiten determinar el funcionamiento del sistema geotérmico de “Borateras”.

## 2. COMPOSICIÓN ISOTÓPICA DE LAS AGUAS TERMALES

Para el presente estudio se han utilizado resultados de muestreo de aguas termales Oxígeno-18 y H-2 (deuterio), analizados en los laboratorios del OIEA, en la actualidad se dispone del inventario de las manifestaciones geotérmicas y los puntos establecidos para el monitoreo de la zona en estudio principalmente en la zona de descarga del posible sistema geotérmico, así como de una base de datos, lo que ha permitido obtener e identificar el origen de la zona de recarga. Igualmente determinar los puntos de más alta gradiente térmica en superficie, originados por el flujo térmico y poder recomendar estudios posteriores.

Los resultados isotópicos del presente estudio han sido representados en el Diagrama  $\delta^{18}\text{O} / \delta\text{D}$ . De este diagrama se puede interpretar que hay tres comportamientos isotópicos:

- Agua de río y manantiales fríos, con un carácter de agua meteórica y que en el diagrama están ubicadas próximas a la línea de agua meteórica, son originadas por los aportes de aguas de lluvias recientes que alcanzan una rápida escorrentía y/o una pobre infiltración con valores de ( $\delta^{18}\text{O} - 15.37$ ,  $\delta\text{D} - 116.48$  y  $\delta^{18}\text{O} - 15.55$ ,  $\delta\text{D} - 116.61$ ).
- Aguas termales, ubicadas en el diagrama en la línea de aguas geotérmicas que se agrupan en dos sectores GT-4, GT-6, GT-13 de Putina Chica, y dentro de este mismo alineamiento un tanto más distante con una composición isotópica y geoquímica diferente, la muestra de Putina Grande GT-3.
- Aguas enriquecidas en isótopos O-18 y H-2, correspondientes a muestras del

sector Putina Grande, y la laguna Vilacota, distante 15 km del área de "Borateras"

Las muestras de aguas termales de "Borateras" sector de Putina Chica GT-4, GT-5 correspondientes a los puntos de mayor descarga con una composición ( $\delta^{18}\text{O}$  -11.18,  $\delta\text{D}$  -104.31 y  $\delta^{18}\text{O}$  -10.90,  $\delta\text{D}$  -100.85), se interpreta como aguas geotérmicas de origen profundo de alta temperatura y afectadas por mezcla con aguas sub-superficiales, su comportamiento geoquímico, con alta concentración de Cloro (2,237 mg/l), Litio (16.96 mg/l) y elementos contaminantes, Boro (99.00 mg/l) y Arsénico (18.08 mg/l), estas aguas termales presentan características de "aguas andesíticas" [3] aunque con empobrecimiento isotópico.

Con respecto al comportamiento del sector Putina Grande, situado a tres kilómetros del anterior, muestra un comportamiento distinto al de Putina Chica con valores isotópicos de  $\delta^{18}\text{O}$  - 3.50,  $\delta\text{D}$  -85.12 indicando dos posibilidades, enriquecimiento atribuido a la interacción agua-roca en profundidad o tratarse de un sistema convectivo diferente y más superficial con valores isotópicos parecidos a muestras de agua de la laguna Vilacota, GT-21 y GT-22 ( $\delta^{18}\text{O}$  -2.13,  $\delta\text{D}$  -49.44  $\delta^{18}\text{O}$  -2.22,  $\delta\text{D}$  -49.10), lo que nos indicaría el origen de la recarga del sistema.

### 3. CONCLUSIÓN

La recarga para el área de "Borateras" estaría en la cuenca de la Laguna Vilacota y nacientes del río Maure, constituida por aguas que se infiltran según el patrón estructural; así para Putina Chica con una circulación profunda y con participación de aguas magmáticas, interacción agua-roca a alta temperatura y mezcla con aguas sub-superficiales y alta concentración de cloro y litio y elementos contaminantes. La misma recarga tiene Putina Grande aguas que se infiltran, pero con un circuito de convección más superficial, de menor temperatura no afectado por mezcla de aguas y menor concentración sobre todo en elementos de B y As (0.24, 0.02 mg/l).

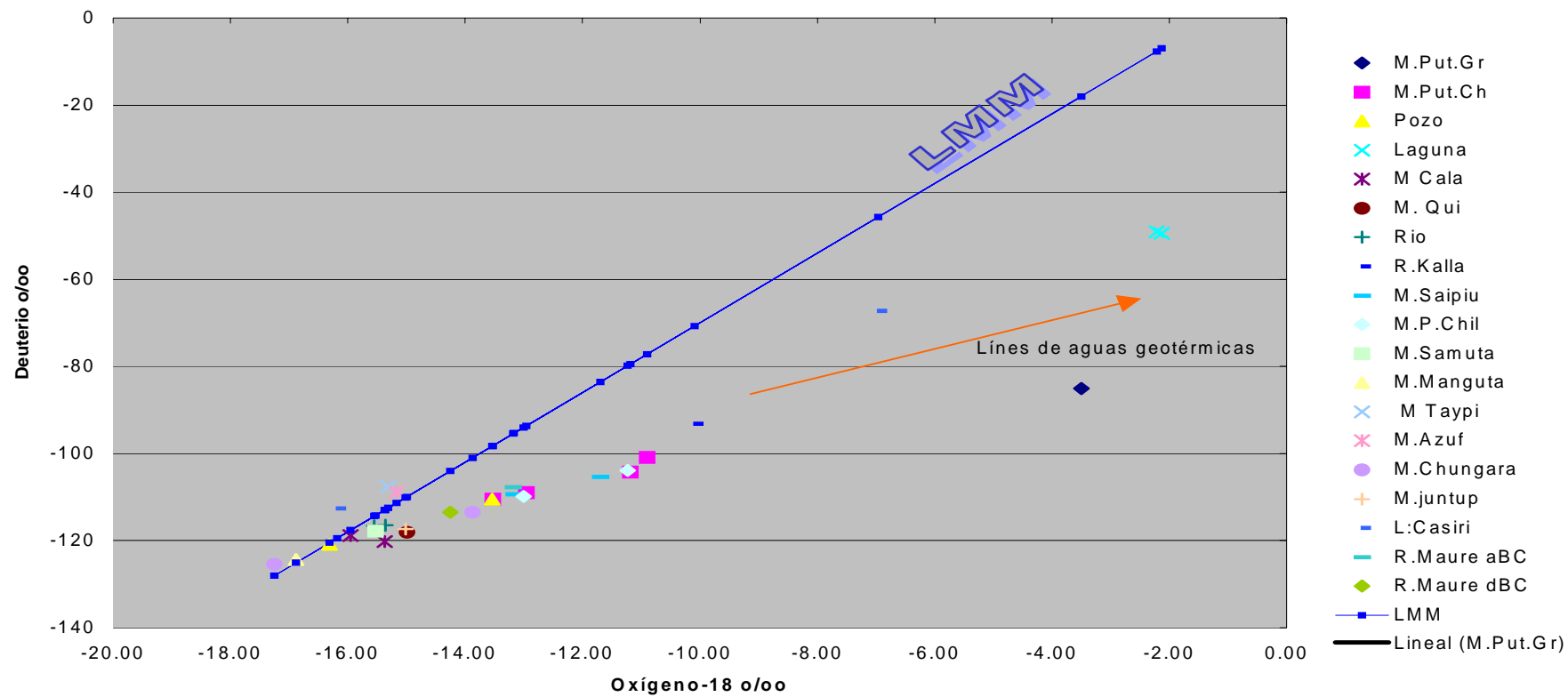
Por lo tanto el origen de las aguas geotérmicas de "Borateras" provendrían según la correlación isotópica y la dirección de flujo a partir de agua de la cuenca alta del río Maure (nacientes) y laguna Vilacota, por tener condiciones hidrogeológicas y

una dirección de flujo controlada por la estructura.

### 4. REFERENCIAS

- [1]. Arnórsson S. Isotopic and chemical techniques in geothermal exploration development and use. IAEA, Vienna 2000.
- [2]. IAEA. Isotope and geochemical techniques applied to geothermal investigations. IAEA-TECDOC-788., february-1995.
- [3]. IAEA. Estudios geotérmicos con técnicas isotópicas y geoquímicas en América Latina. IAEA-TECDOC-641. March - 1992.

DIAGRAMA ISOTOPOS O-18-H-2





# EMISION DE GASES CONTAMINANTES Y DE EFECTO INVERNADERO DEBIDO AL CONSUMO NACIONAL DE ENERGIA EN EL AÑO 2001

Avila J. <sup>(1)</sup>; Nieto M. <sup>(1)</sup>; Arrieta R. <sup>(1)</sup>; Anaya A. <sup>(1)</sup>; Llamas I. <sup>(1)</sup>

(1) Dirección General de Instalaciones – IPEN / Lima, Perú

Palabra claves: Inventarios Nacionales - Contaminación del Aire - Emisiones por Consumo de Energía - Sector Energético - Efecto Invernadero - Gases de Efecto Invernadero

## RESUMEN

Se presenta los cálculos para las emisiones de los gases de efecto invernadero (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O) y gases contaminantes (CO, NO<sub>x</sub>, COVDM, SO<sub>2</sub>) debido al consumo de energía total nacional del año 2001. Para el cálculo se ha aplicado la metodología del Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) considerando el consumo total nacional de los recursos energéticos utilizados en el año 2001. Hemos considerado el consumo de energía por sectores económicos, la población nacional mediante el llamado sector residencial y las emisiones en los procesos de transformación de recursos energéticos primarios en recursos energéticos secundarios, así como por las plantas eléctricas de generación térmica.

En el cálculo de las emisiones se ha utilizado los factores de emisión del IPCC y contenidos energéticos promedios de los combustibles. Así mismo, como fuente de información del consumo de combustibles, se ha utilizado datos de las oficinas e instituciones dependientes del Ministerio de Energía y Minas.

Las emisiones totales encontradas para el año 2001 fueron: 36.05 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>, 35436.8 toneladas de CH<sub>4</sub>, 878.7 toneladas de N<sub>2</sub>O, 153,731.4 toneladas de NO<sub>x</sub>, 1'336,060 toneladas de CO, 128,098.7 toneladas de COVDM y 163,930.2 toneladas de SO<sub>2</sub>.

Los sectores con la mayor cantidad de emisión de los gases considerados en el presente trabajo son los sectores residenciales y transporte. Los sectores residencial e industrial tienen una clara tendencia de disminución de uso de leña, no obstante que el sector residencial aún

todavía tiene un alto consumo de esta fuente. El sector transporte tiene un alto consumo del combustible diesel oil.

## 1. INTRODUCCION

A nivel mundial, uno de los objetivos principales de los pueblos es desarrollar la ciencia y tecnología principalmente para lograr sistemas energéticos eficientes, que es el principal insumo para alcanzar una mejor calidad de vida, en tal sentido están dirigidas las políticas de los gobiernos y las instituciones. Sin embargo el desarrollo energético tiene implicancias en el medio ambiente por la liberación de productos que son dañinos para los seres vivientes. Ello ha motivado que los países adopten medidas que conlleven a realizar acciones para conservar nuestro medio ambiente.

En nuestro continente con la Convención para la protección de la flora, de la fauna y las bellezas escénicas naturales de los países de América, llamada "Convención de Washington" firmada el 12 de Octubre de 1940 en el marco de la Organización de los Estados Americanos (OEA) constituye el primer intento a nivel continental por considerar el impacto del desarrollo en el medio ambiente como un tema relacionado con el desarrollo [1]. En 1968 se funda un organismo no gubernamental llamado "The Club of Rome" que tiene como principal objetivo difundir conocimientos de los problemas económicos y del medio ambiente organizándose de este modo el ser humano para conservar el medio ambiente [2]. En 1972 (del 5 al 16 de Junio) se realizó la Primera Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano o "Declaración de Estocolmo" celebrada en Estocolmo, a ella acudieron 113 países y se aprobaron tres documentos de suma importancia: La Declaración sobre el Medio Humano, un plan de acción con 109

recomendaciones para gobiernos y organismos internacionales y sugerencias de elaborar un Programa Ambiental y crear un Fondo Ambiental bajo los auspicios de las Naciones Unidas [3].

En 1973 fueron creados el Programa Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y el Fondo Ambiental. El PNUMA en colaboración con las demás agencias de Naciones Unidas, algunas de las cuales ya venían trabajando en este campo, empezó a cumplir un papel importante en el control, defensa y protección del medio ambiente [4]. El Fondo para las Naciones Unidas (FAO) por ejemplo a través de sus programas de agricultura, ganadería, forestación y pesquería, actúa directamente en la preservación y recuperación de suelos, agua, flora y fauna en el mundo.

En el mes de Junio (del 3 al 14) de 1992, se celebró la conferencia de las Naciones Unidas en Brasil denominada "Declaración de Río sobre el medio ambiente y el desarrollo" reafirmando la declaración de Estocolmo, por segunda vez en la historia, una cita cumbre, a donde acudieron 115 jefes de Estado y 1,400 representantes de Organizaciones No Gubernamentales (ONGs), participando en ella 178 países, siendo uno de los documentos muy importantes firmados, la Agenda 21 [5]. Es pues larga la lista de acuerdos, convenciones tratados, etc. para realizar acciones sobre la conservación del medio Ambiente.

Así también el deterioro del ambiente se suele enfocar de diferentes contextos, como el deterioro natural y artificial, éste último provocado por las diversas actividades humanas, el mismo que se suele separar en dos grandes sectores, especificados como sector energético y sector no energético.

**Sector energético:** Denominado así, a todas las actividades que generan agentes que deterioran el medio ambiente por el uso directo de recursos energéticos para obtener energía y darle diferentes fines y/o usos, esquematizado mediante una red de energía [6].

**Sector No Energético:** Constituido por todas las actividades que generan agentes que deterioran el medio ambiente como resultado de procesos de transformación, deforestación, actividades agrícolas,

ganaderas, etc.

El deterioro del medio ambiente por el hombre se inicia desde que éste empieza a modificar los ecosistemas con fines de mejorar su nivel de vida. En la actualidad cada día se acelera más el deterioro del ambiente de nuestro planeta por las múltiples actividades que realiza la humanidad, lo cual conlleva a una gran preocupación debido a que estamos destruyendo nuestro único lugar de vida que tenemos.

La contaminación atmosférica ha sido producto del proceso de la industrialización, así como de las grandes concentraciones urbanas, primordialmente por la emisión de humos, polvos y gases provenientes de fuentes móviles y fijas.

Para prevenir, restablecer y mantener la calidad de aire, se requiere realizar acciones para reducir la emisión de contaminantes. Los valores y criterios, sobre la calidad del aire, establecen límites para concentraciones de diversos contaminantes y proteger la salud de la humanidad, considerando las enfermedades más susceptibles a dichos contaminantes.

El Perú conciente de ello firma los acuerdos y tratados internacionales, y a nivel nacional se ha creado el Consejo Nacional de Medio Ambiente (CONAM) para velar por la conservación del medio ambiente y promover acciones que conlleve a un desarrollo sostenible del País [7].

En el presente trabajo se cuantifica las emisiones de gases de efecto invernadero y contaminantes por el uso de la energía en sus diferentes formas a nivel país incluido los procesos de transformación de recursos energéticos primarios en productos secundarios (combustibles) para el año 2001.

Se ha determinado por sectores y por fuentes energéticas con la finalidad de tener una visión de los sectores más contaminantes y del recurso energético que más emite dichos contaminantes, con el propósito de tomar acciones que permitan mitigar las emisiones y conservar el medio ambiente.

## RECURSOS ENERGETICOS

### Reservas.

El Perú cuenta con recursos energéticos renovables y agotables - gas natural, petróleo, uranio, carbón mineral, hidroenergía, biomasa, solar, viento, etc. para soportar su desarrollo.

Sin embargo en algunos casos las reservas no están bien cuantificadas y en otros casos no son muchas nuestras reservas. En la tabla No 1 se muestra las reservas probadas más importantes para el año 2000 [7,8,9].

**Tabla 1.** Reservas Energéticas Probadas para el año 2000. ( unidades : TJ ).

RECURSO	RESERVAS	%
Gas Natural	8473613.0	38.5
Líquidos de gas natural	3081584.0	14.0
Hidroenergía	5965666.0	27.1
Carbón mineral	1718670.0	7.8
Petróleo Crudo	1872654.0	8.5
Uranio	878639.0	4.0

### 2.2 Producción Nacional de recursos energéticos primarios

En el año 2001 la producción total de energía primaria fue de 446 530 TJ superior en un 1.3 % con respecto al año 2000, el incremento de producción se dio en el recurso de hidroenergía y gas natural. En la tabla No. 2 se muestra la producción para el año 2001 [10].

**Tabla 2.** Producción de Recursos Primarios (Unidades TJ).

RECURSO	PRODUCCIÓN	%
Petróleo crudo	196843	44.58
Gas Natural + Líquidos de gas natural	64736	14.66
Carbón mineral	552	0.13
Hidroenergía	79228	17.95
Leña	75108	17.01
Bagazo	14254	3.23
Bosta y Yareta	10782	2.44
<b>TOTAL</b>	<b>441503</b>	<b>100.0</b>

## 3. CONSUMO DE ENERGIA A NIVEL NACIONAL

El consumo total Nacional de energía en el 2001 fue de 448305 TJ como se puede observar en la tabla No.3, donde se observa que el diesel oil es el combustible más

utilizado con un 21.5 % seguido por la leña con un 15.4 %.

Para determinar las emisiones por sectores se especifica la cantidad de combustibles que consume cada sector, así como el combustible o recurso energético consumido en el proceso de transformación de recursos energéticos primarios en recurso energéticos secundarios.

**Tabla 3.** Consumo de Energía para el 2001 (Unidades: TJ).

FUENTES	CONSUMO	%
Carbón mineral	13775.0	3.1
Leña	69192.0	15.4
Bosta y Yareta	10782.0	2.4
Bagazo	11904.0	2.7
Energía Solar	2249.0	0.5
Coque	1202.0	0.3
Carbón de leña	2366.0	0.5
GLP	20457.0	4.6
Gasolina motor	43982.0	9.8
Kerosene Jet	46002.0	10.3
Diesel Oil	96591.0	21.5
Petróleo Industrial	57276.0	12.8
No energéticos de petróleo	5833.0	1.3
Gas distribuido	4.0	0.001
Gas industrial	1012.0	0.2
Electricidad	65678.0	14.7
<b>TOTAL</b>	<b>448305.0</b>	<b>100.0</b>

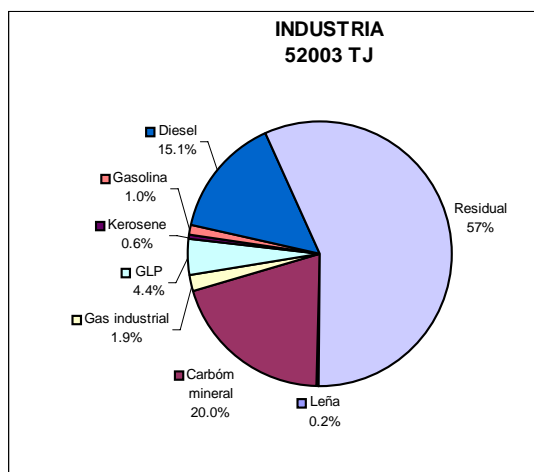
### 3.1 Consumo de energía por sectores

En la Tabla 4 se muestra el consumo de energía por el sector Residencial y Comercial.

**Tabla 4.** Consumo de Combustibles por el Sector Residencial y Comercial.

Combustibles	Cantidades (TJ)
Bosta y yareta	10782.0
Leña	68956.0
Carbón Vegetal	2366
Gas distribuido	4.0
GLP	17515.0
Kerosene	26434.0
Diesel oil	180.0
Residual	206.0
<b>TOTAL</b>	<b>126451</b>

La leña es el combustible más utilizado por el sector residencial y comercial, ello se debe a que en el sector residencial rural se utiliza la leña para la cocción de alimentos y otros usos por el bajo costo, dado que otro tipo de combustible es caro y hay carencia de centros de abastos.



**Figura 1.** Consumo de combustibles por el sector industrial para el año 2001.

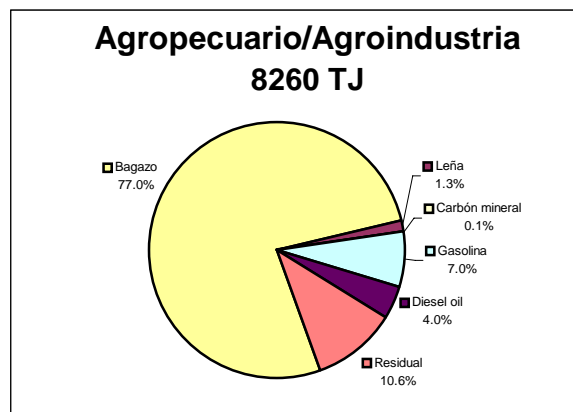
En la figura 1 se muestra el consumo de combustibles por el sector industrial, destacándose el petróleo residual, como el combustible más utilizado en este sector con un 56.7 % del total.

En la tabla 5 se presenta la energía consumida por el sector minero. Este sector ha utilizado principalmente petróleo residual (52.5 %) seguido por el diesel oil (27.3 %).

**Tabla 5.** Consumo de Combustible por el Sector Minero.

Combustibles	Cantidades (TJ)
Carbón mineral	10373.0
Coque	1012.0
GLP	2307.0
Kerosene	35.0
Gasolina	517.0
Diesel oil	7824.0
Petróleo residual	29487.0
<b>TOTAL</b>	<b>27747.0</b>

En la figura 2 se muestra el consumo de energía para el sector Agropecuario/Agroindustrial. El combustible que más utiliza este sector es bagazo (77 %) el resto de combustibles es consumido en muy baja cantidad.



**Figura 2.** Consumo de combustibles por el sector agropecuario/agroindustrial para el año 2001.

En la tabla 6 se muestra el consumo de energía por el sector Pesquero. El combustible más utilizado por este sector fue el petróleo residual (86.3%). El consumo total de este sector fue de 11550 TJ.

**Tabla 6.** Consumo de Combustibles por el Sector Pesquero.

Combustibles	Cantidades (TJ)
Carbón mineral	216
GLP	8
Kerosene	115
Gasolina	19
Diesel oil	1233
Petróleo residual	9959
<b>TOTAL</b>	<b>11550</b>

En la tabla 7 se muestra el consumo de energía por el sector transporte. Este sector utiliza el combustible diesel oil en mayor cantidad (58.7 %) y en segundo lugar la gasolina (28%). Los datos de consumo de combustibles no están separados en transporte nacional y transporte internacional ni por tipos de transporte, lo que ha dificultado hacer un estudio detallado de este sector.

**Tabla 7.** Consumo de Combustibles por el Sector Transporte.

Combustibles	Cantidades (TJ)
GLP	390.0
Turbo Combustible	15450.0
Gasolina	37473.0
Diesel oil	78526.0
Petróleo residual	2000.0
<b>TOTAL</b>	<b>133839.0</b>

En la tabla 8 se muestra el consumo de energía por el sector público. Este sector utiliza la gasolina en mayor cantidad (58.2 %) y el kerosene (Turbo Jet) en segundo lugar (30 %).

**Tabla 8.** Consumo de Combustibles por el Sector Público.

<b>Combustibles</b>	<b>Cantidades (TJ)</b>
GLP	15.0
Kerosene	2745.0
Gasolina	5328.0
Diesel oil	916.0
Petróleo residual	172.0
<b>TOTAL</b>	<b>9176.0</b>

#### 4. METODOLOGIA

El inventario nacional de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y de gases contaminantes es la cuantificación total proveniente del consumo de combustibles de fuentes fijas y móviles.

La metodología empleada en este trabajo es la recomendada por el Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) para el cálculo de las emisiones, la que contempla dos enfoques, denominados "de arriba hacia abajo" y "de abajo hacia arriba" [11,12,13]. En el enfoque "de arriba hacia abajo" (denominada como "alcance referencial") se considera la producción (extracción), la importación, exportación y cambio de stocks de productos energéticos, y el consumo de combustibles (bunkers) por transporte internacional.

En el enfoque "de abajo hacia arriba" ("principales categorías") se considera el consumo de combustibles por los diferentes sectores de uso final, tales como la industria, transporte, minería, residencial, público, pesquería entre otras actividades.

Para estimar las emisiones de los gases contaminantes y de efecto invernadero se ha estandarizado la metodología a nivel internacional recomendada por el IPCC y es la que se utiliza en la mayoría de países con sus respectivas modificaciones o adecuaciones para casos particulares.

En forma general el modelo se expresa mediante la ecuación (1) siendo los factores de emisión y el consumo de energía por las diferentes actividades humanas, datos fundamentales para la determinación de las emisiones. Dichos factores y actividades son propios de cada país, región o caso de estudio.

$$\text{Emisiones} = \sum (\text{EF}_{ijk} * \text{Actividad}_{ijk}) \quad (1)$$

donde :

$\text{EF}_{ijk}$  = Factor de emisión

(Contaminante/Unidad de energía)

$\text{Actividad}_{ijk}$  = Energía consumida por tipo de actividad

i = Tipo de combustible

j = Tipo de actividad

k = Tipo de control de emisión

La determinación de las emisiones es relativamente compleja por la cantidad de parámetros que requiere. En muchos casos dichos parámetros aún no están determinados o presentan falencias en su estimación, así como la variedad de condiciones que afectan la performance del uso de la energía. Ello hace difícil generalizar las características de emisión.

Entre los parámetros más importantes a ser considerados en la determinación de las emisiones de los gases de efecto invernadero y gases contaminantes por el uso de la energía son:

- Tipo de actividad Humana.
- Tipos de combustibles consumidos.
- Características particulares de cada actividad.
- Características y mantenimiento del equipamiento utilizado.
- Edad del equipamiento.
- Dispositivos de reducción de emisiones.

La metodología aplicada para el presente trabajo consiste determinar el consumo total de combustible por tipo de actividad y por tipo de combustibles y haciendo uso del método de cálculo del IPCC se ha determinado las emisiones de los gases de efecto invernadero y contaminantes del medio ambiente.

En el Perú no existen bases de datos para hacer determinaciones detalladas de las emisiones, en consecuencia se ha determinado el consumo total de combustibles por sectores y para las diferentes actividades con lo cual se ha obtenido las emisiones, sin embargo queda pendiente la determinación de emisiones por extracción, transporte de combustibles y procesos industriales.

#### 4.1 Factores de Emisión

Los parámetros principales para las estimaciones de emisiones de gases contaminantes y de efecto invernadero, son los denominados **factores de emisión** ( $EF_{ijk}$ ). Los factores de emisión varían para los diferentes tipos de combustibles y aún para un mismo combustible dependiendo de las características físicas y químicas del mismo. Por ejemplo el  $EF_{ijk}$  para el Gas Natural depende de la composición del gas el cual mayormente está compuesto de metano, pero puede contener pequeñas cantidades de etano, propano y butano, en consecuencia dependiendo de la composición y su contenido energético depende el factor de emisión.

Los factores de emisión también son dependientes de las características del tipo de equipamiento y condiciones climáticas en donde estos operan. En el caso peruano no existe información detallada de las condiciones de operación indicadas, para determinar con mejor detalle dichos factores. En tal sentido es necesario dejar establecido que es necesario implementar bases de datos con información completa para realizar estimaciones detalladas de las emisiones de los productos que causan impacto el medio ambiente y la salud.

### 5. CALCULO DE LAS EMISIONES

La información del sistema energético nacional está consolidada en el balance nacional de energía [6]. El flujo de la energía se inicia con la extracción de los recursos energéticos (Primarios) luego se traslada a los centros de transformación para obtener productos secundarios los cuales son distribuidos a los centros de consumo que se agrupan en sectores económicos como son el sector Residencial, Industrial, Minero, Agroindustria, Pesca, Transporte y también para la exportación. El sector residencial se considera por ser un sector de gran consumo de energía.

Las emisiones de los gases se producen durante todo el flujo de la energía, desde la extracción hasta el consumo final. Por ello se debe determinar las emisiones durante la extracción, el transporte de los combustibles, en los centros de transformación o conversión y en los dispositivos finales para satisfacer la demanda de energía útil por los diferentes sectores.

En el presente trabajo se ha determinado

las emisiones debido a los procesos de transformación y consumo final de energía quedando pendiente la determinación de las emisiones durante las actividades de extracción de los recursos energéticos como emisiones fugitivas durante el proceso de extracción.

Así mismo se ha separado el cálculo de las emisiones de  $CO_2$  y las emisiones no-  $CO_2$  debido a la formulación diferente de cálculo, así como su diferente importancia en el medio ambiente.

#### 5.1 Emisión por los procesos de Transformación de combustibles primarios en secundarios

Para el cálculo de las emisiones se ha considerado el denominado consumo propio de combustibles en los procesos de transformación de recursos energéticos primarios a recursos energéticos secundarios, en el sentido que dichos combustibles se utilizan para realizar las actividades de dicha transformación.

Así mismo se considera las cantidades de combustibles que se consumen como resultado de los procesos de transformación en las refinerías y en las centrales eléctricas para generar electricidad.

Los resultados se muestran en la tabla No. 9 donde se observa que la mayor emisión se debe al consumo de petróleo residual con 1'239,600 toneladas, seguido por el gas distribuido con 1'214,800 toneladas, en total se emitieron 5'828,000.0 toneladas de  $CO_2$  para el año 2001.

**Tabla 9.** Emisión de  $CO_2$  por los Procesos de Transformación de Recursos Energéticos.

Recurso Energético	$CO_2$ ( Kton.)
Petróleo Crudo	429.7
Gasolina	9.5
Kerosene Doméstico	82.8
Diesel	1,150.4
Residual	1,239.6
Carbón mineral	396.8
Coque	388.0
Gas Industrial	0.2
Gas Distrib.(seco)	1,214.8
Gas de Refinería	282.3
Leña	381.4
Bagazo	252.5
<b>TOTAL</b>	<b>5,828.0</b>

**Tabla 10.** Emisión de CO<sub>2</sub> por el Sector Industrial.

COMBUSTIBLE	CO <sub>2</sub> (Kton.)
Gasolina	35.5
Kerosene Doméstico	22.9
Diesel	573.7
Residual	2,258.5
GLP	144.0
Carbón mineral	961.7
Gas Industrial	240.0
Leña	13.5
Bagazo	3.8
<b>TOTAL</b>	<b>4,253.6</b>

### 5.1.2 Emisión de CO<sub>2</sub> por el sector Industrial

En la tabla No. 10 se muestran las emisiones producidas por el sector industrial para el año 2001. En este sector la mayor cantidad de emisión se debe al consumo de petróleo residual. Ello indica que la tecnología operativa del país utiliza básicamente petróleo residual. Estos resultados nos muestran que las opciones de mitigación se deben hacer con respecto al uso de petróleo residual.

Entre las industrias más importantes desde el punto de vista de consumo de combustibles tenemos las siguientes:

- Industria del tabaco y alimentos (CIIU 31)
- Industria textil (CIIU 32)
- Industria de la madera (CIIU 33)
- Industria del Papel (CIIU 34)
- Industria procesos químicos (CIIU 35)
- Industria de minerales no metálicos (CIIU 36)
- Industria metalúrgica básica (CIIU 37)
- Industria de productos metálicos (CIIU 37)
- Otras Industrias (CIIU 39)

Los combustibles son utilizados para generar calor de proceso, calor directo, en transporte pesado, fuerza motriz, conservación de alimentos, procesos electroquímicos e iluminación.

Los equipos más importantes son los generadores de vapor que hacen uso de diesel oil y petróleo residual. Se ha estimado que el 30% de dichos generadores tienen una capacidad entre 8 y 10 t/h de vapor y el 6% con capacidad mayor de 100 t/h, el resto son de capacidades menores. Asimismo el 45% de las empresas están

ubicadas en Lima y Callao.

### 5.1.3 Emisión de CO<sub>2</sub> por el sector Transporte

El transporte, está constituido básicamente por lo que se conoce como el parque automotor nacional, el cual a su vez está compuesto por las diferentes clases de vehículos que circulan en el país, tales como Automóviles, Station Wagon, Camionetas Pick Up, Camionetas Rurales, Camionetas Panel, Ómnibus, Camiones Remolcadores y Semiremolcadores.

En la tabla 11 se muestra las emisiones de CO<sub>2</sub> producido por este sector para el año 2001, se puede observar que en el sector transporte la mayor cantidad de CO<sub>2</sub> producido es por el uso del diesel oil. Dicho sector ha emitido un total de 9'605,700 toneladas de CO<sub>2</sub>.

**Tabla 11.** Emisión de CO<sub>2</sub> por el Sector Transporte.

COMBUSTIBLE	CO <sub>2</sub> (Kton.)
Gasolina	2,570.9
Turbo Combustible	1,099.2
Diesel oil	5,758.0
Petróleo Residual	153.2
GLP	24.4
<b>TOTAL</b>	<b>9,605.7</b>

### 5.1.4 Emisión de CO<sub>2</sub> por el sector Minero Metalúrgico

El Perú es un país minero por excelencia, con gran potencial de crecimiento de este sector: En la tabla 12 se muestra las emisiones de CO<sub>2</sub> para el año 2001.

Este sector minero tiene la mayor emisión por consumo de petróleo residual con una cantidad de 1'116,000 toneladas de CO<sub>2</sub>.

**Tabla 12.** Emisión de CO<sub>2</sub> por el Sector Minero.

COMBUSTIBLE	CO <sub>2</sub> ( Kton.)
Gasolina	4.3
Kerosene Doméstico	66.2
Diesel	556.0
Residual	1,116.2
GLP	13.6
Carbón mineral	294.7
Coque	127.4
<b>TOTAL</b>	<b>2178.4</b>

### 5.1.5 Emisión de CO<sub>2</sub> por el sector Público

El sector Público está compuesto por construcción, fuerzas armadas, servicios de agua, desagüe, comunicaciones, y otros servicios gubernamentales. En la tabla No. 13 se muestra los resultados para este sector. Como puede observarse en este sector las emisiones son pequeñas y el combustible más utilizado es la gasolina. Dicho sector aporta con un total de 645200 toneladas de CO<sub>2</sub>.

**Tabla 13.** Emisión de CO<sub>2</sub> por el Sector Público.

COMBUSTIBLE	CO <sub>2</sub> (Kton.)
Gasolina	365.5
Turbo combustible	4.0
Kerosene doméstico	195..3
Diesel	67.2
Residual	13.2
<b>TOTAL</b>	<b>645.2</b>

#### 5.1.6 Emisión de CO<sub>2</sub> por el sector Agropecuario/Agroindustria

El Perú es un país agrícola con gran potencial de desarrollo, con crecimientos económicos históricos altos así como caídas dramáticas en algunas ocasiones por el efecto del fenómeno del niño.

En la tabla 14 se muestran los resultados de las emisiones de CO<sub>2</sub> para este sector con una emisión total de 826,400 toneladas.

**Tabla 14.** Emisión de CO<sub>2</sub> por el Sector Agropecuario / Agroindustrial.

COMBUSTIBLE	CO <sub>2</sub> (Kton.)
Gasolina	39.4
Kerosene Doméstico	0.2
Diesel	24.2
Residual	67.2
GLP	0.2
Carbón mineral	0.7
Leña	11.7
Bagazo	682.7
<b>TOTAL</b>	<b>826.4</b>

#### 5.1.7 Emisión de CO<sub>2</sub> por el sector Pesca

Este sector es uno de los más importantes generadores de divisas para el país, que depende fundamentalmente de la extracción de la anchoveta para producir harina de pescado. En la tabla No.15 se muestra los resultados de la emisión de CO<sub>2</sub> generado por este para el año 2001.

**Tabla 15.** Emisión de CO<sub>2</sub> por el Sector Pesquero.

COMBUSTIBLE	CO <sub>2</sub> (Kton.)
Gasolina	1.3
Kerosene Doméstico	8.2
Diesel	90.4
Residual	762.8
GLP	0.5
Carbón mineral	20.0
<b>TOTAL</b>	<b>883.2</b>

#### 5.1.8 Emisión de CO<sub>2</sub> por el sector Residencial y Comercial

Este sector está conformado por la población Urbana, Rural y el Comercial. Los datos de población son manejados por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). En la tabla No. 16 se muestran los resultados de la emisión de CO<sub>2</sub> por el sector residencial y comercial, el combustible más utilizado es la leña con 7' 408,700 toneladas de CO<sub>2</sub>.

**Tabla 16.** Emisión de CO<sub>2</sub> por el Sector Residencial y Comercial.

COMBUSTIBLE	CO <sub>2</sub> (Kton)
Gasolina	0.5
Kerosene Doméstico	1,880.7
Diesel	13.2
Residual	15.8
GLP	1,093.6
Gas Distrib.(seco)	0.2
Leña	7,408.7
Bosta/Yareta	1,158.4
Carbón Vegetal	254.2
<b>TOTAL</b>	<b>11,825.3</b>

#### 5.2 Emisión total de CO<sub>2</sub> por tipo de combustible

En la tabla 17 se muestra la emisión total de CO<sub>2</sub> por tipo de combustible debido al consumo de combustibles de todos los sectores y los procesos de conversión de los recursos energéticos primarios a recursos energéticos secundarios.

La mayor emisión esta dado por el consumo



de diesel oil con 8'233,040 toneladas de CO<sub>2</sub> con un 22.53 %, seguido por el consumo de leña con 7'815,340 toneladas equivalente a un 21.39 %, en tercer lugar está el petróleo residual con 5'626,450 toneladas equivalente a un 15.40 %. Se puede observar que en nuestro país los combustibles más contaminantes son los que más se utilizan. Hecho que clarifica el problema con respecto a la emisión de CO<sub>2</sub> para tomar acciones respecto al uso de tales combustibles.

**Tabla 17.** Emisión de CO<sub>2</sub> por Tipo de Combustible.

COMBUSTIBLE	CO <sub>2</sub> (Kton.)	%
Petróleo Crudo	429.72	1.19
Gasolina	3026.87	8.40
Turbo Combustible	1103.39	3.06
Kerosene Doméstico	2256.39	6.26
Diesel	8233.04	22.84
Residual	5626.45	15.61
GLP	1276.32	3.54
Carbón mineral	1673.94	4.64
Coque	515.39	1.43
Gas Industrial	240.24	0.67
Gas Distrib.(seco)	1215.02	3.37
Gas de Refinería	282.33	0.78
Leña	7815.34	21.68
Bagazo	938.92	2.60
Bosta/Yareta	1158.43	3.21
Carbón Vegetal	254.20	0.71
<b>TOTAL</b>	<b>36045.87</b>	<b>100.0</b>

### 5.3 Emisión total de CO<sub>2</sub> por sectores

Es importante determinar las emisiones por sectores para ver cual de los sectores es más importante desde el punto de vista de emisión de gases de efecto invernadero y contaminantes.

En cuanto a las emisiones de CO<sub>2</sub> debido al consumo de biomasa es referencial debido que si hay un manejo adecuado de la forestación no debe considerarse como contribución neta para los inventarios.

En la tabla 18 se muestra las emisiones de CO<sub>2</sub> por sector debido al consumo de combustibles fósiles y por biomasa, se observa que los sectores Residencial / Comercial y Transporte son los sectores de mayor emisión.

**Tabla 18.** Emisión de CO<sub>2</sub> por Sectores (Unidades : Millones de ton.)

SECTOR	COMBUSTIBLES FOSILES	BIOMASA	TOTAL
Transformación	5.20	0.63	<b>5.83</b>
Industria	4.24	0.02	<b>4.26</b>
Transporte	9.61	0.00	<b>9.61</b>
Residencial/Comercial	3.00	8.83	<b>11.83</b>
Público	0.65	0.00	<b>0.65</b>
Agropecuario/Agroindustria	0.13	0.69	<b>0.82</b>
Pesquería	0.88	0.00	<b>0.88</b>
Minería	2.18	0.00	<b>2.18</b>
<b>TOTAL</b>	<b>25.89</b>	<b>10.17</b>	<b>36.05</b>

### 5.4 Emisión de los gases no-CO<sub>2</sub> por sectores

#### 5.4.1 Emisión de CO

El CO es un gas calificado como tóxico y como un gas indirecto de efecto invernadero, entonces es clasificado como un gas contaminante y que se oxida para formar dióxido de carbono permaneciendo como un gas de efecto invernadero. El monóxido de carbono es generado como resultado del proceso de combustión incompleta del carbono de combustibles fósiles y biomasa y depende de muchos otros parámetros como la tecnología, antigüedad de la tecnología, tamaño, mantenimiento, etc. Se ha utilizado los factores de emisión promedio elaborados por el IPCC.

En la tabla 19 se muestran los resultados de las emisiones totales de CO generado por los sectores económicos y procesos de transformación de energía para el año 2001. Se observa que el sector transporte y el sector Residencial/Comercial emiten la mayor cantidad de CO con un 65.57 % y 28.81 % respectivamente, en total se generó 1'336,060.0 toneladas de CO.

La emisión de CO en el sector transporte se debe a la combustión de hidrocarburos en tanto que la emisión del sector Residencial se debe mayormente a la combustión de leña.

**Tabla 19.** Emisión de CO para el 2001 (Toneladas)

SECTOR	Emisión CO	%
Transformación	7,144.30	0.54
Industria	2,504.30	0.20
Transporte	384,975.00	28.81
Residencial/Comercial	876,099.40	65.57
Público	183.50	0.01
Agricultura	32,366.80	2.42
Pesca	658.70	0.05
Minería	32,128.00	2.40
<b>TOTAL</b>	<b>1'336,060.00</b>	<b>100.0</b>

#### 5.4.2 Emisión de CH<sub>4</sub>

Para el cálculo de la emisión del metano se ha utilizado la tabla 1-7 del IPCC, 1996. v. 3 [13], los resultados son mostrados en la tabla 20. El metano es producido básicamente por el consumo de leña, carbón vegetal, residuos agrícolas, combustión de residuos municipales.

En los resultados de las emisiones de metano por sectores y por procesos de transformación se observa que es el sector residencial/comercial el que emite la mayor cantidad de metano (85.05 %). La mayor emisión de metano del sector residencial se debe al alto consumo de biomasa por este sector. Para el año 2001 se emitió una cantidad total de 35,436.8 toneladas.

**Tabla 20.** Emisión Total de Metano para el Año 2001 (Toneladas).

SECTOR	Emisión CH <sub>4</sub>	%
Transformación	336.70	0.95
Industria	199.60	0.56
Transporte	1,167.60	3.29
Residencial/Comercial	30,137.40	85.05
Público	91.80	0.26
Agrop/Agroind.	1,959.20	5.53
Pesquería	113.30	0.32
Minería	1,431.10	4.04
<b>TOTAL</b>	<b>35,436.80</b>	<b>100.0</b>

#### 5.4.3 Emisión de N<sub>2</sub>O

El óxido nitroso es producido directamente por la combustión de combustibles fósiles y la biomasa, se ha demostrado que la máxima emisión se produce cuando la combustión se realiza entre 800 °K y 1200 °K, fuera de este rango la emisión de N<sub>2</sub>O es pequeña (IPCC, 1996. Vol. 3). Los factores de emisión han sido tomados del Reference Manual IPCC 1996 [13].

**Tabla 21.** Emisión de N<sub>2</sub>O por Sectores (Toneladas)

SECTOR	Emisión N <sub>2</sub> O	%
Transformación	62.90	7.16
Industria	40.90	4.65
Transporte	101.90	11.60
Residencial/Comercial	613.30	69.80
Público	5.50	0.63
Agropecuario/Agroind.	26.90	3.06
Pesquería	7.10	0.81
Minería	20.20	2.29
<b>TOTAL</b>	<b>878.70</b>	<b>100.0</b>

En la tabla 21 se muestran los resultados de las emisiones por los sectores económicos y procesos de transformación, observándose que el sector residencial/comercial es que más emite óxido nitroso, con un total de 613.3 toneladas que equivale a un 69.80 % de la emisión total de óxido nitroso, seguido por el sector transporte (11.60 %).

#### 5.4.4 Emisión de NO<sub>x</sub>

Los óxidos de nitrógeno son gases contaminantes y gases de efecto invernadero indirectos, son producidos en la combustión de vehículos y máquinas industriales por la combinación de la mezcla aire-combustible y la temperatura de la combustión. La combustión de diesel oil produce más NO<sub>x</sub> que la combustión de gasolina así también como los vehículos pesados producen más monóxido de carbono que los vehículos livianos.

En la tabla 22 se muestran los resultados de la emisión de NO<sub>x</sub> por sectores y procesos de transformación de combustibles. Se observa que el sector transporte es el que emite la mayor cantidad de NO<sub>x</sub> con un 59.70 % de un total de 153,731.4 toneladas.

**Tabla 22.** Emisión de NO<sub>x</sub> por Sectores (Toneladas)

SECTOR	Emisión NO <sub>x</sub>	%
Transformación	14,906.00	9.69
Industria	11,523.00	7.49
Transporte	91,773.60	59.70
Comercial/Residencial	12,644.70	8.23
Público	917.60	0.60
Agropecuario/agroind.	826.00	0.54
Pesca	1,133.40	0.74
Minería	20,007.10	13.01
<b>TOTAL</b>	<b>153,731.40</b>	<b>100.0</b>

#### 5.4.5 Emisión de COVDM

Los componentes orgánicos volátiles diferentes de metano (COVDM) son gases de efecto invernadero indirecto. Las fuentes

más importantes de emisión son los vehículos motorizados a diesel oil, gasolina, etc., particularmente cuando se conducen a bajas velocidades, también contribuye la combustión de biomasa en el sector residencial. Estas emisiones son fuertemente dependientes del tipo de tecnología, tamaño, cantidad, mantenimiento, etc. Para el cálculo de las emisiones se ha utilizado la tabla No. 1.11 del manual de referencia Vol. 3 del IPCC [13].

**Tabla 23.** Emisión de COVDM (Toneladas)

SECTOR	Emisión COVDM	%
Transformación	660.3	0.52
Industria	438.0	0.34
Transporte	73,672.2	57.51
Comercial/Residencial	48,301.1	37.71
Público	45.9	0.04
Agropecuaria/Agroind.	3,888.3	3.04
Pesca	99.9	0.08
Minería	993.0	0.78
<b>TOTAL</b>	<b>128,098.7</b>	<b>100.00</b>

En la tabla 23 se muestran los resultados de las emisiones de COVDM por sectores y transformación de combustibles primarios en secundarios. Se observa que el sector transporte emite la mayor cantidad de COVDM con 57.51 %, seguido por el sector comercial y residencial con 37.71 %.

#### 5.4.6 Emisión de SO<sub>2</sub>

EL dióxido de azufre no es un gas de efecto invernadero, pero su presencia en la atmósfera puede influenciar en el clima. Las emisiones del SO<sub>2</sub> está fuertemente relacionado con la presencia de azufre en los combustibles, siendo el carbón mineral uno de los combustibles que más emite dióxido de azufre.

Para el cálculo del dióxido de azufre se ha utilizado los contenidos de azufre de la tabla No. 1.12 del manual de referencia Vol. 3 del IPCC [13].

En la tabla 24 se muestran los resultados de las emisiones del dióxido de azufre por sectores para el año 2001. Se observa que la mayor cantidad emitida de SO<sub>2</sub> se debe al uso de petróleo residual.

**Tabla 24.** Emisión de SO<sub>2</sub> por Consumo de Combustibles (Miles de Toneladas)

COMBUSTIBLE	Emisión SO <sub>2</sub>	%
Carbón Mineral	17.70	10.80
Petróleo Residual	106.60	65.30
Petróleo Diesel	15.80	9.60
Gasolina	2.00	1.20
Turbo Combustible	0.40	0.10
Kerosene	0.70	0.40
Leña	19.38	11.80
Bagazo	0.40	0.20
Bosta / yareta	1.00	0.60
<b>TOTAL</b>	<b>163.9</b>	<b>100.00</b>

## 6. RESULTADOS

### DIÓXIDO DE CARBONO

En la presente sección se presentan los resultados resumidos de las emisiones de CO<sub>2</sub>, a nivel nacional para el año 2001 provenientes del consumo de combustibles y procesos de transformación de combustibles primarios en combustibles secundarios.

**Tabla 25.** Emisión de CO<sub>2</sub> por Sector (Millones de Toneladas).

SECTOR	COMBUSTIBLES FÓSILES	BIOMASA	TOTAL
Transformación	5.20	0.63	<b>5.83</b>
Industria	4.24	0.02	<b>4.37</b>
Transporte	9.61	0.00	<b>9.61</b>
Residencial/ Comercial	3.00	8.83	<b>11.83</b>
Público	0.65	0.00	<b>0.65</b>
Agropecuaria/ Agroindustria	0.13	0.69	<b>0.82</b>
Pesquería	0.88	0.00	<b>0.88</b>
Minería	2.18	0.00	<b>2.18</b>
<b>TOTAL</b>	<b>25.89</b>	<b>10.17</b>	<b>36.05</b>

Por consumo de combustibles fósiles se ha emitido 25.89 millones de toneladas y por el consumo de biomasa 10.17 millones de CO<sub>2</sub>, la emisión por consumo de biomasa ha disminuido con respecto al año 1990 (Ruiz J. et al , 1996) que fue de 15.74 millones de CO<sub>2</sub>, ello se debe a que el consumo de biomasa se ha reducido apreciablemente, lo cual significa que la población rural ha cambiado el uso de leña por otros tipos de combustibles que emiten menos dióxido de carbono, situación que favorece a la mitigación de efecto invernadero.

En cambio las emisiones por uso de

combustibles fósiles se han incrementado de 19.6 millones de toneladas en 1990 a 25.88 millones de toneladas en el 2001 debido al incremento de uso de estos combustibles siendo el sector transporte el que más contribuye.

En la transformación las emisiones se deben al proceso de conversión de recursos energéticos primarios en combustibles secundarios en los diferentes centros de transformación como refinerías, plantas de coque, plantas de gas, altos hornos, centrales eléctricas de tipo térmico y carboneras de transformación de leña en carbón vegetal.

Considerando los resultados encontrados por Ruiz J , et al, y los del presente trabajo se tiene un incremento de 6.3 millones de toneladas en 11 años con respecto al uso de combustibles fósiles y una tasa de 0.57 millones por año [14].

En la figura 3 y 4 se muestra las emisiones por sectores y por consumo de combustibles fósiles y biomasa.

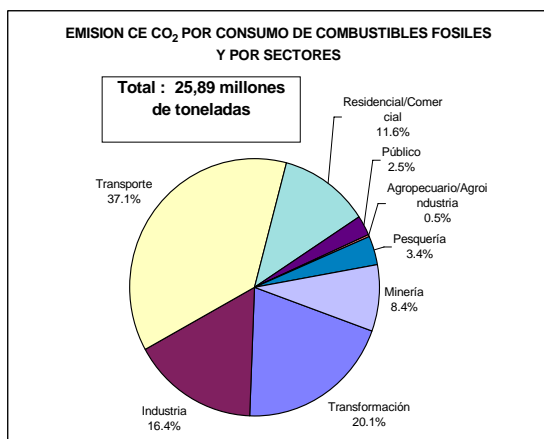


Figura 3. Emisiones por consumo de combustibles fósiles.

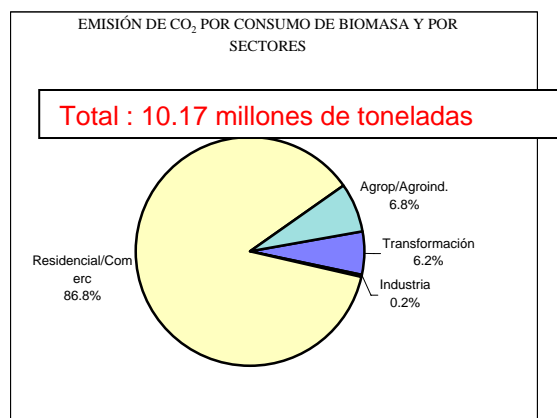


Figura 4. Emisiones por consumo de biomasa.

### EMISIONES NO - CO<sub>2</sub>

En la tabla No. 26 se muestra los gases no-CO<sub>2</sub> por sectores, los gases N<sub>2</sub>O y CH<sub>4</sub> son gases de efecto invernadero y los gases NO<sub>x</sub>, CO, COVDM, SO<sub>2</sub> son gases contaminantes, el gas que más se generó el año 2001 es el monóxido de carbono con 1'336,060.0 toneladas. El Dióxido de azufre se calculó por consumo total de combustibles de acuerdo a la metodología del IPCC.

**Tabla 26.** Emisión de NO-CO<sub>2</sub> por Sectores para 2001 (Toneladas).

SECTORES	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	Nox	CO	COVDM	SO <sub>2</sub>
Transformación	336.7	62.9	14,906.0	7,144.3	660.3	IE
Industria	199.6	40.9	11,523.0	2,504.3	438.0	IE
Transporte	1,167.6	101.9	91,773.6	384,975.0	73,672.2	IE
Residencial/Comercial	30,137.4	613.3	12,644.7	876,099.4	48,301.1	IE
Público	91.8	5.5	917.6	183.5	45.9	IE
Agricultura/Agroindustria	1,959.2	26.9	826.0	32,366.8	3,888.3	IE
Pesca	113.3	7.1	1,133.4	658.7	99.9	IE
Minería	1,431.1	20.2	20,007.1	32,128.0	993.0	IE
<b>TOTAL</b>	<b>35,436.8</b>	<b>878.7</b>	<b>153,731.4</b>	<b>1'336,060.0</b>	<b>128,098.7</b>	<b>163,930.2</b>

## 7. CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES

De los resultados obtenidos para los gases de efecto invernadero, se tiene que la emisión total de CO<sub>2</sub> fue de 36.05 millones de toneladas, 35,436.8 toneladas de CH<sub>4</sub> y 878.7 toneladas de N<sub>2</sub>O. Para los gases contaminantes se ha obtenido 153,731.4 toneladas de NOx, 1336060.0 toneladas de CO, 128,098.7 toneladas de COVDM y 163,930.2 toneladas de SO<sub>2</sub>.

Ha quedado pendiente la determinación de las emisiones debido a las fugas en las actividades de extracción y transporte de combustibles, así mismo en esta oportunidad no se ha considerado el aporte del sector no energético.

Un aspecto importante con respecto al uso de combustibles en el sector residencial rural e industrial es que ha ocurrido un cambio apreciable de uso leña por combustibles de origen fósiles dando como resultado una disminución notoria de emisión de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> por uso de este combustible en dichos sectores.

Los resultados son fuertemente dependientes de los factores de emisión y los datos de entrada a la metodología, se estima que los resultados está dentro de un error estimado de 8 %.

Los valores de contenido de azufre y contenido energético utilizados en el presente trabajo son valores medios de los datos proporcionados por el IPCC 1996, puesto que no se tiene datos nacionales actualizados. Así mismo los resultados varían en función de los factores de emisión, los cuales se encuentran en constante investigación y cambian en

función a resultados de nuevas investigaciones.

## 8. BIBLIOGRAFIA

- [1] Convención de Washington. (Pág. Consultada 12 de Mayo del 2003). Dirección URL : <http://www.conama.cl/portal/1255/articulo.e.26045.html>
- [2] The Club of Rome. (Pág. Consultada 14 de Mayo del 2003). Dirección URL : <http://www.clubofrome.org>
- [3] Declaración de Estocolmo. (Pág. Consultada 12 de Mayo del 2003). Dirección URL : [http://www.conama.cl/gestion:ambiental/acuerdos\\_inter/estocolmo\\_B.htm](http://www.conama.cl/gestion:ambiental/acuerdos_inter/estocolmo_B.htm)
- [4] UNEP. (Pág. Consultada 12 de Mayo del 2003). Dirección URL : <http://www.rolac.unep.mx/perfil/ing/mision.htm>
- [5] Declaración de Río sobre el medio ambiente y el desarrollo. (Pág. Consultada 15 de Mayo del 2003). Dirección URL : [http://www.conama.cl/gestion:ambiental/acuerdos\\_inter/declaracion\\_de\\_rio.htm](http://www.conama.cl/gestion:ambiental/acuerdos_inter/declaracion_de_rio.htm)
- [6] ANL, (1996) Argonne National Laboratory. Energy and Power Evaluation Program. Illinois. USA.
- [7] CONAM. Consejo Nacional del Medio Ambiente. Dirección URL: <http://www.conam.gob.pe>.
- [8] MEM, (2001) Anuario Estadístico Energía. Lima. Perú.

- [9] PERUPETRO, (2001) Estadísticas de Hidrocarburos. Lima. Perú.
- [10] OTERG, (2001) Oficina Técnica de Energía - Ministerio de Energía y Minas. Balance Nacional de Energía 2001. Lima. Perú.
- [11] IPCC (1996) Intergovernmental on Climate Change. Instructions Manual. VOL. 1. London. U.K.
- [12] IPCC. (1996) Intergovernmental on Climate Change. Workbook VOL. 2. London. U.K.
- [13] IPCC, (1996) Intergovernmental on Climate Change. Reference Manual. VOL. 3. London. U.K.
- [14] Ruiz, J. et. al. (1996) Inventario Nacional de las emisiones de los gases de efecto invernadero 1990. Lima. Perú.

# REMOCIÓN DE ARSÉNICO DEL AGUA MEDIANTE IRRADIACIÓN SOLAR

Clido J.<sup>(1)</sup>; Nieto J.<sup>(1)</sup>; Ponce S.<sup>(1)</sup>; Rodríguez J.<sup>(1), (2)</sup> [jrodriguez@ipen.gob.pe](mailto:jrodriguez@ipen.gob.pe); Solís J.<sup>(1), (2)</sup>,  
Estrada W.<sup>(1), (2)</sup> [westrada@ipen.gob.pe](mailto:westrada@ipen.gob.pe)

(1) *Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Ingeniería / Lima, Perú.*

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

## RESUMEN

El Perú es un país con extensas zonas rurales donde los pobladores carecen de agua potable y utilizan para el consumo agua sin ningún control. La presencia de arsénico en aguas es tóxica y acumulativa trayendo consigo consecuencias severas para el ser humano particularmente grave en estas zonas donde el abastecimiento de agua es provisto por fuentes puntuales cuyo análisis sistemático está fuera del alcance de los organismos controladores.

En el presente trabajo, se implementó la técnica de remoción de arsénico por irradiación solar y luz ultravioleta (UV) de una lámpara. Para concentraciones de arsénico de hasta 500 ppb y una concertación  $\text{Fe}^{2+}$ /citrato de 1.8, este es removido hasta en un 95 % después de 4 horas de irradiación solar o UV de 7.5 mW/cm<sup>2</sup>. Los resultados obtenidos muestran que el método aquí propuesto es factible de aplicarlo en zonas rurales debido a su simplicidad operativa y económica.

## 1. INTRODUCCION

El deterioro de la calidad del agua es uno de los problemas más graves del Perú, el cual es un impedimento para lograr el uso eficiente del recurso, comprometiendo el abastecimiento en calidad y cantidad. Las causas principales que los originan son la contaminación industrial, la falta de tratamiento de las aguas servidas y el uso indiscriminado de agroquímicos.

Siendo la contaminación industrial más significativa la que proviene de la minería, pesquería y sector hidrocarburos que altera y afecta el medio ambiente, en especial las aguas.

En el Perú la contaminación minera representa un rubro importante a través de los vertimientos de desechos o relaves

mineros, portadores de contaminantes tóxicos (Pb, Cd, Hg, Cu, As y otros), debido a sus características geológicas ya que es un país minero por excelencia y esta industria se caracteriza generalmente por desarrollarse en zonas rurales y desoladas. Alterando el medio ambiente de las comunidades locales en forma negativa y produciendo riesgos a la salud [1]. La Dirección General de Aguas y Suelos del Ministerio de Agricultura reportó en 1992 que las aguas de los ríos Moche, Cañete, Pisco, Acari, Yauca, Caravelí, Oconá, Camaná-Majes, Vitor-Chilli, Tambo, Locumba, Sama y Caplina sobrepasan en exceso los niveles permisibles de Cd, Cr, Ni, Cu, Pb, Zn, As y Cianuro. De estos contaminantes con alto potencial tóxico, el Arsénico es de gran relevancia desde el punto de vista de salubridad y ambiental.

### 1.1 Impacto del Arsénico sobre la salud

En varios países de América Latina tales como: Argentina, Chile, México, El Salvador y Perú presentan altas concentraciones de arsénico y por lo menos 4 millones de personas beben en forma permanente agua con niveles de arsénico que ponen en riesgo su salud [2].

La toxicidad crónica provocada por la acumulación del As en el organismo (huesos, músculos y piel; y en menor grado en hígado y riñones) y a ciertas concentraciones pueden ocasionar afecciones como alteraciones en la piel con efectos secundarios en el sistema nervioso, irritación de los órganos del aparato respiratorio, gastrointestinal, hematopoyético y en último término la muerte. En las personas que sobreviven se ha observado una anomalía en la médula ósea, hemólisis, hepatomegalia, melanososis, polineuropatía y encefalopatía [3].

Existe evidencia epidemiológica que personas con ingestión prolongada de arsénico en agua provoca la

hiperqueratosis palmo-plantar cuya manifestación principal es la pigmentación de la piel y callosidades en las palmas de las manos y pies, que luego se deriva a la melanodermia y por último cáncer de piel [4,5]. Además, la presencia del arsénico en el agua, su grado de contaminación y la incidencia de enfermedades por la piel, especialmente del HACRE (Hidro Arsenicismo Crónico Regional Endémico) provocó un gran impacto a la salud en Argentina y México que se describen en diferentes estudios.

Asimismo, la agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de Norte América (USEPA) y la Organización Mundial de la Salud (OMS) clasifican al arsénico como carcinogénico en el grupo A, debido a la evidencia de sus efectos adversos sobre la salud. Por lo que se establece como Límite Máximo Permisible (LMP) de As una concentración de 0.050 mg/L para consumo humano, pero según estudios la exposición a esta concentración de As puede causar 31,33 casos de cáncer a la piel por cada 1000 habitantes, por lo que la OMS ha considerado bajar el LMP a 0.010 mg/L. En el Perú, la Ley General de Aguas establece una concentración de 0.100 mg/L, por lo que hay una gran preocupación y alarma de riesgo a la salud. Asimismo, la eliminación natural del organismo humano del arsénico es por vía urinaria, heces, sudor y descamación epidérmica (epitelio de la piel) [2].

## **1.2 Técnicas de remoción de arsénico. Limitaciones, ventajas y desventajas**

En general, el tratamiento del agua potable está orientado a remover la turbiedad y los microorganismos patógenos de origen fecal. Esta remoción se logra a través de una combinación adecuada de procesos: coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección. Pero cuando se desea remover elementos químicos del agua, como el arsénico, las tecnologías utilizadas son más complejas tales como la coagulación, adsorción sobre alúmina activada, intercambio iónico, electrodiálisis y ósmosis inversa [6]. La Tabla 1 muestra un resumen bibliográfico de varias técnicas utilizadas para la remoción de arsénico del agua potable y de las aguas residuales industriales.

La remoción de arsénico depende de sus formas presentes en el agua y del grado de

oxidación del mismo. La Tabla 2 presenta un resumen de varios resultados informados en la literatura, sobre la remoción de arsenatos, As(V) que puede ser removido en forma efectiva por coagulación con sales de Aluminio (III) o Hierro (III) y por los procesos de ablandamiento con cal y soda. Los coagulantes se hidrolizan formando hidróxidos, sobre los cuales el As (V) se adsorbe y coprecipita con los otros iones metálicos [2]. El proceso de coagulación, al igual que la precipitación con cal son dependientes del pH del agua tratada, del tipo y dosis de coagulante así como de la concentración inicial de este elemento, siendo factible solo para las aguas superficiales. Por otra parte, la dosis de coagulante requerida para reducir arsénico a niveles aceptables es muy alta, lo que originan grandes cantidades de lodos que a su vez deben ser tratados adecuadamente [2].

Los procesos de intercambio iónico, ósmosis inversa y electrodiálisis utilizan resinas aniónicas o membranas específicas poco accesibles por su escasez y alto costo. Además, los dos últimos procesos se caracterizan por un elevado consumo energético, así como el mantenimiento y operación de este tipo de plantas deben estar a cargo de un personal calificado, lo que repercute en el costo del agua tratada [6].

Los procesos para la remoción de arsénico descritos anteriormente resultan muy costosos, además no siempre aseguran la remoción de arsénico a una concentración menor de 0.050 mg/L como se muestra en la Tabla 1.



**Tabla 1.** Resumen de las técnicas aplicadas en la remoción de arsénico.

Técnica	Forma de As	Conc. de As (mg/l)		Fuente
		Inicial	Final	
Coagulación con sales de hierro	As oxid.	56	0.01	Brewestwer, 1992
	arsenato	0.35	0.006	Logsdon, 1974
	arsenito	0.35	0.140	Logsdon, 1974
	arsenato	0.56	0.01	Shen, 1973
	arsenato	0.30	0.006	Sorg, 1978
	arsenito	0.30	0.138	Sorg, 1978
Coagulación con sales de alúmina	arsenato	0.35	0.074	Logsdon, 1974
	arsenito	0.35	0.263	Logsdon, 1974
	arsenato	0.30	0.030	Sorg, 1978
	arsenito	0.30	0.249	Sorg, 1978
Precipitación con cal	arsenato	500	4	Nishimura, 1985
	arsenito	500	2	Nishimura, 1985
	arsenato	2	0.02	Nishimura, 1985
	arsenito	2	0.160	Nishimura, 1985
Adsorción en alúmina activada	arsenato	0.10	0.004	Frank, 1986
	arsenito	0.10	inefectivo	Frank, 1986
Intercambio iónico	arsenato	0.057	n.d. pH=6	Clifford, 1991
	arsenito	0.031	inefectivo	Clifford, 1991
Ósmosis Inversa	arsenato	100	<0.80	Vance
	arsenato	68	de 0 a 12.2	Calmon, 1973
Electrodiálisis	arsenito	0.037	0.007	Clifford, 1991
	arsenato	0.051	0.0015	Clifford, 1991
	arsenito	0.188	0.136	Clifford, 1991

n.d.: no detectada, Fuente: Petkova V., 1999.

El objetivo principal de este estudio es proporcionar un método de tratamiento a muy bajo costo y de fácil manejo para remover el arsénico presente en las aguas naturales de zonas rurales haciendo esta agua de pozo apta para consumo humano. Este método [7] se basa en la formación del complejo citrato de Fe (III) que permite la oxidación del As (III) a As (V) a través de especies activas formadas por irradiación con luz solar en presencia de oxígeno. El As (V) se adsorbe fuertemente sobre el precipitado de hidróxido de hierro que se forma en esas condiciones, y flocula. Se agrega al agua algunas gotas de jugo de limón y una solución de Fe(II) de la sal de Mohr. Este tratamiento se realiza en botellas de plástico y se expone al sol por algunas horas. Las botellas se colocan luego en posición vertical durante la noche, para que decante las partículas de hidróxido de hierro con As (V) y luego se filtra a través de paños textiles o algodón.

**Tabla 2.** Eficiencia de coagulantes en la remoción de arsénico.

Coagulante	As (V)		As (III)	
	Remoción (%)	pH	Remoción (%)	pH
Fe <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	100	<9.0	20	<9.0
Fe <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	90	<7.0	50	<7.0

Como puede deducirse este método no requiere equipos caros, ni elevados costos de energía. Solo necesita la acción permanente del sol, y es, por lo tanto, aplicable a regiones con alta incidencia de radiación diurna, es decir, más de 3000 horas de sol en promedio por año. Esta técnica ha sido aplicada con bastante éxito en países como Colombia, Tailandia, México y Bangladesh.

## 2. EXPERIMENTAL

### 2.1 Lugar de estudio

Las pruebas se realizaron en Lima, ciudad de la costa peruana, con una menor incidencia de la radiación solar con respecto a las zonas rurales (Región andina) en la que se llega por ejemplo hasta las 4000 horas de sol por año. Por

esa razón es de esperarse que la tecnología aquí propuesta se pueda aplicar allá con mejores resultados.

## 2.2 Metodología

Se trataron muestras de agua con concentraciones de As(III) de 0.200 y 0.500 mg/L. A 500 mL de agua se le adiciona 10 gotas de jugo de limón (equivalente a 0.5 mL aprox.) y 0.5 mL de solución de Fe(II) de 5000 ppm provenientes de la sal de Mohr (relación molar de  $\text{Fe}^{2+}$ /citrato se vario en el rango de 0 a 10 ). Seguidamente, la botella de plástico de Polietileno de Tereftalato (PET) con todo este contenido, es irradiada con luz solar o de lámpara UV de 3 a 4 horas. En las partes 3(b) y 3(c) se irradian simultáneamente 4 muestras de idénticas características en botellas PET. Cada 30 minutos se retira una de ellas y se coloca en oscuridad para ser analizada posteriormente, dejándola posteriormente en reposo durante toda la noche para que decante. Al día siguiente la muestra es filtrada y se determina la concentración de arsénico total presente en el agua mediante el método espectrofotométrico con dietilditiocarbamato de plata.

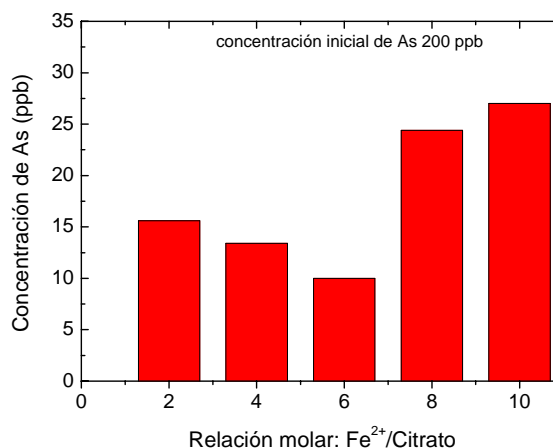
## 3. RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados se presentan de la siguiente manera, inicialmente se muestra un análisis de la influencia de  $\text{Fe}^{2+}$ /citrato en la descontaminación de agua con arsénico utilizando radiación solar. Seguidamente se muestran resultados obtenidos iluminando con luz UV de lámparas y finalmente se estudian muestras iluminadas con luz solar.

### 3.1 Optimización de la razón $\text{Fe}^{2+}$ /citrato

Un punto a considerar en la remoción de arsénico es el efecto del contenido de Fe y citrato. Para ello se realizaron variaciones sobre la relación molar  $\text{Fe}^{2+}$ /citrato de 2, 4, 6, 8 y 10 con la concentración de arsénico, donde la muestra inicial presentaba 200 ppb As (III) y que fue tratada con irradiación solar durante 3 horas. Los resultados (Fig. 1) muestran que un incremento en la relación  $\text{Fe}^{2+}$ /citrato produce una remoción de hasta por debajo de 30 ppb. Del gráfico se puede observar que la relación  $\text{Fe}^{2+}$ /citrato pasa por un máximo en la remoción de As y esto ocurre cuando esta relación llega a ser 6, donde podemos encontrar valores de hasta 10 ppb As. Hay

que recordar que un incremento en la concentración de Fe produce un aumento también sobre la concentración de Fe residual en el agua tratada, lo cual es también perjudicial, ya que en elevadas dosis puede causar efectos tóxicos para la salud. Por lo tanto, en lo que sigue del trabajo se empleará una relación molar del  $\text{Fe}^{2+}$ /citrato de 1.8.



**Figura 1.** Gráfico de la relación molar del  $\text{Fe}^{2+}$ /citrato y la concentración de As en un experimento típico de descontaminación con irradiación solar. La concentración inicial de As fue de 200 ppb.

### a) Irradiación con lámpara ultravioleta

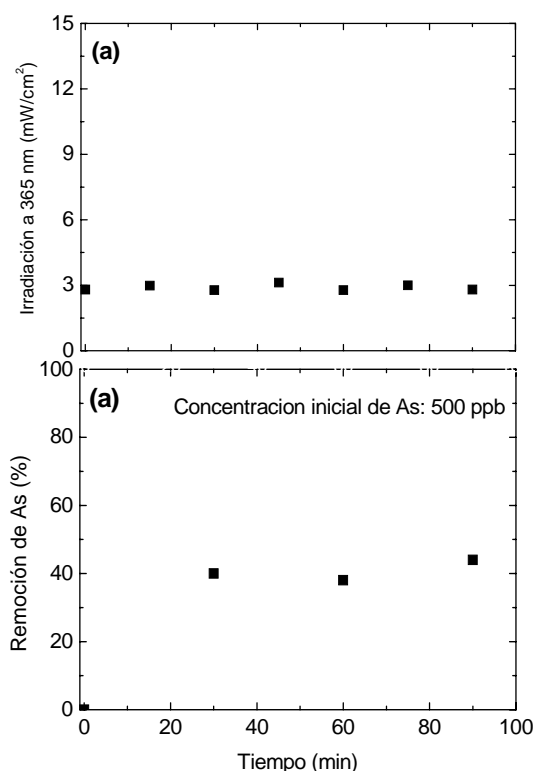
En este experimento, la muestra se irradió con luz ultravioleta proveniente de dos arreglos. El primero utiliza “fluorescentes de luz negra” General Electric de 20 W y el segundo con una lámpara OSRAM Ultravitalux de 300 W. La potencia por unidad de área en la posición de la botella se midió de con un radiómetro UDT S371R con una cabezal UVA sensible a 365 nm.

En las Figuras 1(a) y 2(a) se muestran la potencia por unidad de área de la radiación ultravioleta, medida a 365 nm, durante el tiempo de la irradiación con las lámparas de General Electric y OSRAM, respectivamente. Se puede observar que la intensidad de la radiación es aproximadamente constante durante la irradiación, cuyo valor es  $\sim 3 \text{ mW/cm}^2$  y  $\sim 7,4 \text{ mW/cm}^2$  para la lámpara de General Electric y OSRAM, respectivamente. Ambas lámparas tienen una intensidad despreciable en 285 nm.

La remoción de arsénico obtenido al irradiar una muestra de agua con 500 ppb de As con la lámpara de General Electric durante 90 minutos y la lámpara OSRAM

durante 4 horas se muestran en las figuras 2(b) y 3(c), respectivamente.

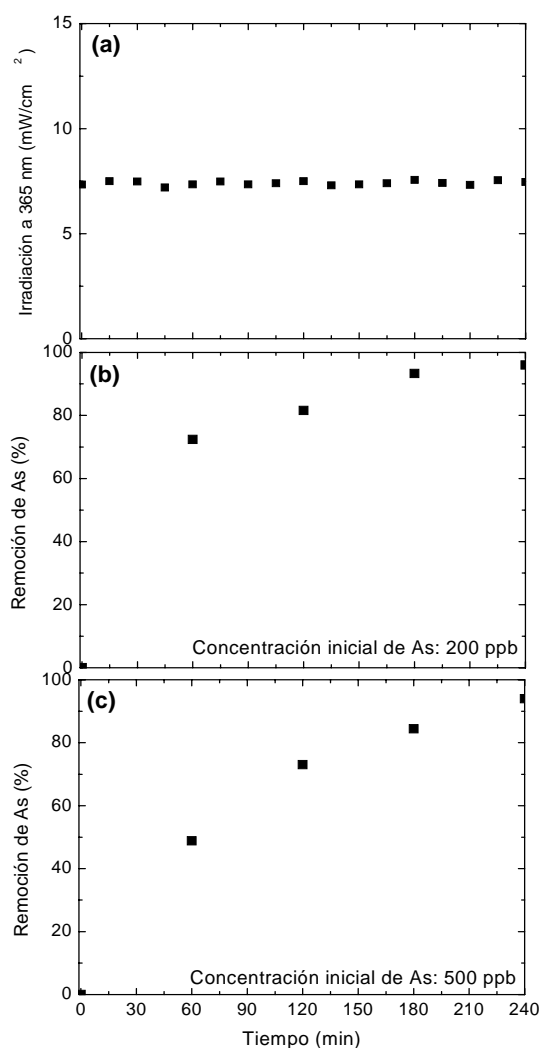
Los resultados indican que al irradiar la muestra con  $\sim 3 \text{ mW/cm}^2$  de luz UV solo remueve el arsénico en un 42% en 90 minutos de tratamiento. Sin embargo en 30 minutos ya se alcanzó la máxima remoción de As, para mayores tiempos de irradiación no aumenta la remoción de As (Fig. 1 (b)). Para el caso de la lámpara de  $\sim 7,5 \text{ mW/cm}^2$ , el arsénico es removido casi en su totalidad (95% aprox.) en 4 horas de tratamiento (Fig. 2 (c)). Para una muestra con menor concentración de As (200 ppb) irradiada con la lámpara de  $\sim 7,5 \text{ mW/cm}^2$ , el 95 % de As es removido después de 4 horas de irradiación (Fig. 2 (b)).



**Figura 2.** (a) Irradiación UV de una lámpara medida a 365 nm durante un experimento típico de descontaminación de As (b) Eficiencia de remoción de arsénico con lámpara de luz UV. La concentración inicial del arsénico fue 500 ppb.

**Tabla 3.** Variación de la concentración de arsénico durante 90 minutos de tratamiento. La irradiación fue realizada con una lámpara UV de  $\sim 3 \text{ mW/cm}^2$  medida a 365 nm.

Tiempo (minutos)	Concentración de As (mg/L)
0	0.500
30	0.300
60	0.310
90	0.280



**Figura 3.** (a) Irradiación UV de una lámpara, medida a 365 nm, durante un experimento típico de descontaminación de As (b) Eficiencia de remoción de arsénico con lámpara de luz UV. La concentración inicial del arsénico fue 200 ppb. (c) Eficiencia de remoción de arsénico con lámpara de luz UV. La concentración inicial del arsénico fue 500 ppb.

En las Tablas 3 y 4 se muestran las concentraciones de As obtenidos después de la irradiación con la lámpara UV de  $\sim 3$  mW/cm<sup>2</sup> y  $\sim 7,5$  mW/cm<sup>2</sup>, respectivamente.

Al irradiar la muestra con la lámpara UV de  $\sim 3$  mW/cm<sup>2</sup> la concentración del arsénico de 500 ppb disminuye a 280 ppb en 90 minutos, este resultado no cumple con los requerimientos de la Normativa Peruana, según la Ley General de Aguas, ni las normativas internacionales, OMS. Con la lámpara de  $\sim 7,5$  mW/cm<sup>2</sup> se reduce la concentración de arsénico de 200 ppb a  $<10$ ppb y de 500 ppb a 30 ppb en 4 horas de tratamiento, ajustándose a la Normativa Peruana. Para la muestra con una concentración inicial de arsénico de 200 ppb cumple lo establecido por la OMS en cuanto al nivel arsénico en el agua.

**Tabla 4.** Variación de la concentración de arsénico durante las 4 horas de tratamiento. La irradiación fue realizada con una lámpara UV de  $\sim 7,5$  mW/cm<sup>2</sup> medida a 365 nm. Las concentraciones iniciales de arsénico fueron: (a) 200 ppb y (b) 500 ppb

(a)		(b)	
Tiempo (minutos)	Concentración de As(mg/l)	Tiempo (minutos)	Concentración de As (mg/l)
0	0.200	0	0.50
60	0.055	60	0.25
120	0.037	120	0.135
180	0.015	180	0.078
240	$< 0.010$	240	0.030

#### b) Irradiación con luz solar

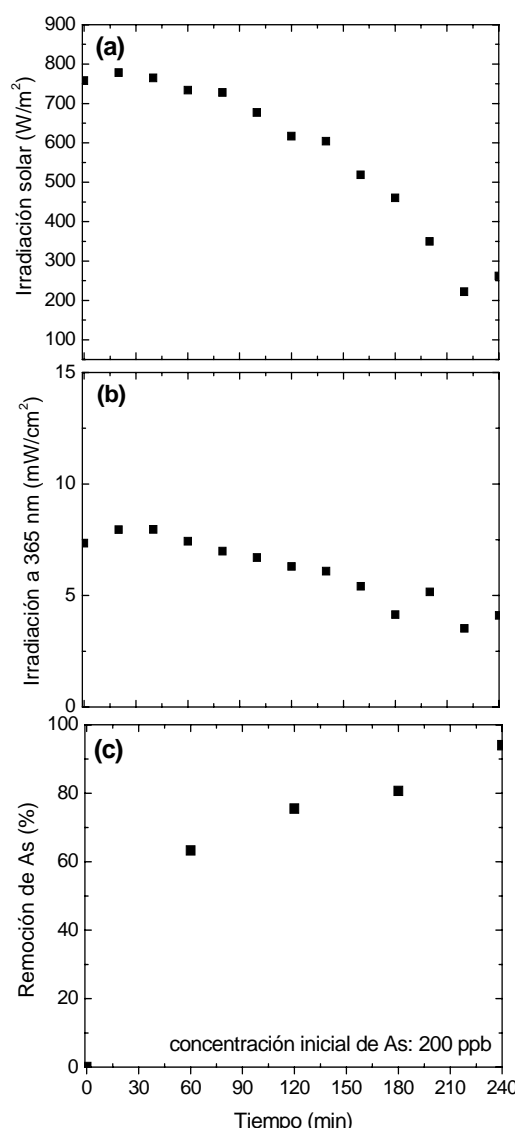
En las figuras 4(a) y 5(a) se presenta la radiación solar en W/m<sup>2</sup>, mientras que en las Figuras 3(b) y 4(b) se puede observar la componente ultravioleta de esta radiación medida a 365 nm durante el tratamiento. Las figuras 3(c) y 4(c) muestran la remoción de As obtenida irradiando la muestra durante 3 horas. Las medidas fueron realizadas en intervalos de 1 hora y las concentraciones iniciales de As en el agua fueron de 200 (Fig. 3) y 500 ppb (Fig. 4).

La remoción de As después de 3 horas de irradiación solar son de 95% y 90 % a partir de 500 y 200 ppb de As, respectivamente.

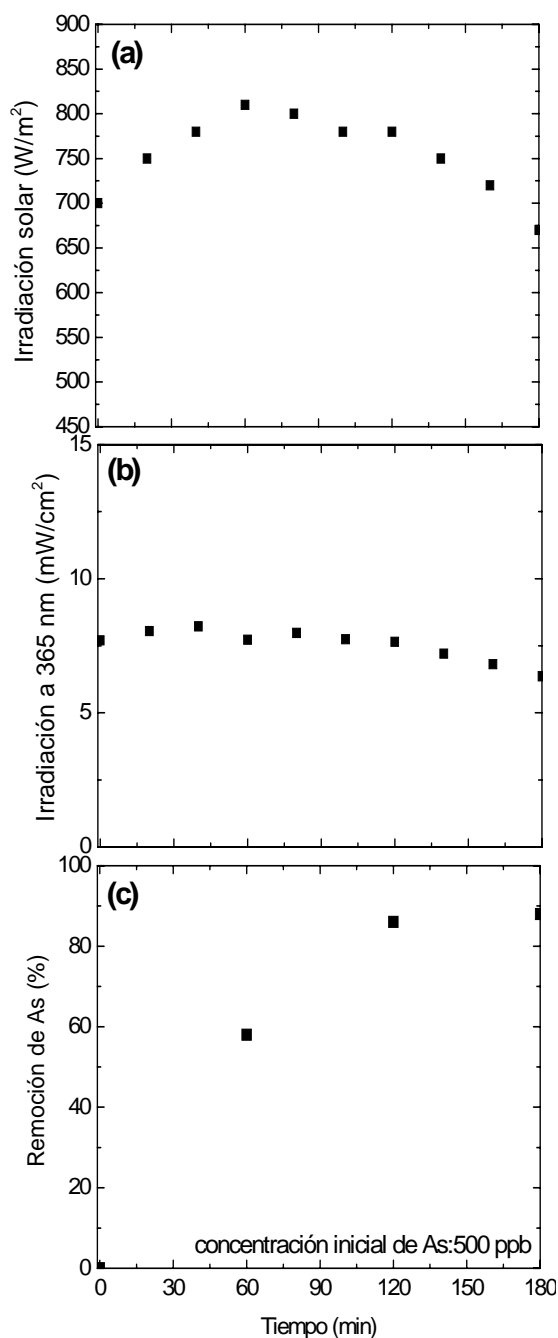
Para tiempos mayores se puede lograr una remoción total.

Las tablas 5(a) y 5(b) muestran la variación de la concentración de arsénico, partiendo de una concentración inicial de 200 y 500 ppb respectivamente.

Los resultados obtenidos muestran que en 3 horas de tratamiento, la concentración final de arsénico decrece a 40 y 60 ppb partiendo de una concentración inicial de 200 y 500 ppb respectivamente. Para el caso que se utilizó una concentración inicial de 200 ppb en 4 h de irradiación solar, se llegó a una concentración menor a 10 ppb.



**Figura 4** (a) Irradiación solar durante un experimento típico de descontaminación de As. (b) Componente UVA medida a 365 nm de un experimento típico de descontaminación de As. (c) Eficiencia de remoción de arsénico con luz solar para una concentración inicial de As de 200 ppb.



**Figura 5.** (a) Irradiación solar durante un experimento típico de descontaminación de As. (b) Componente UVA measured at 365 nm para un experimento típico de descontaminación de As. (c) Eficiencia de remoción de arsénico con luz solar para una concentración inicial de As de 500 ppb.

**Tabla 5.** Variación de la concentración de arsénico durante las 3 a 4 horas de tratamiento con irradiación solar. Las concentraciones iniciales de arsénico fueron: (a) 200 ppb y (b) 500 ppb

(a)		(b)	
Tiempo (minutos)	Concentración de As(mg/l)	Tiempo (minutos)	Concentración de As(mg/l)
0	0.200	0	0.500
60	0.063	60	0.210
120	0.049	120	0.070
180	0.039	180	0.060
240	< 0.010		

#### 4. CONCLUSIONES

Los resultados muestran que irradiando con 7.5 mW/cm<sup>2</sup> de luz UVA, durante al menos 4 h, a muestras de 200 y 500 ppb de arsénico en agua y con una relación molar Fe<sup>2+</sup>/citrato de 1.8, se logró una remoción de arsénico que cumple para norma técnica peruana. La rapidez de descontaminación del arsénico depende de la relación molar Fe<sup>2+</sup>/citrato y es proporcional a la intensidad de la luz UV.

De lo expuesto se concluye que esta Tecnología de descontaminación es efectiva para aplicarla a nivel domiciliario en zonas rurales del país donde hay fuerte contaminación e incidencia por la industria minera, haciendo apta esta agua contaminada por arsénico para consumo humano.

#### Agradecimientos

Los autores agradecen al International Science Programme de la Universidad de Uppsala, a la Facultad de Ciencias de la UNI, al IPEN y al proyecto OEA, ASO Project AE 141/2001 por el financiamiento parcial de este trabajo.

## REFERENCIAS

- 1) Boletín del Área de Recursos Naturales y del Medio Ambiente Centro de Investigación de la Universidad del Pacífico. *Economía y Ambiente*, 1999.
- 2) Esparza M.L. y Wong M. *Abatimiento de Arsénico en aguas subterráneas para zonas rurales*. XXVI Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 1998.
- 3) Environmental Health Criteria, N° 224: Arsenic.
- 4) Callegaro R., Cusimano N., Deambrosi N. Y Albina L., *Métodos Prácticos para la Corrección de aguas arsenicales*. Laboratorio de Ingeniería Sanitaria, Dpto. de Hidráulica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata, Buenos Aires. 1992.
- 5) Ríos E., Lorenz A. y Ríos R.,. *Estado actual del arsenicismo crónico en la provincia de Tucumán*. Revista Médica de Tucumán 3 (1997) 67.
- 6) Petkova V.,. *Estudio piloto para remoción del arsénico, Estado de Hidalgo, México*. Ingeniería Hidráulica en México, vol. XIV, N° 3 (1999) 65.
- 7) <http://www.sandec.ch/water/SORAS.pdf>

# DETERMINACIÓN DE BAJOS NIVELES DE TRITIO POR ENRIQUECIMIENTO ELECTROLÍTICO Y LECTURA POR CENTELLEO LÍQUIDO

Rodríguez D. <sup>(1)</sup>; Rojas R. <sup>(2)</sup> [rrojas@ipen.gob.pe](mailto:rrojas@ipen.gob.pe);  
Valencia J. <sup>(2)</sup> [jvalencia@ipen.gob.pe](mailto:jvalencia@ipen.gob.pe)

(1) *Laboratorio de Dosimetría de la Contaminación Interna– IPEN / Lima - Perú*

(2) *Departamento de Hidrología Isotópica – IPEN / Lima - Perú*

## RESUMEN

El IPEN a través del Departamento de Hidrología Isotópica lleva a cabo desde hace más de 10 años estudios de hidrología aplicando técnicas isotópicas, donde son necesarios análisis de Tritio en muestras de agua. Estos análisis se efectúan en laboratorios del OIEA y otros laboratorios del mundo lo cual genera ciertos inconvenientes (demora en los resultados, altos costos, etc.).

Dentro del marco del Proyecto Regional RLA/8/031 “Gestión Sostenible de Aguas Subterráneas” se aprobó la donación por el OIEA de un “Sistema de Enriquecimiento Electrolítico de Tritio” que permitiría aumentar la concentración de este isótopo y medir con un equipo de centelleo líquido que existe en el IPEN, concentraciones de este isótopo en rangos ambientales en muestras de agua, dotando al IPEN de la capacidad de efectuar estas mediciones requeridas en estudios de Hidrología y Medio Ambiente, así como del monitoreo de las aguas de la cuenca del río Chillón donde se encuentra el reactor de investigación del IPEN, permitiendo obtener resultados en menor tiempo y tomar las medidas correctivas oportunas en caso necesario.

En este trabajo se presenta en detalle el procedimiento de enriquecimiento electrolítico que fue realizado en los Laboratorios de Técnicas Aplicadas del CEDEX en Madrid-España como parte del programa de entrenamiento en la técnica.

## ABSTRACT

During the last 10 years, IPEN carried out hydrology studies where the analysis of tritium in water samples was required. These kinds of analysis are performed in IAEA laboratories and others around the

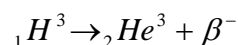
world. This situation generates some complications (i.e. time delay for obtaining results, high economical costs for sample analysis, etc).

In the frame of the Regional Project RLA/8/031 “Sustainable Management of Underground Water” supported by the IAEA. It was approved the supply of a “Tritium Electrolytic Enrichment System” to IPEN in order to increase this isotope concentration and to measure Tritium at environmental concentrations in water samples by a liquid scintillation counter. This data is required for hydrology and environmental studies, as so for monitoring the water quality of the Chillón river basin, valley in which the nuclear reactor of IPEN is located.

Detailed electrolytic enrichment procedure for Tritium is presented as it was developed in Applied Techniques Laboratory of CEDEX, Madrid, Spain as a part of on-the-job training program of the Regional Project.

## 1. INTRODUCCIÓN

El tritio es un isótopo radiactivo del hidrógeno, de número de masa igual a 3, que se desintegra emitiendo radiación beta de energía máxima igual a 18.6 KeV y con periodo de semidesintegración de 12.38 años. Se puede esquematizar la desintegración radiactiva del tritio de la siguiente forma:



La abundancia natural del tritio en relación al isótopo mas abundante del hidrógeno (protio) es pequeña razón por la cual se suele emplear la Unidad Tritiada (UT). Se define la Unidad Tritiada como la relación isotópica de un átomo de tritio por cada

$10^{18}$  átomos de tritio, esta definición es aplicable a cualquier material que contenga hidrógeno (agua, hidrógeno gaseoso, hidrocarburos, etc). En el caso del agua (1):

$$1 \text{ UT} = 0.11813 \pm 0.000047 \text{ Bq/Kg}$$

$$\text{UT} = 3.2 \text{ pCi/L}$$

$$1 \text{ Bq/L} = 8.264 \text{ UT}$$

El tritio presente en el medio ambiente proviene de dos fuentes: natural y artificial. La fuente natural de tritio es debida a la acción de la radiación cósmica sobre la atmósfera mientras que la artificial es debida a las pruebas nucleares y las emanaciones de centrales nucleares. Se conoce que el tritio de origen natural en aguas de lluvias es del orden de 2 a 10 UT (promedio europeo) (2) y de 2 a 6 UT en la sierra central del Perú, según estudios realizados en el periodo 1996-1997 (3), existiendo una variación que depende de la ubicación en el globo terráqueo y la estación del año. El tritio de origen artificial en precipitaciones alcanzó concentraciones muy altas del orden de 2000 UT en el hemisferio norte en los años 60 durante el período de las pruebas nucleares atmosféricas (4).

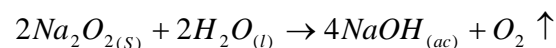
Debido a que la cantidad de tritio presente en aguas naturales (subterráneas, superficiales, precipitaciones) es pequeña, se hace necesario realizar un enriquecimiento para poder ser detectada y cuantificada.

## 2. DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO

En el presente trabajo, se describe la técnica conocida como "Enriquecimiento Electrolítico del Tritio" que se basa en la descomposición del agua por el paso de una corriente eléctrica continua, produciendo hidrógeno en el cátodo y oxígeno en el ánodo, enriqueciéndose en tritio el residuo que queda en la celda sin descomponer.

El volumen de la muestra de agua (de río, mar, precipitación, etc.) necesaria para el análisis es de 1 litro y esta debe ser destilada hasta conseguir conductividad menor a  $100 \mu\text{S/cm}$ . Se transfiere 500ml de este destilado a la celda electrolítica especialmente diseñada y se alcaliniza con peróxido de sodio ( $\text{Na}_2\text{O}_2$ ) produciéndose

la reacción exotérmica con desprendimiento de  $\text{O}_2$  de acuerdo a:

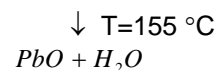
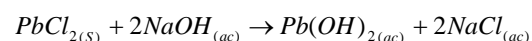


Para calibrar el sistema de electrólisis se emplea una muestra denominada "spike" que se prepara con 490 ml de agua fósil (de bajo contenido de H-3) y 10 ml de un patrón de H-3 de aproximadamente 300 DPM/ml.

El electrodo empleado en el enriquecimiento electrolítico del tritio consta de un arreglo tipo sándwich constituido por dos ánodos de hierro de alta pureza y un cátodo de acero inoxidable al 50% en níquel, localizado en medio de los ánodos con separación mínima. Este arreglo va acoplado a una tapa de cierre a presión de acero inoxidable con 3 salidas, 2 para los cables (ánodo y cátodo) y una para evacuación de gases producto de la electrólisis.

Las celdas electrolíticas se tapan cuidadosamente y se trasladan a la cuba de agua que refrigerará todo el proceso de electrólisis a una temperatura de  $0-1^\circ\text{C}$ . Las celdas electrolíticas en un número de 10 son conectadas en serie y se les aplica una corriente inicial de 3 amperios durante una hora, después se aumenta a 12 amperios durante 60 horas y luego se aplica una densidad de corriente constante de  $0.100 \text{ A/cm}^2$  hasta obtener un residuo de aproximadamente 12 ml, el proceso tarda aproximadamente 8 días.

Finalizada la electrólisis se miden y registran los volúmenes de agua remanente y el residuo se somete a una segunda destilación con adición de cloruro de plomo ( $\text{PbCl}_2$ ) dando lugar a la siguiente reacción:



El destilado es recogido en ampollas de vidrio acopladas a un compensador de presión provisto de vaselina líquida. Finalizada la destilación se vuelve a medir el volumen para valorar las posibles pérdidas.



## MEDIDA POR CENTELLEO LÍQUIDO

La medida por centelleo líquido (LSC) permite determinar el tipo y cantidad de emisor radiactivo  $\beta$  presente en una muestra previamente acondicionada para el análisis. El principio de detección se basa en la interacción de la partícula radiactiva con un cóctel centellante constituido por un solvente, generalmente orgánico, y un centellador (sustancia fluorescente) dando como resultado la emisión de fotones.

Para conocer la eficiencia de detección del equipo de medida se prepara un **patrón** de actividad conocida el cual se mezcla, en una proporción adecuada, con el cóctel centellante. También se requiere de una muestra de **fondo**. En el caso particular del tritio el cóctel empleado es el Ultima Gold LLT y la muestra de fondo es preparada empleando agua fósil (bajo contenido de H-3) y el mismo cóctel centellante.

Para determinar el contenido de tritio en las muestras enriquecidas, éstas se deben preparar con cóctel centellante Ultima Gold LLT, se agitan y refrigera en oscuridad para reducir el efecto de quimiluminiscencia.

Se traslada al portaviales 9 muestras, 1 spike, una muestra de fondo y un patrón, en ese orden y se lleva a medida por centelleo líquido por espacio de 300 minutos, estableciéndose previamente la región de conteo después de obtener la mejor figura de mérito ( $E^2/F$ ).

## CÁLCULO DE LA EFICIENCIA DE RECUENTO DEL SISTEMA DE DETECCIÓN (LSC)

$$\varepsilon = \frac{CPM_p - CPM_f}{DPM}$$

Donde:

$\varepsilon$  = Eficiencia de recuento del equipo (LSC) en CPM/DPM

$CPM_p$  = Cuentas por minuto del patrón registradas por el equipo (LSC)

$CPM_f$  = Cuentas por minuto de una muestra de fondo registradas por el equipo (LSC)

DPM = Actividad del patrón en desintegraciones por minuto corregidas a la fecha de medición

## CÁLCULO DE LA ACTIVIDAD EN UT

$$A(UT) = \frac{CPM_m - CPM_f}{60 * D * \varepsilon * V * Z * 0.11813}$$

Donde:

$CPM_m$  = Cuentas por minuto de la muestra

$CPM_f$  = Cuentas por minuto del fondo

$\varepsilon$  = Eficiencia de recuento del equipo (LSC)

V = Volumen de la alícuota en L

D = Corrección por decaimiento (fecha de muestreo a fecha de medición)

1/60 = Factor de conversión DPM a Bq

Z = Factor de enriquecimiento electrolítico

0.11813 = Factor de conversión a UT

## CÁLCULO DEL ERROR DE LA ACTIVIDAD ( $2\sigma$ )

$$2\sigma = \frac{2}{60 * D * \varepsilon * V * Z * 0.11813} \sqrt{\frac{CPM_m}{T_m} + \frac{CPM_f}{T_f}}$$

Donde:

$T_m$  = Tiempo total de medida de la muestra (minutos)

$T_f$  = Tiempo total de medida del fondo (minutos)

## CÁLCULO DEL LÍMITE INFERIOR DE DETECCIÓN (LID)

$$LID = \frac{3.36}{60 * D * \varepsilon * V * Z * 0.11813} \sqrt{\frac{CPM_f}{T_m} + \frac{CPM_f}{T_f}}$$

## 3. RESULTADOS DE MEDICIÓN

En la tabla 1 se presentan los resultados de medición de tritio en agua con enriquecimiento electrolítico.

**Tabla 1.** Datos de medida de H-3 en aguas con enriquecimiento electrolítico.

Muestra	V (ml) A. Elect.	V (ml) D. Elect.	d	CPM (Promedio)	A(UT)	LID
1	500	12.2	0.9809	2.35	2.57 ± 0.36	0.42
2	500	11.1	0.9809	2.61	3.07 ± 0.37	0.42
3	500	12.2	0.9809	2.63	3.10 ± 0.37	0.42
4	500	11.3	0.9809	2.51	2.88 ± 0.37	0.42
5	500	11.7	0.9809	2.73	3.29 ± 0.38	0.42
6	408	11.5	0.9809	2.46	3.41 ± 0.44	0.51
7	500	11.8	0.9809	2.60	3.05 ± 0.37	0.42
8	500	11.3	0.9772	3.39	4.56 ± 0.42	0.42
9	500	12.2	0.9826	3.33	4.42 ± 0.41	0.41
Spike	500	11.6		443.75		
Fondo				0.94		
Patrón				636.77		

#### 4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Teniendo en cuenta que las concentraciones actuales de Tritio en aguas de lluvias del hemisferio norte (de donde son provenientes las muestras analizadas), varían entre 2 a 10 UT, los resultados obtenidos indican que todas corresponden a aguas “modernas”, es decir provienen de precipitaciones recientes o de aguas subterráneas con un tiempo de residencia del orden de años, tiempo corto a escala hidrogeológica. Así mismo, las variaciones en las concentraciones de Tritio, corresponden a variaciones estadísticas más que a diferencia de edades de las aguas.

#### 5. REFERENCIAS

1. María Fé Díaz Teijeiro. Determinación de Bajos Niveles de Tritio en Aguas Técnicas de Concentración; CEDEX, Madrid, septiembre de 1991.
2. Plata, A. Jornadas Sobre Hidrología Isotópica Cap. 8 “Concentraciones de tritio en las precipitaciones del globo a partir del año 1953: Características generales y modelos de distribución”, CEDEX.
3. R. Rojas, J. Silar. Hydrological Study of the Southern Altiplano of Peru, Lima 1998.
4. IAEA. Guidebook on Nuclear Techniques in Hydrology, 1983.

# APLICACIÓN DE LOS GEOTERMOMETROS EN LA EXPLORACIÓN DE SISTEMAS GEOTÉRMICOS

Valencia J. <sup>(1)</sup> [jvalencia@ipen.gob.pe](mailto:jvalencia@ipen.gob.pe)

(1) Dirección General de Seguridad Radiológica, IPEN / Lima, Perú

## RESUMEN

Los sistemas geotérmicos existen donde hay una aproximación del calor interno de la Tierra (calor magmático) a unos pocos kilómetros de la superficie, en el interactúan aguas meteóricas en movimiento a través de estructuras, fallas y fracturas profundas. En el presente estudio por análisis de la química del agua de la descarga de manantiales termales y pozos, ha sido posible en la etapa inicial del proyecto obtener información específica acerca de la temperatura en profundidad de los "fluidos termales". Se aplican geotermómetros que son algoritmos basados en la concentración de soluto en los fluidos, resultados de los análisis químicos de muestras de aguas termales efectuados durante la ejecución del proyecto PER 8/012. Se ha utilizado el geotermómetro Na-K-Mg de Giggenbach, cuya contribución en esta etapa del proyecto es la estimación de la temperatura del reservorio en profundidad (210°C) en el área "Borateras", región altoandina del sur del Perú. La aplicación de la técnica ha permitido determinar sectores favorables de interés con posibilidades para la existencia de sistemas geotérmicos importante en la generación de energía eléctrica.

## ABSTRACT

The geothermal systems exist where there is an approach of the internal heat of the Earth (magmatic heat) to some few km. of the surface, in it participate meteoric waters in movement through structures, faults and deep fractures. In the presently study, for analysis of the chemistry of the water of the discharge of thermal springs and wells, it has been possible in the initial stage of the project to obtain specific information about the temperature in depth of the thermal fluids. We applies geothermometers that are algorithms based on the solute concentration in the

fluids, and the results of the chemical analyses of samples of thermal waters made during the execution of the project PER 8/012. The Na-K-Mg geothermometer of Giggenbach has been used whose contribution in this stage of the project, is the estimation of the temperature of the reservoir in depth (210°C) in the " Borateras " area, region altoandina of the south of the Peru. The application of the technique has allowed to determine favorable sectors, of interest with possibilities for the existence of geothermal systems of economic importance in the electric power generation.

## Geotermómetros

Los resultados que se presentan forman parte del "Estudio del potencial geotérmico del altiplano sur" efectuado en el marco del Proyecto PER 8/012 del OIEA en este estudio se ha utilizado el método de geotermometría química [1], su aplicación se basa, en la premisa de la existencia de reacciones químicas que se producen en profundidad entre el fluido geotérmico y los minerales constituyentes de las rocas del reservorio. Han servido de base los resultados de análisis químicos de muestras de agua permitiendo estimar la temperatura a la que ocurre el equilibrio químico de interacción agua-roca en el posible sistema geotérmico de "Borateras".

Las muestras estudiadas se han representado en el geotermómetro Na-K-Mg de Giggenbach [2] cuyo diagrama se ilustra, en el se define principalmente un estado de equilibrio de la muestra GT-4 del área de "Putina Grande" la que se sitúa en el diagrama cerca a la línea de equilibrio, con una temperatura aproximada del fluido en profundidad de 210°C, pronosticando la existencia de un reservorio con buen potencial energético y entalpía.

En cambio en un sector próximo al anterior, la muestra GT-3 de “Putina Grande”, no sigue la misma evolución que la muestra anterior debido posiblemente a dos razones, proceso de mezcla con aguas sub-superficiales frías durante su flujo ascendente lo que estaría originando una dilución en su composición y pérdida de temperatura [3] o que pueda deberse a un flujo convectivo diferente menos profundo que las aguas termales de la muestra GT-4 de “Putina Chica”.

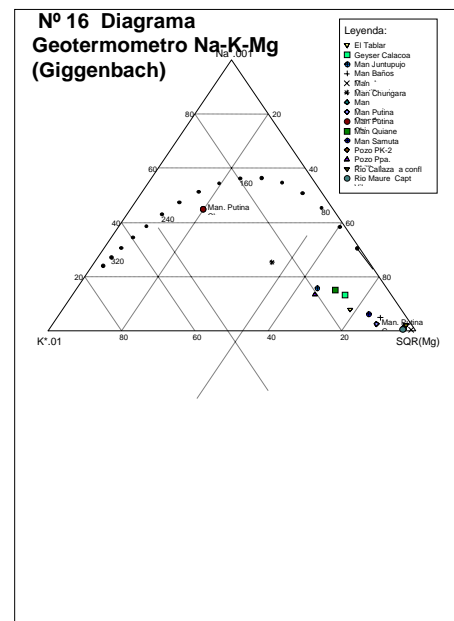
Finalmente, es destacable la posición y carácter que presenta la muestra GT-26 del manantial Chungara, aunque distante del sector de “Borateras”, presenta una evolución intermedia la que puede deberse al proceso de mezcla durante el flujo ascendente a superficie con la consecuente dilución y pérdida de temperatura. Las demás muestras en el diagrama, se ubican dentro del campo de “aguas inmaduras”.

Los geotermómetros permiten indicar en la etapa inicial del proyecto la temperatura del reservorio cuando aun no se tiene efectuada la etapa de perforación [4], normalmente utilizadas en estos estudios.

La aplicación de los geotermómetros ha permitido seleccionar sectores con las mejores condiciones e interés para la exploración de recursos geotérmicos.

## REFERENCIAS

- (1) Henley R; Truesdell A and al. Fluid-Mineral Equilibria in Hydrothermal Systems Reviews in Economic geology Handbook of Environmental Isotope Geochemistry Edited Scientific Publishing Company, Amsterdam, 1980.
- (2) IAEA, Isotope and Geochemical Techniques Applied to Geothermal Investigations. TECDOC- 788 february-1995.
- (3) Arnórsson S., Isotopic and Chemical Techniques in Geothermal Exploration Development and Use. Edited by Chemical and Isotopic Ground water Hydrology, IAEA. Vienna 2000.
- (4) IAEA, Estudios Geotérmicos con Técnicas Isotópicas y Geoquímicas en América Latina. TECDOC – 641 March – 1992.



RESULTADOS ÚMICOS MUESTREO AREA BORATERAS

N° DE MUESTREA	CODIGO MUESTRA		FECHA	pH CAMP.	pH LAB.	Temp. °C CAMPO	Miligramos por litro													% Error
							Na	K	Ca	Mg	Li	Cl	SO4	HCO3	SiO2	B	As	Hg	Fe	
1	Ca-5	El Tablar	25/10/00	4.01	3.40	76.9	438.50	76.4	69.2	18.8	2.92	598.4	459	0.00	288.4	19.80	7.490	<0.0005	10.200	-0.77
2	GC-1	Geyser Calacoa	25/10/00	6.00	8.01	86.0	560.40	52.7	68.2	9.68	5.29	707.1	312	255.22	202.9	19.20	3.700	<0.0005	0.395	-1.15
3	GT-2	Rio Maure Captaciones Villachaulani	24/10/00	8.11	7.00	18.2	11.06	4.8	5.6	2.12	0.036	2.32	22.5	35.50	49.3	0.31	0.097	<0.0005	0.570	-2.67
4	GT-3	Manantial Putina Grande	24/10/00	5.87	7.00	71.0	20.89	7.5	6.3	0.5	0.014	0.882	37.3	31.59	130.6	0.24	0.021	0.003	0.099	4.93
5	GT-4	Manantial Putina Chica	24/10/00	6.95	8.10	85.6	1295.70	102.1	54.4	0.32	16.967	2237	54	86.40	284.7	99.00	18.080	<0.0005	0.037	-3.07
6	GT-7	Pozo Pampa Chilicolpa	24/10/00	7.08	7.39	59.2	563.30	86.5	32	7.63	6.037	974.2	64	131.31	190.1	43.00	7.560	0.0008	0.095	-3.37
7	GT-15	Manant. Baños Calachaca	24/10/00	7.00	7.49	42.2	218.03	31.2	34.4	15.07	2.603	357	34	232.30	151.1	14.89	3.280	<0.0005	0.044	-4.83
8	GT-17	Manantial Samuta	24/10/00	5.64	7.45	51.8	310.10	47.4	32.7	17.41	3.527	500.9	45.3	259.00	174.2	22.70	4.370	<0.0005	0.050	-4.18
9	GT-24A	Manantial Quiane	23/10/00	6.73	7.38	40.5	822.20	78.3	45.3	14.98	7.612	1323	83	237.66	176.7	43.00	13.030	<0.0005	0.050	-1.98
10	GT-26	Manantial Chungara	23/10/00	6.85	7.21	74.4	1072.00	111.2	41.9	4.16	10.163	1860	112.4	153.20	120	58.50	15.860	<0.0005	0.670	-4.94
11	GT-27	Manantial Juntupujo	23/10/00	6.93	7.20	68.6	745.30	88.8	33.7	9.46	6.918	1277	78.8	188.26	188.4	41.80	11.620	<0.0005	0.209	-4.60
12	GT-29	Manantial Castilla Pujó	23/10/00	7.31	3.31	43.2	16.52	4.7	402.2	21.06	0.029	1.32	1065	0.00	37.4	<0.05	0.010	<0.0005	25.560	0.96
13	GT-32	Manantial Copapujo	24/10/00	6.96	7.12	14.2	32.75	6.7	7.4	5.89	0.199	50.33	10.2	58.68	80	0.98	0.609	<0.0005	0.092	-2.85
14	PK-2	Pozo PK- 2	24/10/00	6.55	7.11	24.0	12.09	5.0	4.2	3.01	0.076	2.19	4.1	65.02	103.6	0.07	0.286	<0.0005	0.072	-4.38
15	RC-1	Rio Callazas antes de confluencia	25/10/00	7.00	7.60	20.1	29.43	2.1	10.7	1.78	0.065	14.18	29.9	54.04	54.1	0.47	0.130	<0.0005	0.145	2.71

RESULTADOS UÍMICOS MUESTREO AREA BORATERAS

N° DE MUESTREA	CODIGO MUESTRA		FECHA	pH CAMP.	pH LAB.	Temp. °C CAMPO	Miligramos por litro													% Error
							Na	K	Ca	Mg	Li	Cl	SO4	HCO3	SiO2	B	As	Hg	Fe	
1	Ca-5	El Tablar	25/10/00	4.01	3.40	76.9	438.50	76.4	69.2	18.8	2.92	598.4	459	0.00	288.4	19.80	7.490	<0.0005	10.200	-0.77
2	GC-1	Geyser Calacoa	25/10/00	6.00	8.01	86.0	560.40	52.7	68.2	9.68	5.29	707.1	312	255.22	202.9	19.20	3.700	<0.0005	0.395	-1.15
3	GT-2	Rio Maure Captaciones Villachaulani	24/10/00	8.11	7.00	18.2	11.06	4.8	5.6	2.12	0.036	2.32	22.5	35.50	49.3	0.31	0.097	<0.0005	0.570	-2.67
4	GT-3	Manantial Putina Grande	24/10/00	5.87	7.00	71.0	20.89	7.5	6.3	0.5	0.014	0.882	37.3	31.59	130.6	0.24	0.021	0.003	0.099	4.93
5	GT-4	Manantial Putina Chica	24/10/00	6.95	8.10	85.6	1295.70	102.1	54.4	0.32	16.967	2237	54	86.40	284.7	99.00	18.080	<0.0005	0.037	-3.07
6	GT-7	Pozo Pampa Chillicolpa	24/10/00	7.08	7.39	59.2	563.30	86.5	32	7.63	6.037	974.2	64	131.31	190.1	43.00	7.560	0.0008	0.095	-3.37
7	GT-15	Manant. Baños Calachaca	24/10/00	7.00	7.49	42.2	218.03	31.2	34.4	15.07	2.603	357	34	232.30	151.1	14.89	3.280	<0.0005	0.044	-4.83
8	GT-17	Manantial Samuta	24/10/00	5.64	7.45	51.8	310.10	47.4	32.7	17.41	3.527	500.9	45.3	259.00	174.2	22.70	4.370	<0.0005	0.050	-4.18
9	GT-24A	Manantial Quiane	23/10/00	6.73	7.38	40.5	822.20	78.3	45.3	14.98	7.612	1323	83	237.66	176.7	43.00	13.030	<0.0005	0.050	-1.98
10	GT-26	Manantial Chungara	23/10/00	6.85	7.21	74.4	1072.00	111.2	41.9	4.16	10.163	1860	112.4	153.20	120	58.50	15.860	<0.0005	0.670	-4.94
11	GT-27	Manantial Juntupujo	23/10/00	6.93	7.20	68.6	745.30	88.8	33.7	9.46	6.918	1277	78.8	188.26	188.4	41.80	11.620	<0.0005	0.209	-4.60
12	GT-29	Manantial Castilla Pujó	23/10/00	7.31	3.31	43.2	16.52	4.7	402.2	21.06	0.029	1.32	1065	0.00	37.4	<0.05	0.010	<0.0005	25.560	0.96
13	GT-32	Manantial Copapujo	24/10/00	6.96	7.12	14.2	32.75	6.7	7.4	5.89	0.199	50.33	10.2	58.68	80	0.98	0.609	<0.0005	0.092	-2.85
14	PK-2	Pozo PK- 2	24/10/00	6.55	7.11	24.0	12.09	5.0	4.2	3.01	0.076	2.19	4.1	65.02	103.6	0.07	0.286	<0.0005	0.072	-4.38
15	RC-1	Rio Callazas antes de confluencia	25/10/00	7.00	7.60	20.1	29.43	2.1	10.7	1.78	0.065	14.18	29.9	54.04	54.1	0.47	0.130	<0.0005	0.145	2.71

## ***VIII. Protección y Seguridad Radiológica***

# AUTOMATIZACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO QUÍMICO DE RESIDUOS LÍQUIDOS DE LA PLANTA DE GESTION DE RESIDUOS RADIATIVOS

Cunya E. <sup>(1)</sup> [ecunya@ipen.gob.pe](mailto:ecunya@ipen.gob.pe); Aguirre A. <sup>(2)</sup> [aaquirre@ipen.gob.pe](mailto:aaquirre@ipen.gob.pe); Edgar Ginés E. <sup>(3)</sup>

(1) Laboratorio de Desarrollo Electrónico – PRDT – IPEN / Lima, Perú

(2) Planta de Gestión de Desechos Radiactivos – SERA – IPEN / Lima, Perú

(3) Universidad Nacional de Ingeniería / Lima, Perú

## RESUMEN

El informe muestra los logros alcanzados al finalizar la elaboración e implementación de un programa piloto de supervisión y control de procesos basado en el uso de un controlador lógico programable (autómata) y de un interfaz de comunicación industrial, llevado a cabo en la planta de tratamiento químico de efluentes líquidos (Figura 1) conteniendo elementos radiactivos tales como Co-60, Cs-137, I-131, Sr-90, Tc-99m, Mo-99, provenientes de los tanques de decaimiento radiactivo del reactor RP-10 y de la Planta de Producción de Radioisótopos (PPR) en el Centro Nuclear RACSO.

## RESULTADOS

La culminación de esta actividad nos permitió obtener los siguientes resultados:

- La adaptación de equipos de laboratorio convencional para el control de la dosificación de reactivos en el proceso de tratamiento químico de los efluentes líquidos provenientes de las instalaciones radiactivas.
- Instalación y configuración del hardware requerido para la comunicación entre el autómata y las estaciones de supervisión (PC's).
- Estructurar el programa de usuario en el software de programación para autómatas de Siemens, este programa verifica las condiciones para el inicio normal y completo de la CPU y contiene todas las funciones requeridas para procesar la tarea específica de automatización). El programa de usuario consta de bloques de organización (OB), bloques de función del sistema (SFB), funciones del sistema (SFC), funciones (FC), bloques de funciones (FB), bloques de datos (DB) el juego de instrucciones de la CPU y los operandos. El programa de

usuario emplea el lenguaje de programación basado en el esquema de contactos, (KOP) también de Siemens, de fácil elaboración, destinado a usuarios familiarizados con los esquemas eléctricos.

- Técnicas de programación, desarrolladas para la creación de aplicaciones de visualización remota de datos de proceso, que se ejecuten en una red de PC's sobre la plataforma Windows mediante la interfaz del estándar industrial abierto OPC (OLE Process Control) que proporcionan interoperabilidad entre dispositivos de campo de diferentes fabricantes.
- La instalación y puesta en servicio del panel principal de control que nos permite la selección del modo MANUAL o AUTOMATICO de operación de los dispositivos actuadores y de sus respectivos circuitos de mando (MARCHA o PARADA). Este panel también dispone de elementos de visualización para indicar el estado operativo, periodo de mantenimiento de equipos y un interruptor de PARO DE EMERGENCIA para detener todo el proceso de inmediato en caso necesario.

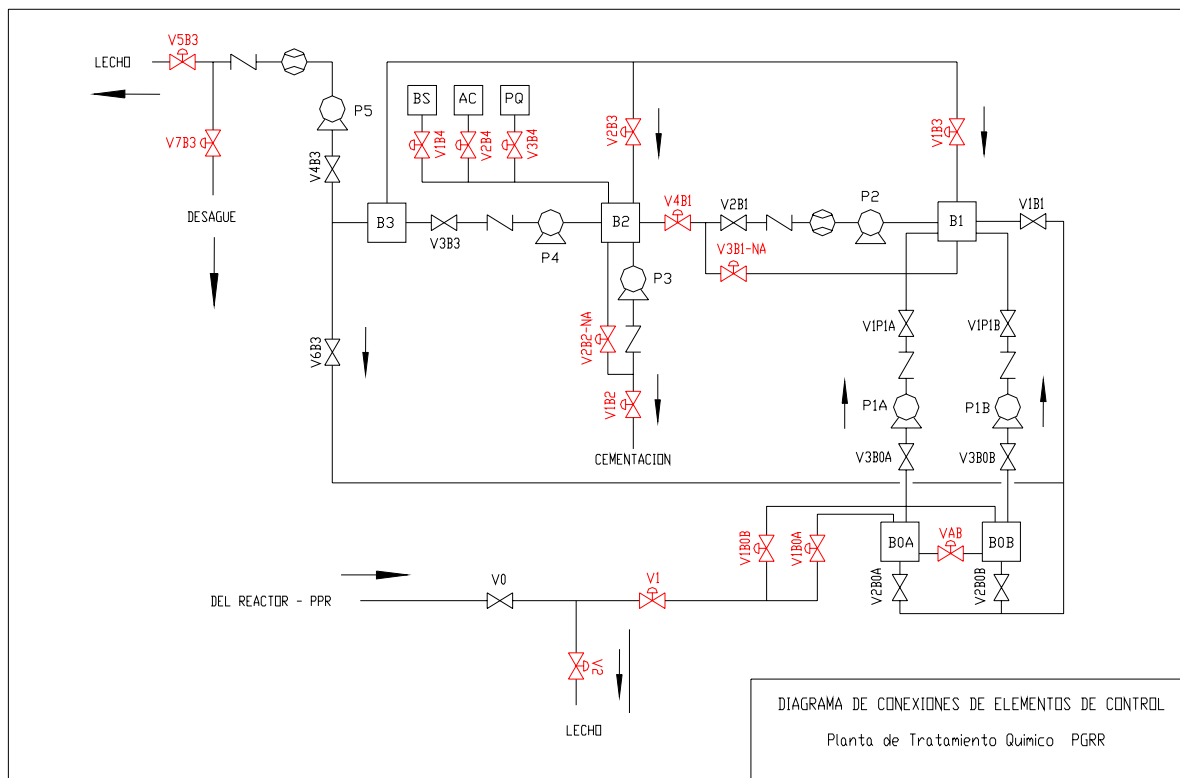
## REFERENCIAS

- (1) SIEMENS AG. ABC de la Programación S7-300. Iniciación a la configuración y programación.
- (2) SIEMENS AG. Manual de programación Diseño de programas S7-300/400.
- (3) SIEMENS AG. Manual de referencia Funciones del sistema y funciones estándar S7-300/400.



- (4) SIEMENS AG. Manual de usuario STEP7.
- (5) SIEMENS AG. Manuales AWL, KOP, FUP, SCL.
- (6) SIEMENS AG. Conversión de programas S5 a S7.
- (7) APPLICOM. Applicom V3.3 – Help.
- (8) MICROSOFT CORPORATION. MICROSOFT Visual Basic 6.0 Manual del programador.
- (9) OPC FUNDATION. OPC Technical Overview.
- (10) NATIONAL INSTRUMENTS. Lookout™ Developers Manual
- (11) AYALA A. – QUEVEDO M. Estudio Técnico para la automatización y control de procesos de la Planta de Tratamiento Químico de los residuos líquidos radiactivos del Centro Nuclear RACSO.
- (12) SOLSA. Memoria descriptiva Planta de Residuos Radiactivos.

**Figura 1.** Diagrama de conexiones de elementos de control de la Planta de Tratamiento Químico.



Nota.-  
 Vij : válvulas solenoide  
 Pk : bombas  
 Bj: Tanques

# IMPACTO RADIOLÓGICO AMBIENTAL DEL CENTRO NUCLEAR RACSO: PROGRAMA DE VIGILANCIA RADIOLÓGICA AMBIENTAL

Osore J. <sup>(1)</sup> [josores@ipen.gob.pe](mailto:josores@ipen.gob.pe); Gonzáles S. <sup>(1)</sup> [sgonzales@ipen.gob.pe](mailto:sgonzales@ipen.gob.pe); Martínez J. <sup>(1)</sup>; López E. <sup>(1)</sup>; Jara R. <sup>(1)</sup>; Anaya A. <sup>(1)</sup>

*(1) Departamento de Control Ambiental - IPEN / Lima, Perú*

## RESUMEN

La contaminación radiactiva del medio ambiente y la exposición de los miembros del público a las radiaciones ionizantes pueden originarse en las descargas operacionales planificadas o accidentales en actividades reguladas o ser debidas a situaciones pre-existentes como la contaminación ocasionada por las pruebas nucleares pasadas o el incremento de la radiactividad natural como consecuencia de las actividades humanas. El medio ambiente debe ser vigilado a los fines de evaluar los niveles de radiactividad y verificar el cumplimiento de la Regulación establecida por la Autoridad Competente Nacional (1).

El Instituto Peruano de Energía Nuclear ejecuta la vigilancia radiológica ambiental asociada a las instalaciones nucleares y radiactivas (Reactor Nuclear de 10 MWt y la Planta de Producción de Radioisótopos) del Centro Nuclear RACSO. En este reporte técnico, se presentan los resultados de ensayos radiológicos en componentes ambientales comprendidos en el Programa de Vigilancia Radiológica Ambiental durante el año 2002, los mismos que son remitidos a la Autoridad Regulatoria Nacional.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Se llevó a cabo el muestreo ambiental de aerosoles, aguas, componentes biológicos y geológicos en un radio de 5 kilómetros que constituye la zona de influencia del Centro Nuclear RACSO (tabla N° 1). Las muestras fueron sometidas a tratamiento fisicoquímico y acondicionamiento en geometrías apropiadas para su medición radiométrica en un sistema de espectrometría gamma de alta resolución (2). Los resultados son expresados en Becquerelios, en unidad de masa o volumen, con una incertidumbre expandida de 95% (3).

Los radionucleidos evaluados fueron I-131 e Ir-192, como elementos potenciales de descarga de la Planta de Producción de radioisótopos y Cs-137 como radionucleido de importancia radiosanitaria ambiental (4). La determinación de I-131 en aerosoles se realiza en forma semanal, en agua y sedimento cloacal, mensual; aguas, productos agrícolas y lácteos, trimestral.

## RESULTADOS

Los resultados analíticos de la tabla N° 2, indican que el Centro Nuclear RACSO libera en forma periódica pero en muy bajos niveles, I-131 a partir de la chimenea de la Planta de Producción de Radioisótopos. En la tabla N° 3, se muestran los resultados de la concentración de I-131 en diferentes componentes ambientales. Se han identificado otros radionucleidos en el sedimento de la Planta de Tratamiento de Efluentes Cloacales (PTEC), pero al no encontrarse estos mismos en el agua cloacal, son atribuidos al proceso de concentración de las partículas sedimentarias en el tiempo, no constituyendo riesgo potencial.

## CONCLUSIONES

No se encuentran evidencias de un impacto radiológico ambiental debido a la operación del Centro Nuclear RACSO en el valle de Huarangal durante el año 2002.

**Tabla 1.** Programa de Muestreo Ambiental CNR – 2002,

Muestra	Frecuencia de Muestreo	Zonas de Muestreo
Radioyodos en aire	Semanal	E.M. PPR
Aerosoles	Mensual	E.M. PPR
Suelo	Trimestral	CNR
Agua cloacal	Mensual	PTEC
Agua superficial	Trimestral	Canales de riego
Agua subterránea	Trimestral	POA
Agua de Río	Trimestral	Río Chillón
Sedimento cloacal	Mensual	PTEC
Sedimento de Río	Trimestral	Río Chillón
Leche de Vaca	Trimestral	Establos
Productos agrícolas	Trimestral	Carabayllo y Huarangal

CNR : Centro Nuclear RACSO  
 E.M. : Estación Meteorológica (CNR)  
 PPR: Planta de Producción de Radiosótopos (CNR)  
 PTEC : Planta de Tratamiento de Efluentes Cloacales (CNR)  
 POA : Planta de Obtención de Agua (CNR)

**Tabla 2.** Concentración de I-131 en Aerosoles. Estación PPR (2002).

Mes	Actividad Promedio (Bq/m <sup>3</sup> )	± I.E. 95%
Enero	1,66	± 0,0001
Febrero	1,65	± 0,0001
Marzo	1,48	± 0,0001
Abril	1,42	± 0,0001
Mayo	1,52	± 0,0001
Junio	1,42	± 0,0001
Julio	1,45	± 0,0001
Agosto	2,07	± 0,0001
Setiembre	1,79	± 0,0001
Octubre	1,91	± 0,0001
Noviembre	1,84	± 0,0001
Diciembre	1,73	± 0,0001

I.E. : Incertidumbre Expandida (k=2, α= 0,95)

**Tabla 3.** Concentración de I-131 en componentes ambientales CNR – 2002.

Muestra	Estación	Actividad
Aerosoles	E.M.	< 0,0055 Bq/m <sup>3</sup>
Agua cloacal	PTEC	< 5,10 Bq/L
Sedimento Cloacal	PTEC	< 4,34 Bq/kg
Agua	CNR	< 5,10 Bq/L
Sedimento	Río Chillón	< 4,35 Bq/kg
Suelo	CNR	< 4,40 Bq/kg
Productos agrícolas	Campos de cultivo	< 5,70 Bq/kg
Leche	Establo	< 2,20 Bq/L

I.E. : Incertidumbre Expandida (k=2, α= 0,95)

## REFERENCIAS

- (1) IPEN. Reglamento de Seguridad Radiológica. Oficina Técnica de la Autoridad Nacional. Instituto Peruano de Energía Nuclear, 1997.
- (2) IAEA. "Measurement of Radionuclides in Food and the Environment" Technical Report Series N° 295, 1989.
- (3) EURACHEM-CITAC. "Quantifying Uncertainties in Analytical Measurements", 2000.
- (4) Gonzales, S.; Osoreo, J.; Martínez, J.; López, E.; Jara, R.; Anaya, A. "Informe de Radiactividad Ambiental 1999 – 2000". Instituto Peruano de Energía Nuclear, 2001.

# CALIBRACION DOSIMETRICA DEL HAZ DE RADIACIÓN DE UNIDADES DE TELETERAPIA DE $^{60}\text{Co}$

Benavente T. <sup>(1)</sup> [benavente@ipen.gob.pe](mailto:benavente@ipen.gob.pe); Rojas E. <sup>(1)</sup> [fisrado@ipen.gob.pe](mailto:fisrado@ipen.gob.pe); Celedonio E. <sup>(1)</sup> [eceledonio@ipen.gob.pe](mailto:eceledonio@ipen.gob.pe)

(1) Seguridad Radiológica – IPEN / Lima, Perú

## RESUMEN

El LSCD del IPEN ha realizado la calibración dosimétrica del haz de radiación en dos unidades de teleterapia de  $^{60}\text{Co}$ , empleando el método ionométrico. Determinando la dosis absorbida en agua, en el isocentro de las unidades, con una incertidumbre menor al 2.7%. Esta actividad también ha permitido la participación, de los respectivos centros de radioterapia, en el programa de intercomparación del IAEA / WHO, obteniéndose resultados satisfactorios con desviaciones del orden del 1 %.

## CONTENIDO

El éxito de los tratamientos en radioterapia depende fundamentalmente de la exactitud de la dosis suministrada en un tejido neoplásico y de la reducción al mínimo de la dosis a los otros tejidos. Para lograr esto es importante realizar la calibración dosimétrica del haz de radiación en forma periódica asegurando que la exactitud en la dosis entregada debe de estar entre +7% y -5% de la dosis prescrita [1].

El LSCD realiza la calibración del haz de radiación de las unidades de teleterapia, de acuerdo a recomendaciones internacionales, empleando el método ionométrico, con un electrómetro y una cámara de ionización, calibrada en de kerma en aire. La dosis absorbida en agua ( $D_w$ ), en el isocentro de la unidad, a una profundidad de 5.0 cm, un tamaño de campo de 10 x 10 cm<sup>2</sup> es [2].

$$D_w(5) = M_0 p_{TP} k_h N_k k_{at} k_m (1 - g) s_{wair} p_u p_{dis}$$

donde:

$M_0$  lecturas por unidad de división

$p_{TP}$  factor de corrección por presión y temperatura

$K_h$  factor de corrección por humedad

$N_k$  factor de calibración de una cámara de ionización en términos de kerma en aire

$K_{at} k_m$  factor que tiene en cuenta la atenuación y la no equivalencia del aire de la pared de la cámara de ionización

$g$  fracción de energía de partículas cargadas perdidas por frenado

$s_{wair}$  razón de poder de frenado agua / aire

$p_u$  factor de perturbación de la cámara de ionización

$p_{dis}$  factor de desplazamiento del punto efectivo de cámara de ionización

En dos centros de radioterapia se ha realizado la calibración dosimétrica, del haz de radiación de sus unidades de teleterapia de  $^{60}\text{Co}$ , determinando, en sus isocentros, la dosis absorbida en agua, con una incertidumbre global menor que el 2.7%.

Asimismo, el LSCD ha promovido la participación de estos centros de radioterapia en el programa de intercomparación postal con TLD, organizado en coordinación con la IAEA y el WHO. Los resultados obtenidos presentaron desviaciones relativas del orden del 1 %, consideradas satisfactorias por ser inferiores al limite establecido 3.5 %.

Es necesario que en cumplimiento de las normas peruanas [3] y recomendaciones de la IAEA [4], la calibración dosimétrica para unidades teleterapia, de  $^{60}\text{Co}$ , de rayos x y de electrones, deben realizarse una vez por año, como parte del programa de garantía de la calidad que debe implementarse en todo centro de radioterapia del Perú.

## REFERENCIAS

- [1] OPS –OMS; Garantía de calidad y radioprotección en los servicios de radiología. Imaginología y radioterapia, 1997.
- [2] IAEA; Absorbed Dose Determination in Photon and Electron Beams an International Code of Practice, TRS N° 277, 1998.
- [3] IPEAN; Reglamento de Seguridad Radiológica, 1997.
- [4] IAEA; Protocolo de control de calidad. IAEATECDOC–1151, 2000.

# CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN INTERNA EN EL CENTRO NUCLEAR DEL IPEN

Rodríguez D. <sup>(1)</sup> [drodriguez@ipen.gob.pe](mailto:drodriguez@ipen.gob.pe)

(1) Laboratorio de Dosimetría de la Contaminación Interna – IPEN / Lima, Perú

## RESUMEN

En el presente reporte se expone el panorama del trabajo rutinario en el control de la contaminación interna de los trabajadores ocupacionalmente expuestos en el Centro Nuclear del Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN), realizado por nuestro laboratorio, como parte de sus funciones durante el año 2002.

Básicamente el control de la incorporación interna esta orientada al radioisótopo I-131 debido a su naturaleza volátil y a las actividades de producción (~12Ci al mes).

Como resultado de las evaluaciones realizadas se concluye que durante el año 2002 los valores de radiactividad incorporada en tiroides en el personal ocupacionalmente expuesto de la Planta de Producción de Radioisótopos del IPEN mayoritariamente se encuentran por debajo del Nivel de Registro.

## ABSTRACT

In this report, a panoramic view of the routine control of internal contamination in occupationally exposed workers of the Nuclear Center of Peruvian Nuclear Energy Institute (IPEN) made by our laboratory as a part of its activities during 2002 is presented.

Basically, the control of intake by workers is intended for 131-iodine due to its volatile nature and to its level of activity produced (about 12 Ci monthly) in our Radioisotope Production Plant.

As a result of evaluations performed it was found that during the year 2002, values of thyroid activity registered by occupationally exposed workers of our PPR were mainly below the Registry Level.

El Laboratorio de Dosimetría de la Contaminación Interna (LDCI) del Departamento de Control Biomédico de la

Dirección General de Seguridad Radiológica del Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN) es responsable de realizar la vigilancia de la incorporación de radionucleidos por los trabajadores ocupacionalmente expuestos con la finalidad de mantener condiciones de trabajo en niveles aceptables y seguros (1).

En el Centro Nuclear del Instituto Peruano de Energía Nuclear funciona la Planta de Producción de Radioisótopos (PPRR) la que produce los radioisótopos que se señalan en la tabla No1.

**Tabla 1.** Producción de Radioisótopos en la PPRR-IPEN durante el año 2002.

Radioisótopo	Actividad Promedio	Frecuencia
I-131	3 Ci	Semanal
Tc-99m	2 Ci	Semanal
Sm-153	1 Ci	Semanal
Ir-192	24 Ci	Quincenal

Así mismo disponen de infraestructura y procedimientos para producir P-32 y S-35 con capacidad de 100 mCi.

De los radioisótopos citados en la tabla 1, el Ir-192 se produce como fuente sellada representando en este caso mayor el aporte a la dosis externa que a la interna.

La vigilancia de la incorporación de I-131 por los trabajadores ocupacionalmente expuestos se hace importante debido a las actividades producidas (~12 Ci/ mes) y a la naturaleza volátil del yodo.

El I-131 puede incorporarse a través de 3 vías: inhalación, ingestión y absorción a través de la piel. Cualquiera sea la ruta de entrada, del 100% de yodo incorporado se estima que el 30% se retiene principalmente en la glándula tiroides y el 70% es excretado mayoritariamente a través de la orina (2,7). El I-131 retenido en la tiroides permanece con un tiempo de vida biológico de 80 días (2), es aquí donde el yodo se transforma en yodo orgánico por

combinación con la tirosina. El tiempo de vida biológico en sangre es de 6 horas razón por la cual se recomienda que los trabajadores expuestos al I-131 asistan a medición de yodo en tiroides en un plazo mayor a 6 horas y deseable de 24 a 48 horas posterior a la exposición, tiempo en el que se estima se detectara la mayor cantidad de yodo depositada en la tiroides (7).

Para realizar las mediciones este laboratorio dispone del "Sistema de Medida de Yodo en Tiroides" Camberra modelo 7350, provisto de dos detectores de NaI (TI) 2"x2". El primer detector es utilizado para realizar la medición directa (in-vivo) colocándolo a nivel de la tiroides (bajo la tráquea). El segundo detector de geometría tipo pozo es empleado en las determinaciones indirectas (in-vitro) y principalmente se miden muestras de orina.

El Laboratorio de Dosimetría de la Contaminación Interna ha elaborado el "Procedimiento para la Determinación de la Actividad y la Dosis debida a la Incorporación de I-131 en Tiroides por Medida In-Vivo". Así mismo ha adoptado como Limite Anual de Incorporación debido al I-131 en tiroides el valor  $1.82 \times 10^6$  Bq (1,3,4,5), estableciendo los niveles de referencia que se consignan en la Tabla 2 (1,2).

**Tabla 2.** Niveles de Referencia mensuales adoptados por el LDCI-IPEN.

Nivel (mensual)	Bq
Registro	$1.49 \times 10^4$
Investigación	$4.48 \times 10^4$

El Laboratorio de Dosimetría de la Contaminación Interna realiza los siguientes controles por incorporación de I-131:

1. Medición de Fondo. Una vez al año e involucra al 100% del personal de la Planta de Producción de Radioisótopos (PPRR).
2. Evaluación de la incorporación interna de I-131 en tiroides. Una vez por semana, después del proceso de producción de I-131.
3. Evaluación de I-131 en orina por espectrometría gamma. Cuando los

valores de la incorporación en tiroides superan el nivel de registro.

Así mismo, emite un reporte mensual de Actividad Incorporada, Dosis Equivalente Comprometida (tiroides) y estima los valores de Dosis Efectiva Comprometida por incorporación de I-131 en tiroides. Al final del año consolida estos valores en un reporte de dosis anual.

Como resultado de las evaluaciones realizadas se concluye que durante el año 2002 los valores de actividad tiroidea registrada para el personal ocupacionalmente expuesto de la Planta de Producción de Radioisótopos del IPEN se encuentran mayoritariamente por debajo del Nivel de Registro, pero en el mes de setiembre 2002 se registró un valor que superó el nivel de investigación (mensual) tal como se puede apreciar en la tabla No3 (5,6).

**Tabla 3.** Actividad y Dosis Registrada por un Trabajador de la PRR (setiembre 2002).

Exposición	Actividad Incorporada (Bq)	Dosis Equivalente Comprometida (tiroide) (Sv)	Dosis Efectiva Comprometida (Sv)
Control de Calidad	85 742.35	$2.49 \times 10^{-2}$	$7.55 \times 10^{-4}$

Aún presentando valores bajos debidos a incorporación por I-131 éstos deben ser adicionados a los valores de la dosimetría externa de cada trabajador para tener así un reporte anual acumulado completo de las dosis recibidas por cada uno.

## REFERENCIAS

1. OFICINA TECNICA DE LA AUTORIDAD NACIONAL, Reglamento de Seguridad Radiológica, IPEN, Lima-Perú (1997).
2. INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, Individual Monitoring for Intakes of Radionuclides by Workers: Design and Interpretation, Publication No 54, Pergamon Press, Oxford and New York (1988).
3. INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, Anual Limits on Intake of Radionuclides by

- Workers Based on the 1990 Recommendations, Publication No 61, Pergamon Press, Oxford and New York (1991)
4. ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACION Y LA AGRICULTURA, ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGIA ATOMICA, ORGANISMO INTERNACIONAL DEL TRABAJO, ORGANISMO DE ENERGIA NUCLEAR OECD, ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD, ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, Normas Básicas Internacionales de Seguridad para la Protección Contra la Radiación ionizante y para la Seguridad de las Fuentes de Radiación, Colección de Seguridad No 115, OIEA, Viena (1996).
  5. ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGIA ATOMICA, Assessment of Occupational Exposure Due to Intakes of Radionuclides, Safety Standards Series No RS-G-1.2, OIEA, Viena (1999).
  6. ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGIA ATOMICA, Assessment of Radiation Doses from Intakes of Radionuclides by Workers, Draft Safety Reports Series, OIEA, Viena (versión enero 2003).
  7. ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGIA ATOMICA, Manual on Early Medical Treatment of Possible Radiation Injury, Safety Series No 47, OIEA, Viena (1978).



# DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN IRRADIADOR TIPO PANORAMICO

Benavente T. <sup>(1)</sup> [tbenavente@ipen.gob.pe](mailto:tbenavente@ipen.gob.pe); Rojas G. <sup>(1)</sup> [fisrado@ipen.gob.pe](mailto:fisrado@ipen.gob.pe);  
Mora B. <sup>(1)</sup> [fisrado@ipen.gob.pe](mailto:fisrado@ipen.gob.pe)

(1) Departamento de Radioprotección y Dosimetría – IPEN /Lima - Perú

## RESUMEN

Este trabajo realizado en LSCD del IPEN contiene tres fuentes radiactivas, dos de  $^{137}\text{Cs}$  y una  $^{60}\text{Co}$ , ubicadas en dispositivos que permiten su desplazamiento desde y hacia el blindaje de acuerdo a las normas de radioprotección. Para efectuar la calibración dosimétrica de monitores de radiación a nivel de protección radiológica se ha caracterizado el haz de radiación en términos de tasa de kerma en aire. Los resultados en las calibraciones son consistentes con los obtenidos con un irradiador de haz colimado de  $^{137}\text{Cs}$  para valores comprendidos entre (0,8 – 800)  $\mu\text{Gy}/\text{min}$ .

## CONTENIDO

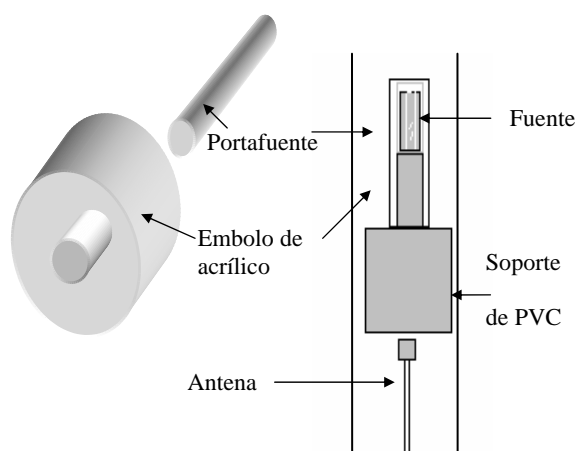
En la calibración dosimétrica de monitores de radiación utilizados a nivel de radioprotección se utilizan haces de radiación provenientes de un irradiador (posición ON), el cual puede contener una o más fuentes radiactivas. Cuando las fuentes están guardadas (posición OFF) los niveles de radiación en las proximidades del irradiador deben cumplir con las normas internacionales de radioprotección [1].

Este trabajo fue realizado con la finalidad de continuar con las actividades de calibración dosimétrica de monitores de radiación a nivel de protección radiológica durante la implementación del LSCD del IPEN.

Inicialmente se realizó el cálculo de los espesores de los blindajes necesarios para atenuar la radiación a niveles de radioprotección, los cálculos fueron corroborados empleando los códigos Mshield y Monte Carlo [2].

El irradiador tipo panorámico consta de tres fuentes radiactivas, de dispositivos para ubicarlas en la posición ON y OFF desde la sala de control y de un blindaje de plomo

para reducir la radiación de fondo. Las fuentes radiactivas de  $^{137}\text{Cs}$  de 148 GBq y 0,74 GBq y de  $^{60}\text{Co}$  de 2,96 GBq se encuentran ubicadas en la parte superior de los dispositivos, como se muestra en la figura.



Los portafuentes fueron alineados con la ayuda de los sistemas LASER de la sala de irradiación y de un telescopio. Luego de comprobar la repetibilidad en el desplazamiento de los dispositivos, se procedió a simular la colocación de las fuentes radiactivas, a fin de optimizar el procedimiento a seguir durante su ubicación.

Los niveles de exposición medidos en la posición OFF de las fuentes en las paredes laterales y a 0,5 m de éstas fueron 7,5 mR/h y 2,6 mR/h respectivamente.

Asimismo para efectuar la calibración dosimétrica de monitores de radiación a nivel de protección radiológica se realizó la caracterización del haz de radiación gamma midiendo la tasa de kerma en aire a lo largo de la sala de irradiación gamma, con el estándar secundario de radioprotección (electrómetro Ionex 2500/3 y cámara de ionización NE-2575 de 600  $\text{cm}^3$ ) con una incertidumbre global de 3,6% [3]. Los resultados obtenidos de las

calibraciones dosimétricas son consistentes en el rango de (0,8 – 800)  $\mu\text{Gy}/\text{min}$  con los resultados obtenidos con el irradiador  $^{137}\text{Cs}$  de 740 GBq (OB6 / 041). No obstante, para niveles de tasas de kerma en aire inferiores los a 0,8  $\mu\text{Gy}/\text{min}$  existe una perturbación significativa debida principalmente a la retrodispersión del haz de radiación emitido.

## REFERENCIAS

[1] Reglamento de Protección Radiológica, IPEN, Mayo, 1997.

[2] Medical X-Ray, Electron Beam and Gamma-Ray Protection for Energies Up to 50 MeV, National Council on Radiation Protection and Measurements; Report Nro. 102; 1989.

[3] IAEA, International Basis Safety Standards for Protection Against Ionization Radiation and for the Safety of Radiation Sources, Safety Series N° 115, Vienna 1996.

# SEGURIDAD Y VIGILANCIA RADIOLOGICA EN EL REEMPLAZO POR ROTURA DEL CABLE DE IZAJE DEL IRRADIADOR DE LA PIMU

Carlos Del Valle Odar <sup>(1)</sup> [carlosdelvalleo@starmedia.com](mailto:carlosdelvalleo@starmedia.com)

(1) *Planta de Irradiación Multiuso (PIMU) – IPEN / Lima, Perú*

## RESUMEN

La planta de irradiación Multiuso (PIMU) cuenta con un irradiador perteneciente a la categoría IV, el cual posee dos secciones las que pueden ser izadas en forma independiente. El cable de izaje de una de las secciones del irradiador se rompió lo que ocasionó llevar a cabo procedimientos programados de seguridad y vigilancia radiológica para los trabajos destinados a su reemplazo, los que implicaban el manipuleo de una fuente de Co-60 de 8182 Ci de actividad. El sistema de seguridad de la planta, así como las medidas adoptadas evitaron daños y exposición radioactiva a los trabajadores, los cuales se mantuvieron siempre por debajo de los límites de dosis establecidos en el reglamento nacional de protección radiológica.

## ABSTRACT

The Multipurpose irradiation plant (PIMU) has a irradiator IV category. This irradiator has two sections that they can be hoisted independently. The cable of hoist of one section of the irradiator was broken therefore there was that developed programmed safety procedures and radiological protection for the projects intended for their replacement, those which were implying the manipulated a Co-60 source with 8182 Ci of activity. The safety system of the plant, as well as the adopted measures avoided damages and radioactive exposition to the workers, that were maintained always below the dose limits established in the national regulation of radiological protection.

## CONTENIDO

Se llevaron a cabo procedimientos de seguridad y vigilancia radiológica en la realización de los trabajos destinados al cambio por rotura del cable de izaje de una de las secciones del irradiador de la Planta de Irradiación Multiuso (PIMU). El irradiador de esta instalación es de uso panorámico cuyo

almacenamiento es en una piscina con agua desionizada (Categoría IV). Este irradiador consta de dos secciones, una de las cuales sirve para irradiar productos a muy bajas dosis y la suma de ambas para irradiar productos a medianas y altas dosis de absorción. El izaje de estas secciones se realiza mediante el accionamiento automático de motores y cables asociados a todo un sistema de seguridad con dispositivos que advierten e impiden el ingreso hacia la cámara de irradiación. Al ocurrir la ruptura de uno de los cables de izaje de una de las secciones del irradiador el sistema de seguridad mediante un sensor detectó su destencionamiento lo que ocasionó el inmediato desplazamiento (source drop) del irradiador hacia el fondo de la piscina. En todo momento las señales de control indicaron “Falla en el irradiador” e “Ingreso no permitido a la cámara de irradiación”. Mecanismos como la plataforma retrodeslizante cumplieron su función al impedir el paso hacia la cámara. Además se adoptaron medidas como el colocar una estructura metálica con anuncios de prohibición de ingreso y el de los servicios de un vigilante en la zona. Los monitores fijos de detección de radiación indicaban fondo y el contrapeso indicaba posición de ambas secciones del irradiador en el fondo de la piscina, no obstante ello por ser un incidente que comprometía la integridad del irradiador y la posibilidad de riesgo radiactivo dentro de la cámara, se procedió a notificar del incidente a la Oficina Técnica de la Autoridad Nacional (OTAN), con quienes se realizaron las coordinaciones previas y se obtuvieron las autorizaciones para los trabajos respectivos.

Luego de verificar las condiciones de seguridad de la instalación, se realizó el ingreso a la cámara del personal autorizado con detectores de monitoreo portátil y con sus respectivos dosímetros personales. El desarrollo del plan de trabajo para el cambio de cable y restauración del sistema de izaje del irradiador incluía procedimientos programados de seguridad y vigilancia radiológica debido a que se tenía que manipular una fuente radiactiva de Co-60. Los trabajos comprendían el retiro de la fuente

sellada de Co-60 tipo FIS-60-03 de 8182 Ci de actividad, el izamiento manual de la implicada sección del irradiador, el cambio del cable asegurándolo a su sistema de sujeción y las pruebas finales de funcionamiento en frío y en caliente. Se realizaron algunos cálculos para obtener la tasa de exposición máxima permisible durante el manipuleo de la fuente. La formulación empleada para obtener la tasa de exposición de la altura máxima permisible de elevación de la fuente radiactiva dentro de la piscina al ser retirada del irradiador, tomaban en cuenta la actividad, energía y constante específica gamma de la fuente de Co-60, la densidad, el coeficiente de atenuación y espesor del medio absorbente agua, los que se realizaron sobre valores menores a 2,5 uSv/hr. En la práctica los detectores de monitoreo de radiación portátiles indicaron en todo momento que la tasa de exposición durante las maniobras realizadas para el retiro y carga de la fuente al irradiador estuvieron muy por debajo de los límites establecidos en el reglamento nacional de protección radiológica. Para el desarrollo de los trabajos que duraron dos días se requirió de un cable de acero inoxidable de 1/8" de diámetro y de 81 m. de longitud total (certificado), herramientas para el desmontaje y montaje del cable, llave mixta 10 y 13 mm., desarmador plano de 6 pulg., desarmador perillero plano chico, alicate mecánico, escalera en triángulo de 4 m., herramientas para el retiro e inclusión de la fuente de cobalto-60 A-26 al tubo 38, boquilla de acero inoxidable de longitud 80 mm de diámetro interior al borde 11,3 mm. Y diámetro interior cónico final rugoso de 10,0 mm., varillas acoplables de acero inoxidable (extensiones), gancho de acero inoxidable, telepinza de 7 m. de largo para manipuleo de la fuente, grilla soporte de acero inoxidable, binoculares, dos reflectores con extensión para mayor iluminación del fondo de la piscina, ropa descartable apropiada, detectores de monitoreo portátil, dosímetros personales y una estructura metálica (puerta) con personal de vigilancia para el acceso a la cámara. Los trabajos se realizaron en todo momento con los detectores y portando dosímetros personales. Cuando todas las herramientas estuvieron dispuestas en el recinto se

procedió a instalar los reflectores en la piscina, para luego empezar con las maniobras destinadas al retiro de la fuente, lo que involucraba sacar la tapa de seguridad del tubo del irradiador que impide la salida de la fuente, para lo que se utilizó el gancho acoplado a las varillas de extensión y la telepinza. Luego se procedió a acoplar la boquilla a la extensión de 7 m con la ayuda del asistente, para luego introducirla en la piscina rumbo al tubo No. 38 donde estaba la fuente de Co-60 que se debió retirar. Una vez introducida la boquilla y parte de la extensión dentro del tubo, se presionó levemente para capturar la fuente y elevarla lentamente hasta un máximo de 15 cm. medidos del borde superior del tubo hasta la base de la fuente, para luego trasladarla hasta la grilla soporte en el fondo de la piscina. Seguidamente se introdujo a la piscina la telepinza para capturar la fuente y retirar la boquilla. Luego se dejó la fuente en la grilla soporte, hasta su posterior carga autorizada. El irradiador ya sin fuente fue izado con la ayuda del gancho y se le retiraron los cables rotos sobrantes de las clipsas de sujeción. Se instaló el nuevo cable empezando por su aseguramiento al contrapeso, pasándolo por las poleas del circuito, enrollándolo y asegurándolo en el tambor junto al motor de izaje, pasándolo a través de los orificios que unen el techo del bunker con la cámara de irradiación y templándolo en la clipasa de sujeción del irradiador. Se hicieron las pruebas respectivas sin fuente (en frío) revisando el recorrido y las posiciones finales del irradiador. Luego se realizó la carga de la fuente al irradiador con la telepinza y se tapó nuevamente el tubo con la fuente dentro, para realizar las pruebas de izaje y enclavamiento del irradiador en caliente. No hubo ningún incidente ó sobre exposición a la radiación debido a las medidas de seguridad que estuvieron presentes en el desarrollo de cada una de las tareas.

## REFERENCIAS

- 1) IAEA Safety Series No. 107 Radiation Safety of Gamma and Electron Irradiation Facilities. IAEA, Vienna, 1992.

# MEDICION DE LA RADIACION AMBIENTAL EN EL CENTRO NUCLEAR "RACSO" USANDO DOSÍMETROS TERMOLUMINISCENTES

Benavente T. <sup>(1)</sup> [tbenavente@ipen.gob.pe](mailto:tbenavente@ipen.gob.pe); Celedonio E. <sup>(1)</sup> [celedonio@ipen.gob.pe](mailto:celedonio@ipen.gob.pe)

(1) Departamento de Radioprotección y Dosimetría – IPEN / Lima, Perú

## RESUMEN

Para evaluar posibles variaciones significativas en la vecindad del Centro Nuclear "RACSO" se ha medido la radiación ambiental, debida a la radiación gamma, empleando dosímetros termoluminiscentes de fluoruro de calcio activado con disprosio (TLD CaF<sub>2</sub>:Dy). Los TLD fueron ubicados en cuatro estaciones (G, F, A y AZ). Los resultados obtenidos de las tasas de exposición en las direcciones mencionadas, en el año 2002 son: 11,5 µR/h (5,8%); 8,3 µR/h (7,2%); 9,2 µR/h (6,6%), 8,3 µR/h (7,9%), respectivamente.

## CONTENIDO

La medición de la radiación ambiental en la vecindad del Centro Nuclear permite evaluar y garantizar la protección de la población y del medio ambiente, contra los riesgos radiológicos asociados a las radiaciones ionizantes [1].

En el presente estudio se considera que la radiación ambiental está compuesta de la radiación gamma terrestre y la radiación cósmica, y que sólo las radiaciones penetrantes contribuyen a la dosis en los TLD [2]

Las mediciones de radiación ambiental se realizan en cuatro estaciones, cuya ubicación con respecto a la posición del Reactor de Potencia de 10 MW, se muestra en la siguiente Tabla [3]

ESTACION	DISTANCIA (m)	DIRECCION
G	550	S
F	475	SO
A	500	NE
AZ	750	E

Se utilizaron dosímetros termoluminiscentes de CaF<sub>2</sub>: Dy, debido a su alta sensibilidad en el rango de (10<sup>-5</sup> -10<sup>6</sup>) R. Para mejorar la confiabilidad en el resultado de las mediciones, los TLD fueron caracterizados

con <sup>90</sup>Sr y calibrados con <sup>137</sup>Cs, en el LSCD del IPEN.

Las tasas de exposición en las estaciones G, F, A y AZ, en el año 2002, son: 11,5 µR/h (5,8%); 8,3 µR/h (7,2%); 9,2 µR/h (6,6%), 8,3 µR/h (7,9%), respectivamente. Estos han sido calculados con un nivel de confianza del 95%, considerando las correcciones por precisión, calibración y características del material dosimétrico.

Los resultados de la exposición de radiación ambiental muestran una variación menor que el 20,0%, con respecto a los resultados hallados en los estudios pre-operacionales. Asimismo, de las mediciones realizadas durante los últimos cuatro años se obtuvieron variaciones menores al 5 %, con respecto a los resultados hallados en el 2002.

El estudio realizado ha permitido desarrollar una técnica para medir niveles de radiación ambiental y abre la posibilidad de desarrollar estudios similares en diferentes regiones del Perú.

## REFERENCIAS

- (1) Reglamento de Protección Radiológica, IPEN, Mayo, 1997.
- (2) Measurement of dose Equivalents from External Photon and electron Radiations. ICRU, Report 34, March 1992.
- (3) Evaluación de la zona de emplazamiento y del área de influencia del Centro Nuclear de Investigaciones del Perú, CNEA, 1981.
- (4) [4] Benavente T.; Celedonio E. Medición de la Radiación Ambiental en el Centro Nuclear "RACSO" usando TLD Revista de Investigación de Física, UNMSM, Volumen 1, Junio, 1998.

## ***IX. Seguridad Nuclear***

# MEDICIÓN DEL COEFICIENTE DE REACTIVIDAD POR VACIO EN EL NÚCLEO 7A5 DEL REACTOR RP-0

Gómez J. <sup>(1)</sup> [jjgb76@yahoo.com](mailto:jjgb76@yahoo.com); Zapata M. <sup>(1)</sup> [magalybalcazar@yahoo.com](mailto:magalybalcazar@yahoo.com);  
 Bruna R. <sup>(1)</sup> [rbruna@ipen.gob.pe](mailto:rbruna@ipen.gob.pe)

(1) Departamento de Cálculo, Análisis y Seguridad – IPEN / Lima, Perú

## RESUMEN

Se presentan las mediciones experimentales del coeficiente de reactividad por vacío en el moderador del reactor RP-0. Estas mediciones se realizan extrayendo la barra BC4 compensando con la barra de control BC2. Los resultados nos muestran un núcleo no homogéneo en donde en la zona de menor importancia neutrónica se obtiene un promedio de -346.8 pcm / % vacío, así mismo en la zona de mayor importancia neutrónica se obtiene un promedio de -154.8 pcm / % vacío.

aluminio es poco absorbente y dispersor y se parece más al aire. El coeficiente de vacío que se mide depende fuertemente de la cantidad y ubicación de las espadas.

Es necesario realizar correcciones. Si la corrección es pequeña se la puede calcular mediante la teoría de perturbaciones a un grupo de energía. La aplicación al aluminio, usando las constantes obtenidas con el espectro Maxwelliano, se obtiene como factor de corrección  $R = 1,09$ . Sin embargo Ricabarra [1] analiza por teoría de perturbaciones a dos grupos un resultado más coherente  $R = 0.8403$ .

## CALCULOS Y RESULTADOS

Para el cálculo se utiliza la variación de reactividad producida por la formación de una dada cantidad de vacío distribuida homogéneamente en el refrigerante y/o moderador. Como la variación es global se suele expresar en forma relativa:

$$\alpha_v = \frac{1}{V} \frac{\partial \rho}{\partial V}$$

En las mediciones, en general, no es posible lograr esta homogeneización y por lo cual se mide el efecto en la reactividad de una distribución heterogénea de vacío. El coeficiente de vacío se expresa en este

caso como 
$$\alpha_v = \frac{\partial \rho}{\partial V} \quad (1)$$

Se considera el volumen de vacío creado, por el volumen de "espadas" de aluminio introducidas en el núcleo, puesto que el

$$\frac{\Delta \rho}{\% \text{ Vacío}} = \frac{\Delta \rho}{\% \text{ Al}} \times R$$

$\frac{\Delta \rho}{\% \text{ Al}}$  : Valor medido. Es la reactividad inducida por el aluminio.

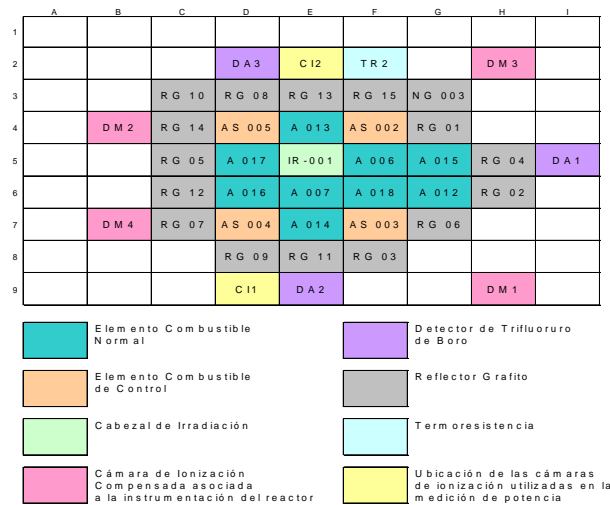
$$R : 0.8403 \pm 10\%$$

### 1. Medición: Zona de menor importancia neutrónica

Nº de espadas: 1 espadas en la posición **E6(3-4)**; con 3 espadas en la posición **E6(3-4)**, **F5(11-12)** y **F6(5-6)**, con 4 espadas se suma la posición **F5(7-8)**.

Posición BC4 extraída (%)	Coeficientes de Vacío	Posición BC2 (%), calculado en pcm		
		1 espadas BC2 (83.1%)	3 espadas BC2 (86.2%)	4 espadas BC2 (88.9%)
	Coeficiente del vacío (pcm/vacío H <sub>2</sub> O)	-331.63	-345.60	-363.27

## NUCLEO 7A5



### 2. Medición: Zona de mayor importancia de neutrones

Nº de espadas: 1 espadas en la posición **D5(7-8)**; con 3 espadas en la posición **D5(7-8)**, **D6(5-6)** y **E4(11-12)**, con 4 espadas se suma la posición **F5(5-6)**.

Posición BC4 extraída (%)	Coeficientes de Vacío	Posición BC2 (%), calculado en pcm		
		1 espadas BC2 (82.2%)	3 espadas BC2 (82.6%)	4 espadas BC2 (85.1%)
		Coeficiente del vacío (pcm/vacío H <sub>2</sub> O)	-41.17	-201.77

Estos resultados son calculados asumiendo un valor de beta efectivo de 0.0078

### REFERENCIA

- (1) G. H. Ricabarra y otros. Determinación experimental indirecta del coeficiente de reactividad del núcleo RA-2 PE01-06-99-0400-0011-fg-0-0.



# COMPARACIÓN TEÓRICO-EXPERIMENTAL DEL EXCESO DE REACTIVIDAD Y FLUJOS TÉRMICOS EN EL NÚCLEO DEL REACTOR RP-10

Cuya T. <sup>(1)</sup> [rcuya@ipen.gob.pe](mailto:rcuya@ipen.gob.pe); Bruna R. <sup>(1)</sup> [rbruna@ipen.gob.pe](mailto:rbruna@ipen.gob.pe)

(1) Departamento de Cálculo, Análisis y Seguridad – IPEN / Lima, Perú

## RESUMEN

En los reactores nucleares el conocimiento de parámetros tales como reactividad y flujos neutrónicos es muy importante desde el punto de vista de la seguridad. El exceso de reactividad nos indica cual es nuestro margen operación y si se hace necesario la introducción de un nuevo elemento combustible o el reordenamiento de los componentes del núcleo con el fin de aumentar la reactividad del mismo. El conocimiento del flujo neutrónico es también relevante ya que ello nos permite optimizar la irradiación y nos da a conocer el factor de forma, el cual nos dice que tan alto es el valor del flujo en la posición mas critica con respecto al valor medio del núcleo. Es por ello que el conocimiento de ambos parámetros cobra vital importancia para la operación segura de un reactor. Uno de las formas más comunes de conocer dichos parámetros es a través del uso de codigos de calculo que haciendo uso de la ecuación de transporte simulan la dinámica del núcleo del reactor.

En el presente trabajo aplicamos una metodología de cálculo neutrónico basada en los codigos WIMS[1], CITATION[2] y de softwares desarrollados en el IPEN tales como SECCION[3] y WIMCIT[4] con el fin de determinar parámetros relevantes a la seguridad del reactor. Presentamos la comparación teórico-experimental de los mismos a lo largo de la evolución del núcleo del RP-10 con el fin de validar la metodología de cálculo propuesta.

Se presentan los valores de reactividad experimentales evaluados en función a dos valores del Beta efectivo,  $\beta_{ef} = 0.0078$  y  $\beta_{ef} = 0.0074$  encontrando así que para el ultimo caso las discrepancias entre calculo y experimento se reducen.

Se muestran los valores de flujos térmicos para el núcleo 17 y 18, y las discrepancias no superan el 10%, esto sin embargo no es

determinante debido a los pocos puntos experimentales con los que se contó. Los resultados a la fecha muestran una discrepancia aceptable de los valores calculados y experimentales y se proponen experimentos adicionales a fin de fortalecer la metodología de cálculo propuesta.

## CONTENIDO

La metodología usada para este fin es la misma que se uso para la determinación de quemado de los elementos combustibles del RP-10[5] y que ha sido aplicada a otros reactores de la región[6].

### Valores Experimentales de reactividad

Los valores experimentales de reactividad en exceso fueron tomados de los archivos del Departamento de Calculo, Análisis y Seguridad del IPEN, solo se pudo conseguir un limitado grupo de valores, por lo que para obtener una mejor estadística, debe contarse con un número mayor de datos experimentales.

**Tabla 1.** Valores experimental y calculados del exceso de reactividad desde el núcleo 17 al 24.

Núcleo	$\rho_{experimental}$	$\rho_{calculado}$
N17[7]	6668.2	6971
n18[8]	5206	4743
n18 fin[9]	4446	4303
n19 inicio[10]	5502.18	5028
N21 fin[11]	2130	4262
N22 inicio[12]	3225	4312
N23 inicio[13]	4460	4411
N23 fin[14]	3206.9	3572
N24 inicio[15]	4915.5	4155

De acuerdo a los resultados de NUKEM[16] para el núcleo de arranque se determino un  $\beta_{ef}$  de 0.0076 y para el núcleo de trabajo de 0.0072, es por ello que se reevalúan los

valores de  $\rho_{\text{experimental}}$  para los siguientes casos (tabla 2):

**Tabla 2.** Valores de reactividad experimentales corregidos para distintos valores de  $\beta_{\text{ef}}$ , reactividad calculada y las diferencias relativas entre ambas para cada núcleo.

No. de orden	Núcleo	$\rho_{\text{Exp}}$	$\rho_{\text{Exp}}^*$	$\rho_{\text{Calculada}}$	% Dif. Rel	%Dif. Rel*
1	N17	6668.2	6326.2	6971.0	4.5	10.2
2	n18	5206.0	4939.0	4743.0	8.9	4.0
3	n18 fin	4446.0	4218.0	4303.0	3.2	2.0
4	n19 inicio	5502.2	5220.0	5028.0	8.6	3.7
5	N23 inicio	4460.0	4231.3	4411.0	1.1	4.2
6	N23 fin	3206.9	3042.4	3572.0	11.4	17.4
7	N24 inicio	4915.5	4663.4	4155.0	15.5	10.9
%Diferencia relativa promedio =					7.6	7.5

(1)  $\rho_{\text{Exp}}$  y % Dif. Rel: Corresponden a  $\beta_{\text{ef}}$  igual a 0.0078

(2)  $\rho_{\text{Exp}}^*$  y % Dif. Rel\*: Corresponde a  $\beta_{\text{ef}}$  igual a 0.0074 (promedio de 0.0076 y 0.0072)

Podemos observar que en el caso (2) las diferencias calculo - experimento disminuyen, esto es debido a que el  $\beta_{\text{ef}}$  varia lentamente de núcleo en núcleo debido a las dimensiones del núcleo, quemado, ubicación de la posiciones de irradiación, etc. La fig.1 muestra el gráfico correspondiente.

### Valores de flujos térmicos

Para la comparación de los flujos térmicos, estos deben ser tomados de posiciones alejadas de las barras de control a fin de minimizar los efectos de apantallamiento. Para este fin se tomaron las posiciones D7 y D6 correspondientes a los elementos combustibles NN-021 y NN-011 para el núcleo 17[17] y 18[18], tal como se muestra en la Fig. del núcleo 17, los elementos NN-021 y NN-011 mantienen esas posiciones en ambos núcleos, tal como lo muestra la fig. 2.

Los valores así obtenidos son mostrados en la tabla 3:

**Tabla 3.** Flujos térmicos experimentales y calculados en las posiciones D6 y D7 de los núcleos 17 y 18.

	Posición D6			Posición D7		
	$\Phi_{\text{experimental}} \times 10^{10}$	$\Phi_{\text{calculado}} \times 10^{10}$	%Dif. Relativa	$\Phi_{\text{experimental}} \times 10^{10}$	$\Phi_{\text{calculado}} \times 10^{10}$	%Dif. Relativa
N17	1.68	1.77	5.1	1.13	1.22	7.6
N18	1.57	1.72	9.5	1.29	1.32	2.4

La comparación entre los flujos térmicos calculados y experimentales muestran una discrepancia que no supera el 10% en el caso mas desfavorable, lo cual podría estar dentro de la incertidumbre asociada en la medición, debe tomarse en cuenta que estos flujos fueron medidos en el canal de agua[17][18] y en el modelo de calculo es calculado en la placa, estos de por si ya introduce una diferencia. Por otro lado solo se cuenta con dos valores experimentales lo cual resulta en una estadística insuficiente, por lo tanto los resultados con respecto a los flujos son referenciales.

### CONCLUSIONES

- (1) Las diferencias calculo-experimento son reducidas en comparación con la metodología de calculo neutrónico anterior.
- (2) Las diferencias entre los valores experimentales y calculados de reactividad y flujos podrían caer dentro de las incertidumbres de las mediciones experimentales, debemos tener presente que las medidas experimentales tomadas de los informes respectivos no presentan los errores asociados a la medición, ni las fuentes de incertidumbre.
- (3) La diferencias podrían estrecharse si se llega a determinar con precisión el valor del beta efectivo actual.
- (4) Los resultados a la fechas son referenciales debido a los pocos valores experimentales con que se ha contado para el presente trabajo. Los resultados podrían mejorar en la medida que las mediciones aumenten y sean más confiables.

## REFERENCIAS

- (1) NEA Databank. WIMS, An Neutronic Code for Standard Lattice Physics Analysis.
- (2) T.B. Fowler. CITATION. Nuclear Reactor Core Analysis, Oak Ridge National Laboratory. 1973.
- (3) T. Cuya SECCION: Programa generador de librerías de constantes nucleares para el código CITATION, R.T: 008-2002-INST/DR/CASE/NT, IPEN, Huarangal, 2002.
- (4) WIMCIT: Un código integrado para caculo de reactores MTR con núcleos mixtos. Reporte en progreso.
- (5) T. Cuya, "Determinación del quemado de los elementos combustibles del RP-10 usando una nueva metodología de calculo neutrónico (núcleos 14 al 24):", RT: 001-2003-INST/DR/CASE/NT, Huarangal Enero del 2003.
- (6) T. Cuya, "Resultados de la ínter comparación teórico experimental del quemado del elemento combustible P04 llevado a cabo en el 2<sup>nd</sup> Workshop sobre Caracterización de Combustibles Gastados RLA4/018", RT:009-2002-INST/DR/CASE/NT, Huarangal, Enero del 2003.
- (7) R. Bruna, "Calibración de Barras del núcleo 17", RT:001-98/DGI/DR/GCAS/LABFER, Huarangal Febrero de 1998
- (8) R. Bruna, "Calibración de Barras del nucleo 18", RT:006-98/DGI/DR/GCAS/LABFER, Huarangal Mayo de 1998
- (9) R. Bruna, "Calibración de Barras del nucleo 18 (final de Ciclo)", RT:009-98/GDI/DR/GCAS/LABFER., Huarangal Noviembre de 1998.
- (10)R. Bruna, "Calibración de Barras del núcleo 19 (inicio de ciclo)", RT:011-98DGI/DR/GCAS/LABFER, Huarangal, Noviembre de 1998.
- (11)R. Bruna, "Calibración de Barras del núcleo 21 (fin de ciclo)", RT:Sin referencia.
- (12)R. Bruna, "Calibración de Barras del núcleo 22 (inicio de ciclo)", RT: DRE/CAS/ME/029-1., Junio del 2001.
- (13) R. Bruna, "Calibración de Barras del núcleo 23 (inicio de ciclo)", RT: DRE/CAS/ME/037-2., Huarangal Mayo del 2002.
- (14) R. Bruna, "Calibración de Barras del núcleo 23 (fin de ciclo)", RT: DRE/CAS/ME/052-1, Huarangal, Setiembre del 2002.
- (15) R. Bruna, "Calibración de Barras del núcleo 24 (inicio de ciclo)", RT: DRE/CAS/ME/057-1., Huarangal, Octubre del 2002.
- (16) Core Analysis Report RP-10., INTERATOM., Centro Nuclear de Huarangal, Lima-Peru
- (17) R. Bruna., et al "Determinación de la Potencia del núcleo 17 del RP-10", Sin referencia., Huarangal, 13 de abril de 1998.
- (18) R. Bruna., et al "Determinación de la Potencia del núcleo 18 del RP-10", RT: 008-98-DGI/DR/GCAS/LABFER, Huarangal, 24 de Septiembre de 1998.

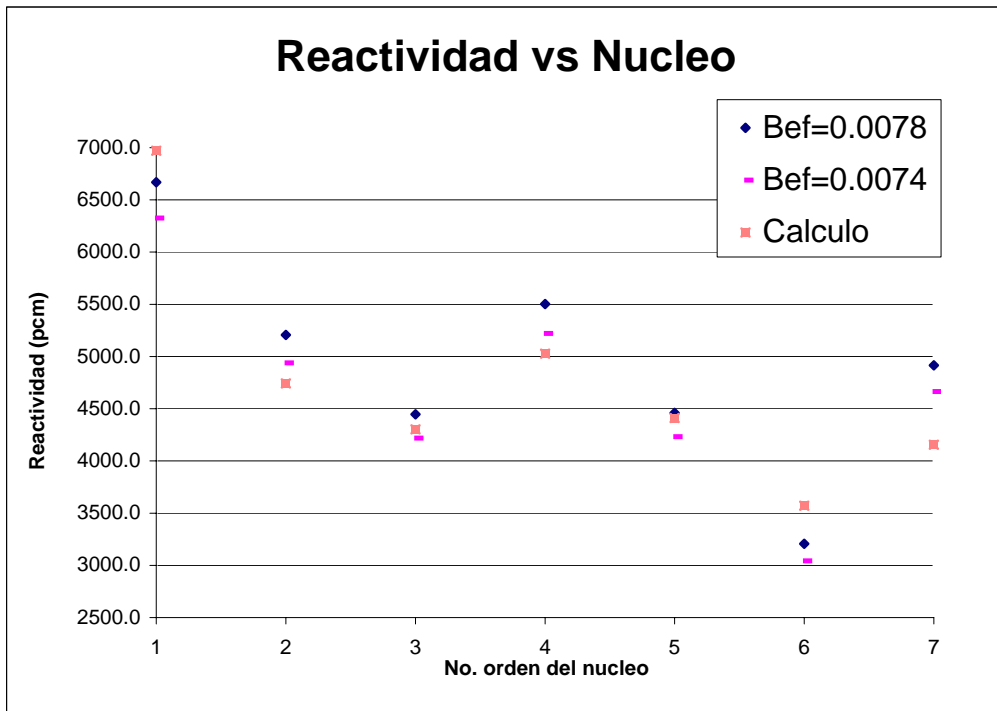


Figura 1. Comparación calculo-experimento del exceso de reactividad para distintos valores de Beta efectivo.

WimCit- Cálculo Neutrónico

Archivo Citation Graficos Windows Ayuda

### Núcleo N° 17 ini

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	-	-	-	NG-004	IR-001	NG-029	IR-002	NG-012	NG-011	-
2	-	NG-005	NB-001	NN-017	NN-006	NN-005	NN-007	NN-018	NB-002	-
3	-	-	NB-003	IR-003	NC-002	NN-001	NC-003	IR-004	NB-004	-
4	-	-	NG-007	NN-013	NN-002	IR-005	NN-003	NN-015	NG-013	-
5	-	-	NG-006	NN-014	NC-004	NN-004	NC-005	NN-016	NG-022	-
6	-	-	NB-005	NN-011	NN-008	NN-009	NN-010	NN-012	NB-006	-
7	-	IR-006	NB-007	NN-021	NN-019	NC-006	NN-020	IR-007	NB-008	-
8	-	-	NG-010	NG-008	IR-008	NG-028	IR-009	ER-001	NG-023	-
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

#### Características

Núcleo N°	17 ini
Lib. Datos	wimcit4g.l
Lib. Quemado	Q17_ini.lib
Potencia (MW)	1.000E-06
Días	0.00
Irrad. (MWD)	0.00
Fecha	22-01-2003

#### Nuevo Elemento

Crear

#### Directorios

- C:\
- wimcit
- n17

#### Archivos

- CITATION.FLU
- CITATION.RST
- Fort.31
- kk.cnf

#### Almacen

NN-022	NN-023	NN-024	NN-025	NN-026	NN-027
NN-028	NN-029	NN-030	NN-031	NN-032	NC-007
NC-008					

#### Pileta

NC-001	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-

Lunes, 27 de Enero de 2003 03:36:56 PM C:\wimcit\n17\n17ini.cnf

Figura 2. Configuración del núcleo 17, el cual muestra la ubicación de los elementos NN-021 y NN-011.

# DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE SEGURIDAD PARA LA CONFIGURACIÓN DE NÚCLEO 7A5 DEL REACTOR RP-0

Zapata M. <sup>(1)</sup> [magalybalcazar@yahoo.com](mailto:magalybalcazar@yahoo.com); Bruna R. <sup>(1)</sup> [rbruna@ipen.gob.pe](mailto:rbruna@ipen.gob.pe);  
Parreño F. <sup>(1)</sup> [fparreno@ipen.gob.pe](mailto:fparreno@ipen.gob.pe); Gómez J. <sup>(1)</sup> [jgb76@yahoo.com](mailto:jgb76@yahoo.com)

(1) Departamento de Cálculo, Análisis y Seguridad – IPEN / Lima, Perú

## RESUMEN

Se presentan los resultados de los parámetros de seguridad medidos (flujo neutrónico, exceso de reactividad, y efectividad de barras de control) para la configuración 7A5 del reactor RP-0. El flujo neutrónico fue determinado utilizando la técnica de activación neutrónica (irradiación de hojuelas de indio como monitores de flujo); mientras que el resto de parámetros fueron determinados por el método de cinética inversa utilizando dos cámaras de ionización compensada (CIC) ubicadas en el núcleo del reactor.

## 1. INTRODUCCIÓN

La puesta en marcha del núcleo 7A5 del reactor RP-0, implicó cambios marcados, debido a que el núcleo actual cuenta con cinco elementos reflectores (grafitos) menos que su predecesor (núcleo 7A4). Con el fin de estimar los cambios de reactividad y distribución de flujo fueron medidos los parámetros de seguridad (exceso de reactividad, efectividad de barras) y el flujo neutrónico por elemento combustible. Estos parámetros de importancia para la operación segura del reactor fueron determinados utilizando métodos experimentales, entre ellos el de activación neutrónica para el caso del flujo y cinética inversa para los cambios de reactividad.

## 2. PARTE EXPERIMENTAL

### Activación Neutrónica

La distribución del flujo térmico en el núcleo, se determinó mediante la irradiación de hojuelas de Indio (monitores de flujo) distribuidas en la dirección axial de espadas de aluminio, las cuales fueron ubicadas entre las placas de los elementos combustibles Normales y de Control.

Para la determinación de flujo epitérmico en el núcleo, algunos monitores son cubiertos con cadmio.

Para la estimación de flujos neutrónicos (Térmico y Epitérmico) se utilizó una cadena de espectrometría gamma, con detector de INa(Tl) 3×3”.

El cálculo de flujos fue determinado utilizando el formalismo de Westcott [1]:

*Flujo térmico de neutrones:*

$$\Phi_{th} = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \cdot \sqrt{\frac{T}{T_0}} \cdot (1 - U \cdot r_w) \cdot \Phi_W$$
$$U = \frac{4}{\sqrt{\mu\pi}}$$

$\mu$  : Factor que empalma las regiones térmicas y epitérmicas.

$\Phi_W$  : Flujo de neutrones de Westcott.

$T$  : Temperatura del neutrón.

$T_0$  : Temperatura del neutrón a 20 °C.

*Flujo epitérmico de neutrones:*

$$\Phi_{epi} = \frac{\Phi_{th}}{\frac{1}{r_w} - U}$$

$r_w$  : Índice espectral de Westcott.

### Cinética Inversa

Mediante cinética Inversa se realizó la calibración de barras de control y se obtuvo el exceso de reactividad del núcleo  $\rho^{EXC}$  por el método de compensación, evaluando la reactividad a través del modelo del reactor puntual (MRP) [2]. Por medio del método de “rod-drop” se obtuvo la efectividad de barras de control  $\beta_0$  para las distintas barras; la estimación se realizó mediante el MRP ( $\beta_{0P}$ ) y cinética espacial modal ( $\beta_{0m}$ ), determinándose también el efecto espacial debido a las ubicaciones de las CIC [3].

En las mediciones se utilizó un sistema de medición constituido por: dos CIC<sub>x</sub>, amplificadores voltaje-voltaje, fuentes de polarización de las cámaras, una PC I con una tarjeta conversora analógica digital;

además de un conjunto de software desarrollados por el grupo de física experimental de reactores (CNEA) [4]. El programa FERCIN1 se utilizó para las calibraciones de las barras, mientras que los programas FERCIN2 y FERCIN4 se utilizaron para la estimación de la efectividad de barras de control. A continuación la configuración 7A5 del RP-0 (figura 1).

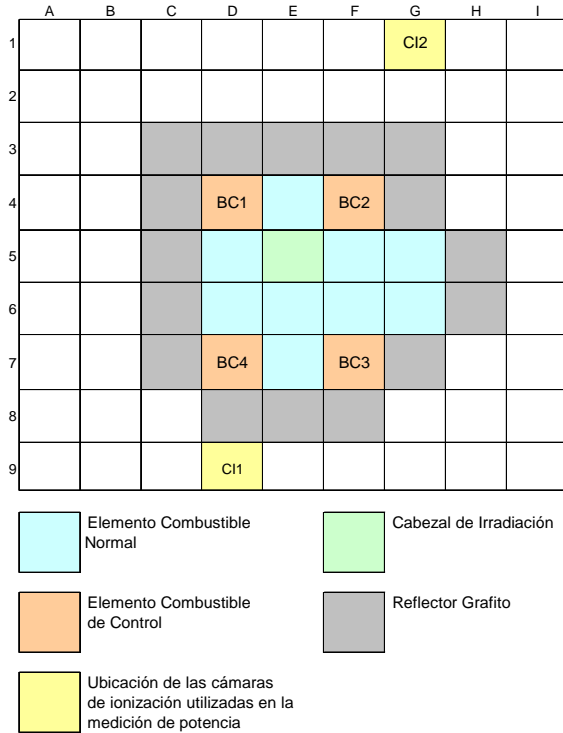


Figura 1. Configuración de núcleo 7A5.

### 3. RESULTADOS

#### Flujo Neutrónico

Para las mediciones de flujo neutrónico se trabajó con las siguientes condiciones mostradas en la tabla 1:

Tabla 1. Condiciones Iniciales.

ICM4 = $0.1 \times 10^{-6}$ Amperios
CIC1 = D9 CIC2 = H4
BC1 = Crítico, BC2 = BC3 = BC4 = 100%
ICM4 = $0.1 \times 10^{-6}$ Amperios
CIC1 = D9 CIC2 = H4
BC1 = Crítico, BC2 = BC3 = BC4 = 100%

A continuación en las figuras 2 y 3 se presentan los resultados de los flujos térmicos y epitérmicos ( $n/cm^2 s$ ) determinados para cada elemento combustible y de control, así como también para el cabezal de irradiación.

Flujos Térmicos

	D	E	F	G
4	$2.89E7 \pm 2.81\%$	$4.10E7 \pm 3.68\%$	$3.39E7 \pm 3.30\%$	
5	$4.92E7 \pm 3.27\%$	$1.33E8 \pm 2.42\%$	$4.91E7 \pm 3.70\%$	$3.58E7 \pm 3.81\%$
6	$4.72E7 \pm 3.54\%$	$5.08E7 \pm 3.67\%$	$4.52E7 \pm 3.72\%$	$4.21E7 \pm 3.53\%$
7	$3.39E7 \pm 3.30\%$	$3.69E7 \pm 3.88\%$	$3.39E7 \pm 3.30\%$	

Figura 2. Flujo Térmico para la configuración 7A5.

Flujos Epitérmicos

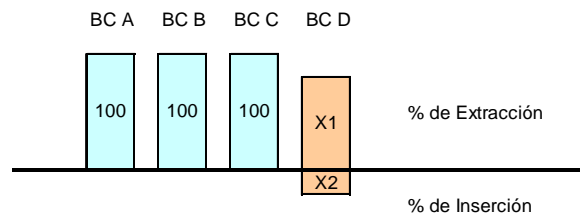
	D	E	F	G
4	$4.83E6 \pm 6.08\%$	$6.18E6 \pm 8.16\%$	$5.68E6 \pm 7.13\%$	
5	$6.52E6 \pm 7.39\%$	$7.09E6 \pm 6.39\%$	$7.86E6 \pm 8.21\%$	$5.98E6 \pm 8.58\%$
6	$6.84E6 \pm 7.90\%$	$8.31E6 \pm 8.18\%$	$8.52E6 \pm 8.25\%$	$6.05E6 \pm 7.96\%$
7	$5.68E6 \pm 7.13\%$	$6.33E6 \pm 8.65\%$	$5.68E6 \pm 7.13\%$	

Figura 3. Flujo Epitérmico para la configuración 7A5.

#### Estimación del exceso de reactividad

Se estimó el exceso de reactividad del núcleo 7A5 con cada barra de control, la figura 4 ilustra la determinación del exceso

#### Estimación del Exceso



El exceso es el porcentaje X2 introducida de la barra de control D.

Figura 4. Ejemplo de configuración de barras.

El valor del exceso se determina extrayendo el porcentaje X2 introducido, esto es la calibración se realiza por pasos insertando una de las barras al 100% extraída y compensando con la barra D. A continuación en la tabla 2 se muestra el exceso de reactividad estimado para cada barra de control.

**Tabla 2.** Exceso de reactividad por barra de control.

ICM4: 0.2 E-7 A		
Barra de Control	Exceso de Reactividad	Ubicación CIC
BC1	0.3709 ± 0.0090	D9
BC2	0.3757 ± 0.0015	
BC3	0.3673 ± 0.0014	
BC4	0.3656 ± 0.0014	

#### Estimación de Efectividad de barras de control

Para el cálculo de la efectividad se deja “caer” las barras (ROD-DROP), tiempo en el cual se realizan registros de la población neutrónica. La tabla 3 muestra los valores de la estimación de la efectividad de barras de control calculados por MRP y el modelo espacial (CEM), así como también el efecto espacial vistos en forma individual por las cámaras CIC1 y CIC2.

**Tabla 3.** Efectividad de barras de Control modelos MRP y CEM.

Ubicación de CIC	\$ <sub>op</sub>	\$ <sub>om</sub>	Efecto espacial (%)	Condiciones Iniciales
BC1(CIC1 -D9)	3.754 ± 0.005	2.952 ± 0.021	27.24	BC3: 81.7%, BC <sub>1,2,4</sub> : 100%
BC1(CIC2 -E2)	2.989 ± 0.004	2.965 ± 0.024	0.89	
BC2(CIC1 -D9)	4.046 ± 0.005	3.907 ± 0.045	3.66	BC4: 76.5%, BC <sub>1,2,3</sub> : 100%
BC2(CIC2 -E2)	5.100 ± 0.011	3.162 ± 0.035	61.41	
BC4(CIC1 -D9)	4.789 ± 0.031	3.281 ± 0.031	46.1	BC2: 78.0%, BC <sub>1,3,4</sub> : 100%
BC4(CIC2 -E2)	3.339 ± 0.003	3.238 ± 0.023	3.21	
BC3(CIC1 -D9)	5.199 ± 0.005	4.808 ± 0.028	8.13	BC1: 76.8%, BC <sub>2,3,4</sub> : 100%
BC3(CIC2 -G1)	4.605 ± 0.005	4.745 ± 0.026	2.95	

#### 4. CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES

- Se determinó los parámetros de seguridad para la configuración 7A5 del RP-0. Se obtuvo el mapa de flujos neutrónicos (Térmico y Epitérmico), el exceso de reactividad y la efectividad de barras de control.

- Los valores del exceso de reactividad con cada barra de control muestran coherencia estadística y se puede concluir que para efectos prácticos basta determinar el exceso con una sola barra de control.

- La determinación de la efectividad de barras es la única manera de conocer el peso total de las barras en el RP-0, dado que es imposible hacer la calibración del total de la barra (ver condiciones iniciales de barras, tabla 1)

- Se comprueba que los efectos espaciales son menores cuando las cámaras se encuentran más alejadas de las barras de control, esto se debe a que se cumple el modelo del reactor puntual (MRP).

- Como sugerencia a posteriores mediciones, se debería de contar con una barra de control fina, para minimizar la fluctuación de la Potencia de Trabajo (ICM4).

#### 5. REFERENCIAS

- (1) M. Zapata, F. Parreño, R. Bruna; IPEN-DGI-CASE “Estimación de Flujos Térmico y Epitérmico en la configuración 7A5 del núcleo del RP0” 2002.
- (2) M. Zapata, F. Parreño, R. Bruna; IPEN-DGI-CASE “Calibración de las Barras de Control del núcleo 7A5 del RP0 por el modelo de reactor puntual (MRP)” 2002.
- (3) M. Zapata, F. Parreño, R. Bruna; IPEN-DGI-CASE “Estimación de la efectividad de las Barras de Control del núcleo 7A5 del RP0 por el modelo del reactor puntual (MRP) y cinética espacial modal (CEM)” 2002.
- (4) Comisión Nacional de Energía Atómica CNEA.C.RCN.MUS.027 “Programas de computación utilizados en la medición de parámetros cinéticos” 1998.
- (5) C. Aparicio. “Estimación de flujos neutrónicos por activación de hojuelas de indio para el núcleo 7A4 del RP-0”. Instituto Peruano de Energía Nuclear. 2001.

- (6) R. Bruna, R. Páucar, M. Vela, Z. Pozo; IPEN-DGI-CASE. "Determinación de la Potencia del Núcleo 18 del RP-10". Instituto Peruano de Energía Nuclear. 1998.
- (7) Gómez A., Waldman R. "A method to reduce space-time effects in the measurement of reactivities by the rod-drop technique". Ann. Nucl. Energy, vol 21, No 10 pp 613-628. 1994.
- (8) Medición de parámetros cinéticos en elRA-4. Angel Gómez. CNEA.C.RCN.ITE. 097



# EFECTOS DE REALIMENTACIÓN EN TRANSITORIOS DE EXCURSIONES DE POTENCIA POR INSERCIONES DE REACTIVIDAD EN EL NÚCLEO 23 DEL REACTOR RP-10

Lázaro G. <sup>(1)</sup> [glazaro@ipen.gob.pe](mailto:glazaro@ipen.gob.pe)

(1) Departamento de Cálculo Análisis y Seguridad Nuclear – IPEN / Lima, Perú

## RESUMEN

El presente informe estudia las consecuencias del accidente por inserción de reactividad al introducirse  $\beta_{1.5}$  en 300ms. Al momento del accidente se tiene crítico el reactor a baja potencia de 5 Watts y refrigerado por convección natural. Las consideraciones asumidas para este transitorio son las mismas de la Ref.(1), salvo que para este estudio se ha considerado un tiempo de retardo de inicio de caída de barras de 90ms. Asimismo se considera como banco de seguridad solo las 3 barras de seguridad que se encuentran fuera del núcleo. Esta consideración es muy conservadora puesto que las dos barras de control parcialmente insertadas serán las primeras en insertar reactividad negativa al núcleo. Otra suposición es considerar en el inventario de combustible el 100% del disponible para la excursión sin considerar que hay un importante quemado de combustible en la configuración que se estudia. Según el mapeo de potencia se considera tres canales en el input del PARET. El primero considera a 6 elementos combustibles, el intermedio 9 y el canal frío 14 elementos combustibles. En esta representación en tres canales se considera para el canal caliente un factor pico de 2.13 y a los dos restantes 1.5 de factor pico. Los coeficientes de reactividad son los evaluados experimentalmente para esta configuración. Se hace también un estudio de la máxima inserción de reactividad por experimentos.

## RESULTADOS

Las variables más importantes para analizar las consecuencias de este accidente están resumidas en dos gráficos de Potencia (Figura 1) y temperaturas (Figura 2) con 110 ms de retardo, adjuntas a este informe. La potencia máxima que se desarrolla es de 351

Mw a los 0.4732s (Figura 1). Sólo se desarrolla un pico de potencia en virtud a que los coeficientes de reactividad actúan deprimiendo el desarrollo del pico de potencia. Al tiempo del pico de potencia se ha liberado 8.1Mw-s que corresponde al 59.7% del total liberado durante el desarrollo de toda la excursión tal como pueden ser observados. La consecuencia de esta abrupta liberación de energía tiene de consecuencia una rápida evolución de temperaturas, de tal manera que al pico de potencia se tiene temperaturas de  $T_{agua}=31.1^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{clad}=170.5^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{fuel}=236.9^{\circ}\text{C}$  (Fig. 2). El régimen de transferencia de calor es de ebullición de transición para el canal caliente y de ebullición nucleada para los dos canales restantes. El pico de temperatura en la vaina,  $T_{clad}=269^{\circ}\text{C}$ , sucede a los 0.4996s, y el pico de temperatura en el combustible,  $T_{fuel}=292.6^{\circ}\text{C}$  sucede a los 0.488 s. Por el balance de reactividades la inestabilidad del flujo neutrónico se da inmediatamente después del pico de potencia. El buen valor de peso de los feedback por temperatura y por vacío induce a un buen control del desarrollo de un segundo pico de potencia tal como el que ocurre en la configuración 21. En este caso aún la potencia y los valores de temperatura son inferiores, pero el régimen de transferencia de calor en estos picos de temperatura es de Transition boiling para los tres canales. Este régimen de transferencia de calor mejora durante la evolución de la excursión de manera que al segundo de iniciada la excursión se tiene un régimen de transferencia de calor de solo con la fase líquida para los tres canales. Se tiene

$T_{agua}=111.1^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{clad}=112.8^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{fuel}=112.9^{\circ}\text{C}$  a los 1.2s observándose un leve descenso hacia los valores de ebullición nucleada con lo que se garantiza una buena emigración del calor generado.

Por lo tanto el accidente desde este punto de vista de simulación no presenta peligro de fusión de la vaina del combustible.

## CONCLUSIONES

- Los efectos de fusión de placa no llegan a darse en este accidente por cuanto la máxima temperatura alcanzada por la vaina es de 306.84°C para el caso 1 y 307.14 para el caso 2. La temperatura de 'softening point' es de 450 °C y la de 'melting point' es de 650 °C[2].
- El escenario del accidente estudiado tiene en cuenta que la condición de refrigeración es por convección natural y que los \$1.5 se insertan en 300ms. Para este caso de convección natural la evolución del accidente es bien controlado por los efectos del feedback y por las barras de seguridad. Se ha observado que para el caso de tener flujo descendente (con las bombas en operación al momento del accidente) este mismo accidente no puede ser controlado (a resultados de la simulación con el PARET) ni por los efectos de realimentación o feedback ni por las barras de seguridad puesto que se tiene regímenes de transferencia de calor muy malos los cuales hacen que la evolución de temperaturas superen los 450 C. Esto sucede por el hecho que la aparición de burbujas tiene un efecto ascendente generando un flujo hacia arriba que se contrapone al flujo dado por las bombas. A la luz de estos resultados las barras de control solo deben ser subidas (poner a crítico el reactor) en convección natural. Posteriormente la subida de potencia con el flujo que den las bombas.

Considerando las consecuencias de este accidente se recomienda como máxima reactividad para experimentos 970 pcm, con un factor de seguridad de 20% con respecto al postulado.

## REFERENCIAS

- (1) Análisis de Transitorios por Inserciones de Reactividad en reactores de Investigación. Tesis de grado de Maestría en Ciencias. Universidad Nacional de Ingeniería. Gerardo Lázaro M. Lima 1995.
- (2) Comunicación por correo electrónico Reed Burn. Universidad de Michigan-USA.

**EXCURSION DE POTENCIA por INSERCIÓN DE REACTIVIDAD  
RP10-A24/29(NUCLEO 23)**

*\$1.5/300ms,  $\tau=110ms$ , 1C6E, CNat, Po=5Watts, Scram:12Mw, 1/To=73.98(1/s)*

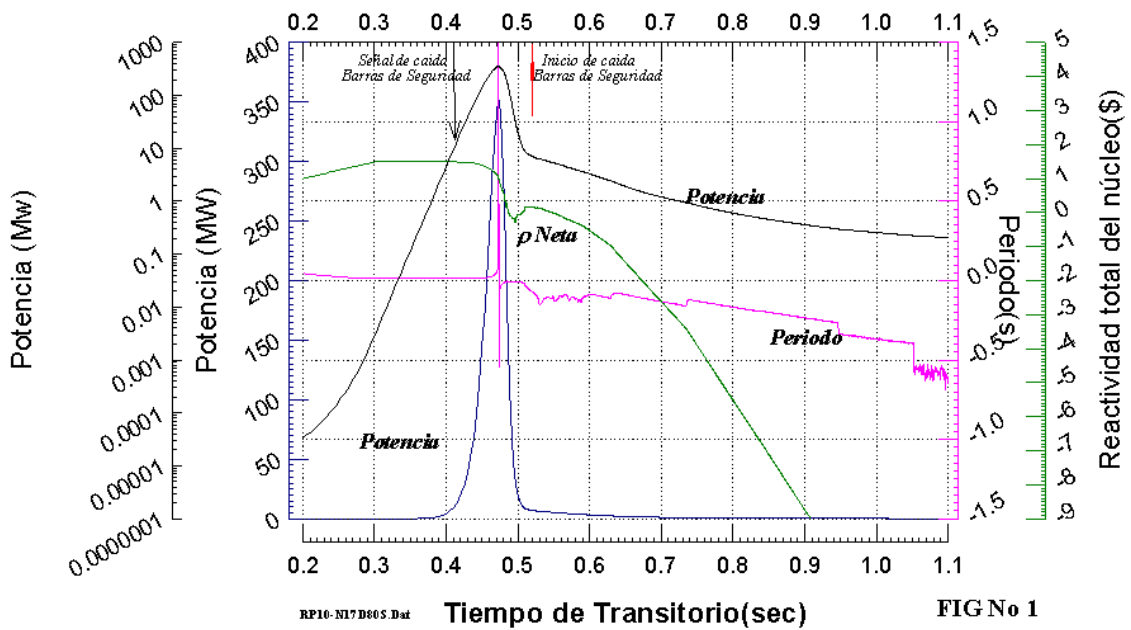


Figura 1.

**ACCIDENTE POR INSERCIÓN DE REACTIVIDAD  
RP10-A124/29(NUCLEO 23)**

*retardo=110ms, 1<sup>er</sup> canal C6E, 1/ $\tau$  =73.98 s, Po=5Watts, Scram: =12Mw, CNat*

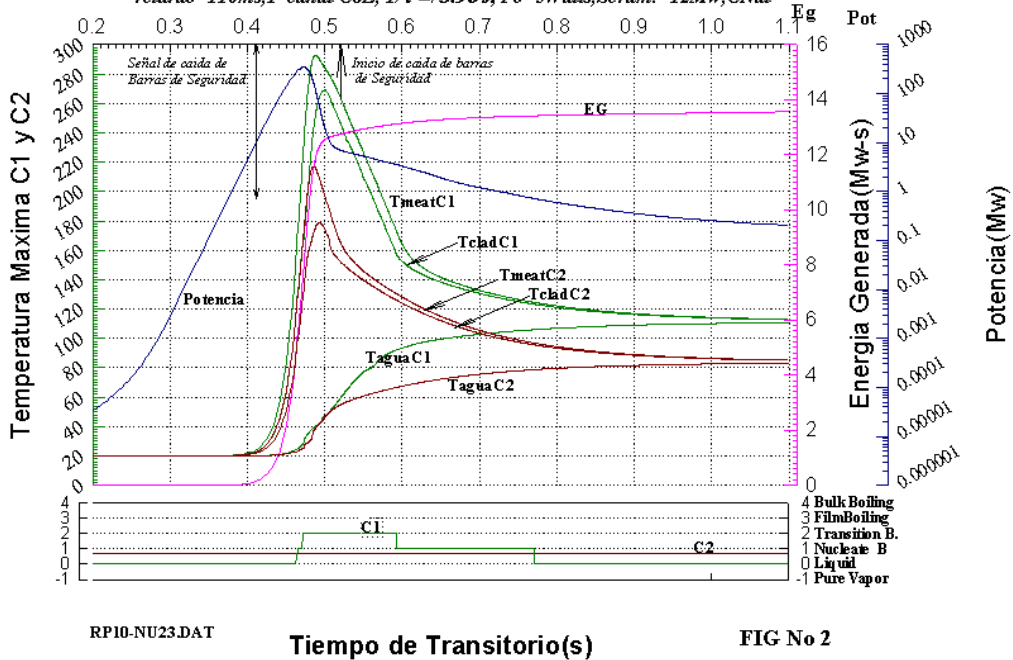


Figura 2.

## ***X. Aspectos de Gestión***

# PARTICIPACIÓN EN ENSAYOS DE APTITUD INTERLABORATORIOS PARA EL ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DE LOS RESULTADOS DEL ANÁLISIS RADIOMÉTRICO DE MUESTRAS AMBIENTALES Y DE ALIMENTOS

López E. <sup>(1)</sup>; Osores J. <sup>(1)</sup> [josores@ipen.gob.pe](mailto:josores@ipen.gob.pe);  
González S. <sup>(1)</sup> [sgonzales@ipen.gob.pe](mailto:sgonzales@ipen.gob.pe); Martínez J. <sup>(1)</sup>

*(1) Departamento de Control Ambiental - IPEN / Lima, Perú*

## RESUMEN

Con el fin de asegurar la calidad de sus resultados analíticos, el Departamento de Control Ambiental (COAM) participa en Ensayos de Aptitud Interlaboratorios como parte de su Política de Calidad. En este reporte se demuestra que los resultados de los ensayos radiométricos presentan un adecuado nivel de confiabilidad.

## ABSTRACT

In order to assure the quality of its analytical results, the Department of Environmental Control participates in Interlaboratory Proficiency Tests, as part of its Quality Policy. This report shows that the results obtained from the radiometric assays have an adequate level of reliance.

## 1. ANTECEDENTES

El análisis de radionucleidos presentes en una muestra, comprende un proceso que se inicia a partir de la toma de muestra hasta la obtención de resultados. El nivel de confianza de este resultado es función de su precisión (reproducibilidad) y de su exactitud (proximidad al valor real). La precisión puede determinarse utilizando patrones certificados y la exactitud, participando en ensayos de aptitud (ejercicios de comparación) entre laboratorios con matrices similares, en composición y concentración a las muestras de rutina del laboratorio.

La participación en ensayos de aptitud constituye una vía objetiva para evaluar en forma independiente el desempeño técnico y la capacidad analítica de los laboratorios, siendo un requisito fundamental para el aseguramiento de la calidad de los resultados analíticos en laboratorios que

han implementado su sistema de calidad en base a la Norma ISO/IEC 17025 (1).

En el año 2000, COAM ha implantado su sistema de calidad en base a la Norma ISO/IEC 17025, habiendo obtenido un Certificado de Reconocimiento por parte del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA).

Entre las actividades que realiza COAM, se encuentra el servicio de análisis radiométrico de alimentos a usuarios externos. Este control es requerido para diversos fines comerciales tales como la importación, exportación y licitaciones.

El Laboratorio de Radiometría de COAM es el único en el Perú que brinda el servicio de análisis radiométrico a la comunidad, por lo que las intercomparaciones deben de ser de índole internacional.

COAM ha participado en diferentes ensayos de intercomparación organizados por el OIEA a través de sus proyectos ARCAL (Acuerdo Regional de Cooperación para la Promoción de la Ciencia y la Tecnología Nucleares en América Latina y el Caribe) para evaluar el desempeño de los laboratorios participantes en base a criterios cuantitativos. En este trabajo se muestran los resultados de la participación en dos ensayos de aptitud en muestras ambientales (suelo y sedimento marino) y alimentos (leche).

## 2. MATERIAL Y MÉTODOS

1) Ensayo de aptitud ARCAL XXVI (3):  
Material utilizado: IAEA-321, leche en polvo).  
Radionucleidos analizados: Cs-137 y Sr-90.

## 2) Ensayo de aptitud ARCAL XLI (4):

2.1. Material utilizado: IAEA-152, leche en polvo.

Radionucleidos analizados: Cs-137 y Sr-90.

2.2. Material utilizado: IAEA 135, Sedimento marino.

Radionucleidos analizados: Cs-137, Am-241, Ra-226 y K-40.

2.3. Material utilizado: IAEA-375, Suelo

Radionucleidos analizados: Cs-137, Ra-226, K-40, Sr-90.

La evaluación se realizó a través del indicador Z-Score, que clasifica a los resultados como satisfactorios o insatisfactorios (2). El indicador Z-Score es un estimador del error sistemático total de los resultados en términos de la variabilidad o desviación aceptada y se define como:

$$Z = x - X / s$$

Donde :

x : Determinación realizada por el laboratorio

X : Valor de referencia aceptado.

s : Estimador de la medida de variabilidad aceptado.

Se consideran resultados satisfactorios cuando los valores de Z son inferiores o iguales a 2; cuestionables, cuando Z se encuentra entre 2 y 3 e insatisfactorios cuando los valores de Z son superiores o iguales a 3.

## 3. RESULTADOS

**Tabla 1.** Resultados del Ensayo de Aptitud en Muestra de Referencia IAEA-321-Leche en Polvo (ARCAL XXVI).

Radio-nucleido	Actividad certificada (Bq/kg)	Resultado laboratorio (Bq/kg)	Z- Score
Cs-137	72,6	56,16	-0,1493
Sr-90	3,3	2,11	1,5688

**Tabla 2.** Resultados de Ensayo de Aptitud ARCAL XLI.

Radionu-cleido	Material de Referencia	Actividad certificada (Bq/kg)	Resultado laboratorio (Bq/kg)
Cs-137	IAEA 152	1602	1609,74
S-90	IAEA-152	5,7	4,75
Cs-137	IAEA-135	921	916,6
Am-241	IAEA-135	314	309,5
Ra-226	IAEA-135	14	20,7
K-40	IAEA-135	560	560,6
Cs-137	IAEA-375	4391	4667,5
K-40	IAEA-375	424	412,7
Ra-226	IAEA-375	19,9	20,8
Sr-90	IAEA-375	89	141,2

**Tabla 3.** Evaluación Integral del Laboratorio COAM en el Ensayo de Aptitud ARCAL XLI.

Laboratorio	Indicador Z absoluto medio	% determinaciones satisfactorias
PERU	0,27	100

## 4. CONCLUSIONES

El laboratorio de radiactividad ambiental de COAM ha obtenido resultados satisfactorios en los ensayos de aptitud para análisis radiométricos en matrices ambientales y de alimentos.

Se ha verificado que los resultados del análisis radiométrico presentan un adecuado nivel de confiabilidad.

## 5. REFERENCIAS

- (1) ISO/IEC 17025 "Requisitos Generales para la Competencia Técnica de los Laboratorios de Calibración y Ensayo", 1999.
- (2) ISO/IEC 43 "Proficiency Testing by Interlaboratory Comparisons", 1997
- (3) Cortés, E.; Gras, N. "Informe de Ensayo de Aptitud ARCAL XXVI", 2000.
- (4) Morales, J. "Informe de Ensayo de Aptitud ARCAL XLI", 2001.

# EL CONSUMIDOR LIMEÑO Y SU GRADO DE INFORMACIÓN Y ACEPTACIÓN DE LOS ALIMENTOS CONSERVADOS POR IRRADIACIÓN

Prado A. <sup>(1, 2)</sup> [aprado@ipen.gob.pe](mailto:aprado@ipen.gob.pe)

(1) Centro de Información y Documentación – IPEN / Lima, Perú

(2) Escuela de Graduados - Comunicaciones - Pontificia Universidad Católica del Perú

*Keywords: PUBLIC OPINION – FOOD PROCESSING – COMMERCIALIZATION - PUBLIC INFORMATION*

## RESUMEN

Se presentan los resultados de una investigación sobre el consumidor limeño y su grado de información acerca de la conservación de los alimentos procesados mediante la irradiación gamma y su grado de aceptación para su consumo.

## 1. INTRODUCCIÓN

La conservación de alimentos mediante la irradiación gamma es usada comercialmente desde hace 35 años en los mercados de la Unión Europea y los Estados Unidos. La experiencia internacional da cuenta que los países tuvieron que afrontar dificultades en su aceptación, por una opinión pública altamente sensibilizada con la tecnología nuclear.

En nuestra Región, países como Brasil, Argentina, Chile y México la han introducido recientemente como una alternativa a las técnicas convencionales de conservación, promoviendo una adecuada legislación y normativa.

En nuestro país, desde hace un lustro se viene procesando la tecnología comercialmente orientado a la exportación de diversos productos agroindustriales. La creciente exigencia de los controles fitosanitarios y la calidad de los alimentos, condicionan que las empresas empleen tecnologías inocuas y aceptadas por el consumidor.

En nuestro medio no se ha realizado investigaciones sobre la aceptación pública de los alimentos tratados con esta tecnología. La comercialización masiva de alimentos tratados con esta tecnología, requiere de un profundo conocimiento de las peculiaridades del consumidor nacional.

El presente estudio realizado en la ciudad de Lima (septiembre-diciembre 2002) postula determinar, si existen diferencias en el grado de información del consumidor limeño sobre los alimentos irradiados, en función a sus niveles socio-económicos y de género. Igualmente, el grado de aceptación futura para consumir los alimentos procesados con irradiación, en función a los niveles socio-económicos y de género.

La aplicación de la encuesta se realizó en los alrededores de los supermercados Santa Isabel (Av. Circunvalación, Salamanca-Ate), Plaza Veá (Jockey Plaza y San Borja), Wong (San Borja), Metro (Av. Canadá y Torres de Limatambo), al público consumidor concurrente a dichos establecimientos durante los fines de semana. Igualmente, parte de la encuesta fue aplicada en los alrededores de los Mercadillos Populares de Yerbateros y San Luis.

## 2. MARCO HISTÓRICO Y TEÓRICO

La aparición con fines bélicos de la energía nuclear dio origen a una fuerte controversia respecto a esta tecnología, principalmente en los países que cuentan con programas nucleares de importancia. A este rechazo, han contribuido los accidentes nucleares de Three Miles (USA, 1974) y Chernobyl (Ucrania, 1986), el problema de la deposición final de los desechos radiactivos y los accidentes radiológicos como los ocurridos en Goiania (Brasil, 1988), San Salvador (El Salvador, 1989), Soreq (Israel, 1990), Lilo (Lilo (Georgia, 1998), Istanbul, (Turquía, 1998) y Yanango (Perú, 1999), entre otros.

Históricamente, podemos señalar que han surgido diversos modos de reacción de la opinión pública frente a la tecnología nuclear. En los Estados Unidos (1960) surge la preocupación por los temas nucleares, a raíz del pronunciamiento de un grupo de

científicos<sup>(1)</sup>, que denunciaron que sólo la actividad nuclear produciría 16,000 casos extras de cáncer en ese país.

En Alemania las personas con pensamientos antinucleares, se componen generalmente en pequeños grupos, con gran capacidad articulación entre sí, en su mayoría con motivaciones éticas y preocupación por el medio ambiente.

Rodríguez López en su estudio "La Opinión Pública y las Centrales Nucleares", señala como excepción el caso de Inglaterra, que a pesar de tener un intenso y activo programa nuclear, no sufre una fuerte oposición de grupos antinucleares.

En España la oposición tiene un matiz político, donde hay una activa participación de los grupos separatistas Vascos y el ETA.

En países Latinoamericanos como Brasil, Argentina, México, Chile y Perú no se perciben reacciones antinucleares de grupos organizados, sino únicamente opiniones eventuales de personalidades individuales.

Es por ello, que el tema de la comercialización de alimentos irradiados, requiere de un estudio muy pormenorizado. A partir de 1970<sup>(2)</sup> se presta mucha atención a las pruebas de la comestibilidad de los alimentos irradiados, sus fundamentos científicos y la reacción de los consumidores.

A nivel de Sudamérica, Chile<sup>(3)</sup> en 1974 realiza las primeras actividades relacionadas con la comercialización de alimentos irradiados, cuando el Ministerio de Salud de ese país acoge favorablemente un pedido de la Comisión Chilena de Energía Nuclear, para realizar un estudio de aceptación para el público consumidor de papas irradiadas. El estudio mostró una buena predisposición e interés por parte del consumidor chileno a los productos irradiados.

El Departamento de Energía de los Estados Unidos-DOE<sup>(4)</sup> en 1983 publica el resultado de diversos estudios realizados para determinar la viabilidad de un programa de irradiación para la carne porcina. El estudio señala que se carece de datos concluyentes sobre la aceptación por los consumidores de los alimentos irradiados. Sin embargo, una de sus conclusiones indica que no existe ningún obstáculo insalvable, desde el punto de vista de la aceptación social, para el

consumo de carne porcina tratada con irradiación para combatir la triquinosis.

En España<sup>(5)</sup> en 1983 un estudio realizado por la Junta de Energía Nuclear, considera que uno de los factores que frena la aplicación práctica de la irradiación de alimentos son los factores psicológicos, como la suspicacia del público contra cualquier nuevo método de conservación, en especial si está relacionado con la energía nuclear.

Analizando estos problemas se deduce que la reacción contraria al consumo de alimentos irradiados, sólo puede entenderse por una falta de información al público. El mismo estudio recomienda<sup>(5)</sup>, que para evitar los problemas de comercialización de alimentos irradiados en los países, su introducción debe estar a cargo de una entidad o grupo de expertos especializados y se deben establecer campañas de información a los consumidores, antes de presentar los alimentos irradiados en el mercado.

Tecnológicamente la comercialización de los alimentos irradiados, ha sido aprobada por numerosos países; sin embargo, la reacción del consumidor es un factor decisivo para la adopción exitosa de esta tecnología<sup>(6)</sup>, se ha puesto énfasis en el estudio de las actitudes y en su percepción sobre la irradiación. El primer estudio<sup>(6)</sup> para medir la reacción del consumidor estadounidense y sus decisiones de compra hacia los alimentos irradiados, nos indica una gran aceptación del producto, sin embargo, el estudio recomienda que se necesita una mayor difusión e información sobre el proceso en sí.

En Argentina<sup>(7)</sup> un estudio realizado sobre la aceptabilidad de alimentos irradiados, señala que la comercialización de alimentos irradiados debe ir precedida por una campaña previa de difusión, para evitar las dudas o rechazos en el consumidor.

Asimismo, el estudio señala que existe una buena predisposición hacia el consumo de los alimentos irradiados y recomienda la necesidad de reafirmarla e incrementarla mediante una mayor difusión, insistiendo en el concepto de seguridad e inocuidad del consumo de los alimentos irradiados.

Un estudio desarrollado en 1983<sup>(8)</sup> recomienda que los Expertos del Campo de la Comunicación, Comercialización y del



Comportamiento, deberían preocuparse por el análisis de la actitud de la humanidad hacia los alimentos irradiados. El estudio señala que muchos consumidores temen que sus alimentos se encuentren sometidos a procesos químico-tóxicos, que puedan ocasionar en el futuro daño a su salud, especialmente si son cancerígenos. Este sentimiento de fobia, a menudo, se pretende justificar racionalmente con quejas infundadas.

En nuestro país, hasta la fecha no se ha realizado ningún estudio específico sobre la aceptación de los alimentos irradiados por parte del consumidor limeño; a pesar, que desde abril de 1996 se encuentra operando la Planta de Irradiación Multiuso (PIMU) de Alimentos operada por la empresa INMUNE S.A.<sup>(9)</sup>, que procesa diversos productos orientados fundamentalmente a la exportación. Según datos de esta empresa, sólo en el año 2001 se han procesado 530,000 kg. de diversos productos, como hierbas medicinales (manzanilla, boldo, uña de gato), filtrantes, colorantes orgánicos, productos deshidratados, condimentos, especias, etc. Saldo de esta oferta se estaría comercializando también en el mercado limeño, principalmente en las grandes cadenas de supermercados como Wong, Metro, Plaza Veja, entre otros.

#### **Alcances Teóricos:**

La irradiación de alimentos emplea la energía ionizante de naturaleza electromagnética, similar a los rayos-X, luz ultravioleta, luz solar o rayos infrarrojos. Posee las siguientes características: es un tratamiento físico de acción de luz o energía electromagnética que no tiene efecto residual; presenta una alta penetrabilidad en los productos que permite tratar alimentos a granel o en cualquier tipo de envases, inclusive enlatados; el tratamiento no produce ninguna elevación de la temperatura en el producto, ni varía el contenido proteico y nutricional del mismo; el tratamiento es comparable al de calentamiento (cocción) o congelación con fines de conservación, siendo la única característica especial, el tipo de energía que emplea y puede ser consumido inmediatamente después del tratamiento. De acuerdo con estas características la irradiación de alimentos es empleada para retardar la maduración de tubérculos, bulbos, frutas y hortalizas; la eliminación de insectos en granos, cereales y derivados; eliminación de microorganismos en alimentos como la carne. Dentro de este

rubro, también se considera a la esterilización de productos médicos.

La formación de la Opinión Pública tiene como bases teóricas los estudios de las creencias, actitudes intenciones y comportamientos. La principal dificultad<sup>(10)</sup> de las ciencias de la comunicación y la psicología social ha sido la incapacidad de reconocer que las creencias, actitudes, intenciones y comportamientos son variables, diferentes y que poseen diferentes determinantes, pero presentan relaciones estables y sistemáticas entre sí.

Actitud. Generalmente este concepto se ha utilizado en un sentido muy genérico, para referirse no sólo a los sentimientos afectivos o de evaluación de una persona sobre algún objeto, sino también a las creencias (cogniciones) acerca del objeto, así como también a las intenciones de comportamiento de dicha persona (voliciones) con respecto al objeto. Por lo tanto, las investigaciones sobre actitud inducían a confusión, ya que lo que se consideraba como medida de actitud a menudo era en realidad una medida de las creencias, intenciones o comportamientos.

El enfoque actual para el estudio de actitud, es definirla como un juicio bipolar de evaluación del objeto, según el cual, una persona siente o no inclinación por un objeto, considera que el objeto o el producto es bueno o malo, lo estima agradable o no. El término "objeto", es usado en sentido genérico: se puede tener actitudes hacia conceptos, personas, instituciones, acontecimientos, comportamientos o hacia productos alimenticios, como es el caso del presente estudio.

Creencia. Es entendida como un juicio de probabilidad, que vincula algún objeto o concepto con algún atributo. Los términos objeto y atributo, se utilizan en sentido genérico. Por ejemplo, una persona podría creer, que un alimento irradiado (objeto) es caro (atributo). El contenido de la creencia, viene definido por el objeto y el tributo de los que se trata y la fuerza de la creencia, se define por la probabilidad subjetiva de la persona, de que existe una relación objeto-atributo o de que esta relación sea cierta.

Intención. Es un juicio de probabilidad, que establece una relación entre la persona y una acción concreta.

Para la formación de la actitud, los comunicadores sociales señalan que el conocimiento de las creencias de una persona acerca de un objeto y la evaluación de los atributos del mismo, permiten predecir con exactitud su actitud ante ese objeto. Es decir, la actitud de una persona frente a cualquier objeto está en función de sus creencias acerca de ese objeto, calificadas por las evaluaciones de dichos atributos. Sin embargo, es el conjunto total de creencias características, lo que determina la actitud y no una creencia concreta. Una vez formada una actitud, la persona está predispuesta a varios tipos de comportamiento con respecto al objeto. Cabe señalar, que si bien su actitud le predispone a un conjunto de comportamientos, no le predispone a un comportamiento concreto.

### 3. METODO

A una muestra simple y al azar de N=120 (Tabla 1) con un nivel de significación de  $\alpha$  0,05, se ha aplicado una encuesta con la finalidad de corroborar las inferencias si los consumidores limeños pertenecientes a los niveles socio-económicos altos A y B, están más informados que los consumidores pertenecientes a los niveles socio-económicos bajos C y D, además si los consumidores limeños pertenecientes a los

niveles socio-económicos altos A y B, muestran mayor aceptación para consumir alimentos irradiados que los consumidores pertenecientes a los niveles socio-económicos bajos C y D. El diseño aplicado es el no experimental transeccional y correlacional. La prueba de análisis estadístico inductivo utilizado para contrastar las inferencias fue la prueba no paramétrica de la Ji cuadrada ( $\chi^2$ ).

Las edades de los consumidores encuestados se ubican en un rango entre los 24 y 75 años, por constituir el público consumidor con decisión de compra. La encuesta fue aplicada de acuerdo con la siguiente distribución:

- a) Nivel Socio-económico A: Supermercado Plaza Vea (Jockey Plaza Shopping Center) y Wong de San Borja.
- b) Nivel Socio-económico B: Supermercado Wong-San Borja)
- c) Nivel Socio-económico C: Tiendas Metro (Torres de Limatambo y Av. Canadá), Santa Isabel (Salamanca)
- d) Nivel Socio-económico D: Mercado Minorista de San Luis y Mercadillo Yerbateros.

**Tabla 1.** Distribución de la muestra de acuerdo a nivel socio económico y sexo.

Niveles Socio-Económicos	SEXO		TOTAL
	M	F	
Nivel A: Elevado poder adquisitivo	15	15	30
Nivel B: Alto poder adquisitivo	15	15	30
Nivel C Poder adquisitivo razonable	15	15	30
Nivel D: Escasos Recursos Económicos	15	15	30
<b>TOTAL</b>	<b>60</b>	<b>60</b>	<b>120</b>

### 4. RESULTADOS

Solo el 10,8% del total de encuestados ha tenido algún tipo de información sobre los alimentos irradiados, mientras que el 89,2% no ha tenido ningún tipo de información sobre el tema.

De acuerdo con los niveles socio-económicos y su relación con el nivel de información sobre la conservación de alimentos, vemos que el 80% de los encuestados pertenecientes a los niveles

socio-económicos A y B, no conoce ninguna información sobre el tema, solamente un 20% manifiesta tener algún grado de información. Por el contrario, el 98% de los consumidores pertenecientes a los niveles C y D no conoce el método y apenas un 2% afirma saber algo sobre el tema.

Con relación a las respuestas en función al sexo de los consumidores, encontramos que solo el 3,3% de las mujeres manifestó haber tenido información sobre la

conservación de alimentos por irradiación, mientras que el 96,7% desconocía su existencia. En caso de los hombres, el

18,3% respondió afirmativamente y el 81,7% negativamente. (Tabla 2).

**Tabla 2.** Matriz General de Datos con los niveles socio-económicos y sexo sobre el conocimiento de la conservación de alimentos con irradiación.

Nivel socio-económico	Consumidores –Sexo			Respuesta Positiva			Respuesta Negativa		
	M	F	TOTAL	M	F	TOTAL	M	F	TOTAL
Nivel A	15	15	30	6	1	7	9	14	23
Nivel B	15	15	30	4	1	5	11	14	25
Nivel C	15	15	30	1	0	1	14	15	29
Nivel D	15	15	30	0	0	0	15	15	30
<b>TOTAL</b>	<b>60</b>	<b>60</b>	<b>120</b>	<b>11</b>	<b>2</b>	<b>13</b>	<b>49</b>	<b>58</b>	<b>107</b>

Sobre la posibilidad de consumir alimentos conservados por irradiación en un escenario futuro, el 41,7% contestó afirmativamente, el 47,5% en forma negativa y un 10,8% dudó en aceptar este proceso.

En función a los niveles socio-económicos, el 68% de los consumidores pertenecientes a los niveles A-B respondió afirmativamente frente a un 15% de personas pertenecientes a los niveles C-D. El 18% de consumidores pertenecientes a los niveles A-B manifestó su negativa de consumirla frente a un 76,7% de los consumidores pertenecientes a los niveles

C-D. Los indecisos pertenecientes al nivel A-B representan el 13,3% y los pertenecientes al nivel C-D representan el 8,3%.

Con relación a las respuestas en función al sexo de los consumidores y la posibilidad de aceptar consumir alimentos procesados con irradiación, un 48,3% de los hombres respondió afirmativamente, un 40% negativamente y un 11,7% mostró su duda. En el caso de las mujeres el 35% respondió afirmativamente, un 55% negativamente y un 10% manifestó su duda. (Tabla 3).

**Tabla 3.** Matriz General de Datos con niveles socio-económicos, sexo y aceptación para consumir alimentos conservados con irradiación.

Nivel socio-económico	Consumidores –Sexo			Respuesta Positiva			Respuesta Negativa			Indecisos		
	M	F	TOTAL	M	F	TOTAL	M	F	TOTAL	M	F	TOTAL
Nivel A	15	15	30	12	10	22	2	3	5	1	2	3
Nivel B	15	15	30	10	9	19	1	5	6	4	1	5
Nivel C	15	15	30	5	2	7	8	11	19	2	2	4
Nivel D	15	15	30	2	0	2	13	14	27	0	1	1
<b>TOTAL</b>	<b>60</b>	<b>60</b>	<b>120</b>	<b>29</b>	<b>21</b>	<b>50</b>	<b>24</b>	<b>33</b>	<b>57</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>13</b>

## 5. CONCLUSIONES

No obstante que la presente investigación constituye en si mismo solo una aproximación al tema, podemos establecer las siguientes conclusiones:

- Los consumidores limeños de los distintos niveles socio-económicos no presentan diferencias en cuanto a su

nivel de información respecto a los alimentos irradiados.

- Una gran mayoría de los consumidores limeños no tiene conocimiento de lo que son los alimentos irradiados. Dentro de esta situación, se identifica una ligera diferencia en el grado de información a favor de los consumidores pertenecientes a los niveles socio-económicos A-B frente a los consumidores de los niveles C-D.

- Los consumidores pertenecientes a los niveles socio-económicos A-B muestran una mayor aceptación a la posibilidad de consumir alimentos procesados con irradiación frente a los consumidores pertenecientes a los niveles-económicos C-D que manifiestan un alto nivel de rechazo. Igualmente, se encontró que un segmento importante de los consumidores presentan dudas frente a esta posibilidad.
- No se ha encontrado una diferencia significativa entre los consumidores limeños de sexo masculino y femenino con relación al grado de información sobre los alimentos irradiados. Asimismo, los consumidores limeños de sexo masculino muestran una mayor aceptación a la posibilidad de consumir alimentos procesados con irradiación frente a los consumidores de sexo femenino.

## 6. REFERENCIAS

1. NOROÑA, P.H.; Opinión Pública y Respuesta Antinuclear. INIS-MF 6041, Río de Janeiro, 1978.
2. VAN KOOIJ, J.B.; Panorama de las Autorizaciones Concedidas por los Gobiernos para los Alimentos Irradiados. International Atomic Energy Agency, TECDOC-331, Viena, 1983.
3. RUBIO CABELLO, W.T.; Irradiación de Alimentos en Chile. International Atomic Energy Agency, TECDOC-331, Viena, 1983.
4. SIVINSKI, J.S.; Transferencia a la Industria del Tratamiento de Alimentos por Irradiación.
5. ORTIN, N.; Factibilidad Técnico Económica y Perspectivas Comerciales de la Irradiación de Alimentos. JEN, España, 1983.
6. BRUÑÍ, C.M., NOELL, J.W.; Reacción de consumidor frente a las papayas irradiadas. Rev. Tecnología Alimentaría, Septiembre, 1987.
7. LESCANO, G.; Aceptabilidad de alimentos irradiados. Comisión Nacional de Energía Atómica, Argentina, 1987.
8. MOSSEL, D.A.; Protección del consumidor frente a las enfermedades entéricas febriles causadas por alimentos de origen animal. Universidad Nacional Mayor de san Marcos, Lima, 1985.
9. INMUNE S.A.; Informe Anual 2001. Lima, 2001.
10. OTWAY, H.; La Opinión Pública y la Energía Nucleoeléctrica. Boletín OIEA 18 (5/6), 1976.

# GESTION DEL CONOCIMIENTO

Condori J. <sup>(1)</sup> [jcondori@ipen.gob.pe](mailto:jcondori@ipen.gob.pe); Kinas D. <sup>(2)</sup> [danikinas@yahoo.com.ar](mailto:danikinas@yahoo.com.ar)

*(1) Dirección de Aplicaciones – IPEN / Lima, Perú*

*(2) Instituição do Governo Federal com sede em Porto Alegre – RS e sede pólo em Brasília-DF.  
URI – Rio Grande do Sul – Brasil*

## RESUMEN

La gestión del conocimiento es un proceso por el cual la organización genera riquezas en base del empleo intensivo del conocimiento para generar procesos más eficientes y efectivos y productos innovados con alto valor agregado, convirtiéndose así, el conocimiento como un nuevo factor de la producción, en adición a los clásicos (tierra, capital, trabajo).

Como consecuencia de la alta importancia del conocimiento en las organizaciones, surge entonces la creciente necesidad de contar con profesionales altamente calificados en sectores industriales emergentes o de alta tecnología como la informática, telecomunicaciones, biotecnología, farmacia y en el sector de servicios; al mismo tiempo, se observa la caída del empleo de mano de obra no calificada.

Actualmente, las empresas necesitan emplear al máximo su potencial innovador, para estar al compás de los cambios económicos, tecnológicos y sociales. Para que eso suceda, el potencial creador de todos los integrantes de las organizaciones debe ser activada; en consecuencia, la gestión burocrática y tradicional de las organizaciones quedan obsoletas en este escenario.

En el presente trabajo, se analiza la importancia de la gestión del conocimiento en las empresas e instituciones de investigación tecnológica, como una herramienta para direccionarlo más allá de la competitividad, considerando a ésta última como necesaria sólo para la supervivencia. Por tanto, es necesario ir más allá de la competencia, creando monopolios de valor integrados, como base del éxito en el futuro de una organización estratégica.

## INTRODUCCIÓN

Cuando la administración surgió como una disciplina científica, su gran problema fue el de transformar el trabajo manual en productivo. En aquellas épocas, el mundo de los negocios cambiaba lentamente, los productos tenían ciclos de vida largo, era un mundo que cambiaba lentamente. Entonces, las organizaciones sólo necesitaban seguir una rutina de trabajo eficaz comprobado, durante años y años.

Ahora, el mundo cambia rápido, los productos son fabricados en grandes cantidades y distribuidos por todo el mundo, saturando rápidamente los mercados y son emitados por la competencia, transformándose en commodities, no diferenciados. La organización necesita innovar para sobrevivir y más aún para prosperar y mantenerse en el mercado. El principal recurso para la innovación son las informaciones y nuevas ideas, que son producidas por el intelecto que sólo poseen las personas. Las empresas necesitan de la inteligencia de las personas para tener éxito.

El gran desafío de la administración en el presente es hacer que el conocimiento de las personas sean productivos, lo cual es más difícil que, hacer del trabajo manual en productivo, puesto que el conocimiento es intangible, no puede ser visto y es muy difícil de ser medido.

La administración de las organizaciones del nuevo siglo estará basada en la tecnología del conocimiento, con la que se logrará niveles de calidad, productividad, innovación, participación y calidad de vida en el trabajo cada vez más altos. Los principales motivos de esa transformación son dos:

**La globalización del mercado**, coloca desafíos cada vez mayores al desempeño de los negocios una vez que es necesario competir con las mejores empresas de

todo el mundo. Al mismo tiempo, ella direcciona los patrones de excelencia, por lo cual, todos los que pretenden permanecer en el mercado buscan superarlos, o al menos igualarlos.

**Nuevas tecnologías**, es sorprendente los avances en las áreas de la informática, biotecnología, ingeniería genética, nuevos materiales, medicina.

En consecuencia, las organizaciones modernas necesitan aprender y vivir en un ambiente sujeto a cambios constantes. Para lograr eso, ellas requieren desarrollar sus capacidades en generar innovaciones, no sólo en tecnologías sino también en productos y procesos. Ahora, las innovaciones son realizadas por las personas, y el principal recurso para una innovación exitosa es el conocimiento.

Las innovaciones son fruto del conocimiento. Es necesario conocer un proceso para ser mejorado, es necesario conocer al cliente para saber, lo que él espera del producto. Los grandes avances tecnológicos de la humanidad, buenas o malas, como la aeronáutica, los satélites artificiales y las armas nucleares, etc.; han sido posible, gracias al conocimiento.

## **GESTION DEL CONOCIMIENTO**

La gestión del conocimiento, considera a la organización como un sistema holístico con visión integrada, como un encadenamiento de procesos de negocios, en la que el conocimiento es empleado como una ventaja competitiva: conocimientos referentes a: la competencia, mercado, clientes, tecnología y todo lo que significa una ventaja competitiva para la organización.

Por tanto, la gestión del conocimiento, es un proceso mediante la cual, la organización genera riquezas en base a sus bienes intelectuales o conocimientos. La riqueza se produce, cuando la organización emplea los conocimientos para desarrollar procesos más eficientes y efectivos, cuando emplea el conocimiento para agregar valor al producto o servicio, cuando emplea el conocimiento para estimular la innovación con el fin de obtener productos y/o servicios originales.

## **ELEMENTOS DE LA GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO**

Para gestionar el conocimiento en una organización se requiere lograr la sinergia entre los siguientes elementos fundamentales:

### **Potencial Humano**

Conformado por: habilidades, experiencias y capacidades que posee el potencial humano de una organización. Es un bien intangible que pertenece a cada individuo; sin embargo puede ser aprovechado por la organización para generar valor.

Para captar, desarrollar y retener el potencial humano; primeramente, las organizaciones, deben, definir el conjunto de habilidades y tecnologías que permitan ofrecer beneficios al cliente. Las habilidades son atributos implícitos del potencial humano, las mismas que deben ser desarrolladas y estimuladas por la organización para garantizar su continuidad en el mercado.

En la nueva economía, una organización vale más por la inteligencia de su potencial humano que por sus activos tangibles. De ahí que las organizaciones deben ofrecer al potencial humano, ambientes agradables y estimulantes y promover una gestión participativa.

### **Estructura Organizacional**

Conjunto de sistemas administrativos, sistemas de información, cultura organizacional, procedimientos, patentes e infraestructura necesaria que hacen que la organización funcione de una manera efectiva y eficaz.

La cultura es, según la define Schein: "un conjunto de creencias - inventadas, descubiertas o desarrolladas por un grupo a medida que aprende a afrontar sus problemas de adaptación externa y de integración interna - que ha funcionado suficientemente bien para ser juzgada válida y, consiguientemente, para ser enseñada a los nuevos miembros como el modo correcto de percibir, pensar y sentir problemas".

La cultura consiste esencialmente en un conjunto de creencias.

Por encima de las creencias, ya en el nivel consciente, se encuentran los valores de la

organización, esto es, las ideas sobre cómo deben ser las cosas y cómo deben actuarse.

Finalmente, a un nivel más superficial, se encuentran, en primer lugar, los medios instrumentales de la cultura: los edificios, la distribución de las oficinas y de las instalaciones de fabricación, el uso del espacio, los jardines que rodean a las instalaciones. Estos elementos también forman parte de la cultura. Consideremos las implicaciones - el mensaje cultural - de una oficina diáfana, en contraste con la distribución de despachos cerrados a lo largo de un pasillo. En segundo lugar, se encuentran en este nivel las pautas de conducta habituales de sus miembros, incluida su lenguaje peculiar.

### **Interrelación Organizacional**

Red de relación mantenido por la organización con sus proveedores, clientes y con organizaciones con las que mantiene alianzas estratégicas de intercambio comercial o conocimientos.

La interrelación, por tanto, es aquello que valoriza e incentiva a la organización a establecer alianzas estratégicas para ampliar su presencia en el mercado. Una organización aislada, tendrá muy pocas posibilidades de éxito. Esas integraciones, individuales o institucionales, poseen valor que deben ser gestionados en forma objetiva.

### **Entorno organizacional**

Factores que describen el escenario en donde, la organización está ubicado. Estos factores están constituidos por las características socioeconómicas de la

región, aspectos gubernamentales, aspectos financieros y aspectos legales entre otras.

El gran campo que existe fuera de la organización y que comprende muchas fuerzas diferentes que tienen impacto sobre la estructura, los procesos y funcionamiento. Estas fuerzas pueden ser directas, las cuales influyen de forma inmediata y precisa sobre la organización, o pueden ser indirectas, que influyen sobre el clima en el cual opera la organización.

Hasta cierto punto, estas fuerzas directas e indirectas son imprevisibles e incontrolables y generalmente son muy poderosas debido a que ejercen un efecto significativo sobre el funcionamiento y el bienestar de la organización.

Para que una organización tenga éxito, la gerencia debe reconocer estas fuerzas externas, comprender sus interpelaciones y entender su impacto real y potencial sobre la organización. Por encima de todo, la gerencia debe dirigir la organización para minimizar los efectos negativos de las fuerzas del ambiente y aumentar al máximo sus impactos positivos.

### **BIBLIOGRAFIA**

1. Drucker, Peter. **Post - capitalist Society**, Butterworth - Heinemann. 1993
2. Senge, Peter. **The Fifth Discipline**, Fieldbook: USA. 1994.
3. Donnelly J., Gibson J., **Fundamentos de Dirección y Administración de Empresas**. Mc. Graw - Hill / Irwin. Colombia. 1997.
4. Stewart, T. **Capital Intelectual**. Campus. 1998.

# ANEXOS

<b>A. Publicaciones</b>	<b>248</b>
<b>B. Presentación de Trabajos a Congresos</b>	<b>248</b>
<b>C. Cursos:</b>	<b>248</b>
<i>C.1. Cursos Libres</i>	248
<i>C.2. Cursos de Post Grado:</i>	253
• <i>Maestría en Física Médica</i>	
• <i>Diplomado en Medicina Nuclear</i>	
• <i>Maestría en Energía Nuclear</i>	
<i>C.3 Cursos en Proyectos ARCAL</i>	253
<b>D. Eventos Internacionales</b>	<b>253</b>
<b>E. Proyectos / Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) Bienio 2001 – 2002</b>	<b>254</b>
<b>F. Proyectos / Acuerdo Regional para la Cooperación en América Latina (ARCAL)</b>	<b>254</b>
<b>G. Proyectos Regionales OIEA</b>	<b>255</b>
<b>H. Contratos de Investigación Ejecutados</b>	<b>255</b>
<b>I. Conferencias</b>	<b>256</b>
<b>J. Tesis</b>	<b>257</b>
<b>K. Visitas de Expertos y otras Personalidades</b>	<b>258</b>



# ANEXO

## AÑO 2002

### **A. PUBLICACIONES**

**M. Quintana; E. Ricra; J. Rodríguez; W. Estrada.** Spray pyrolysis deposited zinc oxide films for photo-electrocatalytic degradation of methyl orange: influence of the pH. **Catalysis Today**, 76 (2002) 141-148

**P. J. Lunes; G. Bigazzi; J. C. Hadler; C. Tell; S. Guedes; S. R. Paulo; M. L. Balestrieri; P. Norelli; M. Oddone; A. M. Osorio; A. Zuñiga.** The Th/U Ratio in Minerals by a Fission-track Technique: Application to some Reference Samples in Order to Estimate the Influence of Th in Fission-track Dating. **Publicado en Pergamon – Radiation Measurements** 35 (2002); <http://elsevier.com/locate/radmeas>.

### **B. PRESENTACION DE TRABAJOS A CONGRESOS INTERNACIONALES**

**T. Cuya, R. Medina.** Software Development for Neutron Analysis in MTR Reactors Using WIMS and CITATION Codes. **International Conference "Nuclear Energy for New Europe 2002"**. Setiembre del 10-13 Kranjska Gora, Slovenia 2002.

**J. Condori C.** Aplicaciones de la Energía Nuclear y la Fusión como futura fuente de energía. **IX Congreso Internacional de Ingeniería electrónica, eléctrica y de sistemas** - INTERCON 2002-Universidad del Callao- Perú.

**J. Condori, D. Kinas.** Gestión del Conocimiento. **IX Congreso internacional de Ingeniería electrónica, eléctrica y de sistemas** -"INTERCON 2002-Universidad del Callao- Perú.

### **C. CURSOS**

#### **C.1. Cursos Libres**

**Seguridad Radiológica en el uso de Medidores Nucleares (Densímetros)**

Fecha : 21 de enero y 01 de febrero  
Dirigido: Personal de la empresa Antamina  
Lugar : Ancash  
Profesor: Genaro Rodríguez  
Participantes: 06

#### **Protección Radiológica en Radiología Dental**

Fecha : 09 y 16 de febrero  
Profesores: Luis Defilippi; Eduardo Medina.  
Participantes : 08

#### **Física Nuclear Básica para Docentes**

Fecha : 11 al 19 de febrero  
Profesores : Miguel Ticllacuri; Julio Villanueva; Elder Celedonio; Eduardo Medina; Jorge Condori y Marco Munive.  
Participantes : 21

#### **Radioquímica Básica para Docentes**

Fecha : 18 al 26 de febrero  
Profesores : Miguel Ticllacuri, Elder Celedonio, Domnina Rodríguez, Juan Avila, Jorge Condori, Anita Robles y Marco Munive  
Participantes : 12

#### **Seguridad Radiológica en el uso de Medidores Nucleares (densímetros)**

Fecha : 19 al 21 de febrero  
Dirigido a : Personal de la empresa BHP-Tintaya  
Lugar: Arequipa  
Profesores : G. Rodríguez y E. Medina  
Participantes : 15

#### **Seguridad Radiológica en el uso de Medidores Nucleares (Densímetros)**

Fecha : 19 al 22 de febrero  
Profesores : Miguel Ticllacuri, Eduardo Medina, Mario Mallaupoma y Marco Munive  
Participantes : 26

#### **Protección Radiológica en Radiodiagnóstico Medico**

Fecha : 25 de febrero al 02 de marzo  
Profesores: Miguel Ticllacuri, Luis Defilippi y Eduardo Medina.  
Participantes : 15

#### **Radiobiología Básica para Docentes**

Fecha: 25 de febrero al 05 de marzo  
Profesores: Marco Espinoza, C. Vizcardo  
Participantes : 18

**Protección Radiológica en Radiología Dental**

Fecha : 01 y 02 de marzo  
Dirigido: Personal de ESSALUD Apurimac  
Lugar: CSEN  
Profesores : Luis Defilippi y Eduardo Medina.  
Participantes : 10

**Internet Aplicado al Trabajo Científico y Tecnológico**

Fecha : 18 al 22 de marzo  
Profesor : Rolando Ticona  
Participantes : 42

**Seguridad Radiológica en Gammagrafía Industrial (Básico)**

Fecha : 25 de febrero al 05 de marzo  
Dirigido: Personal de la empresa CEGA  
Profesor : Eduardo Medina.  
Participantes : 29

**Seguridad Radiológica en el Transporte de Material Radiactivo (Básico)**

Fecha : 13 de marzo  
Dirigido: Personal de la empresa COPROSAT  
Profesores : Gerardo Lázaro, Mario Mallaupoma y Eduardo Medina.  
Participantes : 05

**Internet Aplicado al Trabajo Administrativo en Ciencia y Tecnología**

Fecha : 18 al 22 de marzo  
Profesor : Rolando Ticona  
Participantes : 37

**Protección Radiológica en Radiodiagnóstico Médico**

Fecha : 18 al 23 de marzo  
Profesores : Agustín Zúñiga, Miguel Ticllacuri, Marco Espinoza, Luis Defilippi y Eduardo Medina.  
Participantes : 05

**Energía Nuclear y Protección Radiológica (Básico)**

Fecha : 18 al 22 de marzo  
Dirigido a : Postulantes a prácticas pre profesionales en el IPEN  
Profesores : Miguel Ticllacuri, Julio Villanueva, Elder Celedonio, Marco Espinoza, Jorge Condori y Eduardo Medina.  
Participantes : 94

**Seguridad Radiológica en el uso de Medidores Nucleares (Densímetros)**

Fecha : 25 y 26 de marzo  
Dirigido: Personal de la empresa Translei

Profesor : Eduardo Medina.  
Participantes : 05

**Seguridad radiológica en el uso de medidores nucleares (densímetros)**

Fecha : 25 y 26 de marzo  
Dirigido: Personal de la empresa Translei  
Profesor : Eduardo Medina.  
Participantes : 05

**Radiografía Industrial Nivel I**

Fecha : 01 al 05 de abril  
Dirigido a : Personal de la empresa Ingecontrol  
Profesor : Regulo Visurraga  
Participantes : 60

**Energía Nuclear para Periodistas (seminario)**

Fecha : 08 y 09 de abril  
Profesores : Juan Avila, Mario Mallaupoma e Ivan Llamas  
Participantes : 11

**Protección Radiológica en Radiodiagnóstico Médico**

Fecha : 15 al 20 de abril 2002  
Profesores : Agustín Zúñiga, Fabiola Amaya, Hubert Anchante y Eduardo Medina.  
Participantes : 20

**Seguridad Radiológica en Gammagrafía Industrial**

Fecha : 08 al 11 de abril  
Dirigido a : Empresa Ingecontrol  
Lugar : Ayacucho  
Profesores : J. Condori y R. Visurraga  
Participantes : 52

**Aplicaciones de los Trazadores en la Industria, Hidrología y Medio Ambiente**

Fecha : 22 al 24 de abril  
Profesores : Patrick Brisset, Daniel Getto (Francia)  
Participantes : 30

**Metodología para elaborar Proyectos en Ciencia y Tecnología: Marco Lógico**

Fecha : 13 al 17 de mayo  
Profesor : Agustín Zúñiga  
Participantes : 54

**Inspectores de Instalaciones de Radiodiagnóstico Médico**

Fecha : 14 al 24 de mayo  
Dirigido a : Personal del IPEN y de la Maestría en Física Médica  
Profesores : Renán Ramirez, Luis Defilippi, María Diaz, Marco Espinoza,

Mario Mallaupoma, Santiago Regalado y Eduardo Medina.  
Participantes : 12

**Protección Radiológica en Radiodiagnóstico Médico.**

Fecha : 20 al 25 de mayo  
Profesores : Luis Defilippi, Fabiola Anaya y Eduardo Medina.  
Participantes : 09

**Física Moderna**

Fecha : 04 de mayo al 15 de junio  
Dirigido a : Pre Maestría en Energía Nuclear  
Profesor : Heriberto Sanchez  
Participantes : 92

**Matemática Básica**

Fecha : 04 de mayo al 15 de junio  
Dirigido a : Pre Maestría en Energía Nuclear  
Profesor : Fidel Jara  
Participantes : 92

**Protección Radiológica en Radiodiagnóstico Médico**

Fecha : 17 al 22 de junio  
Profesores : Luis Defilippi Fabiola Anaya y Eduardo Medina.  
Participantes : 16

**Energía Nuclear (Básico)**

Fecha : 26 al 28 de junio  
Profesores : Mario Mallaupoma y Eduardo Medina.  
Participantes : 24

**Seguridad Radiológica en el uso de Medidores Nucleares (Densímetros)**

Fecha : 09 al 11 de julio  
Profesor : Eduardo Medina  
Participantes : 7

**Seguridad Radiológica en el uso de Medidores Nucleares (Densímetros)**

Fecha : 05 y 06 de julio  
Dirigido a : Empresa SPCC  
Lugar : Ilo  
Profesor : Genaro Rodríguez  
Participantes : 15

**Protección Radiológica en Radiología Dental**

Fecha : 13 y 20 de julio  
Profesores : Luis Defilippi y Eduardo Medina.  
Participantes : 10

**Protección Radiológica en Radiodiagnóstico Médico**

Fecha : 15 al 20 de julio  
Profesores : Miguel Ticllacuri, Luis Defilippi y Eduardo Medina.  
Participantes : 15

**Seguridad Radiológica para Operadores de Irradiadores Gamma**

Fecha : 10 al 19 de julio  
Dirigido a : Personal de INMUNE  
Profesores : Miguel Ticllacuri, Marco Espinoza, Genaro Rodríguez, Carlos Del Valle, Renán Ramírez y Eduardo Medina.  
Participantes : 7

**Avances en Medicina Nuclear**

Fecha : 31 de julio al 02 de agosto  
Dirigido a : Maestría en Física Médica y personal del IPEN  
Profesor : Angela María Cerquera (Colombia)  
Participantes : 20

**Usos de la Tecnología Nuclear**

Fecha : 23 al 26 de julio  
Profesor : Hernán Vera Ruiz (Bolivia)  
Participantes : 75

**Seguridad Radiológica en el Uso de Medidores Nucleares (Densímetros)**

Fecha : 23 al 26 de julio  
Profesores : Fabiola Amaya, Genaro Rodríguez, Eduardo Medina.  
Participantes : 20

**Seguridad Radiológica en Radiografía Industrial**

Fecha : 13 al 20 de julio  
Dirigido a : Empresa SIMA-Chimbote  
Lugar : Chimbote  
Profesor : Genaro Rodríguez  
Participantes : 11

**Procesamiento Digital de Imágenes**

Fecha : 23 de julio al 02 agosto  
Dirigido a : Maestría en Física Médica y personal del IPEN  
Profesor : Víctor Coronel (U.S.A.)  
Participantes : 18

**Seguridad Radiológica en el Uso de Medidores Nucleares (Densitómetros)**

Fecha : 09 al 11 de julio  
Dirigido a : Empresa Knight Piesold  
Profesor : Eduardo Medina  
Participantes : 7

**Gammagrafía Industrial Nivel I**

Fecha : 01 al 06 de julio  
Lugar : Ayacucho  
Profesor : Regulo Visurraga  
Participantes : 72

#### **Internet Aplicado al Trabajo Científico y Tecnológico**

Fecha : 19 al 23 de agosto  
Profesor : Rolando Ticona  
Participantes : 31

#### **Protección Radiológica en Radiología Dental**

Fecha : 17 y 24 de agosto  
Profesor : Luis Defilippi y Eduardo Medina.  
Participantes : 3

#### **Protección Radiológica en Radiodiagnóstico Médico**

Fecha : 20 de julio y 10 de agosto  
Dirigido a : Empresa ESSALUD-Tacna  
Lugar : Tacna  
Profesores : Mario Mallaupoma y Eduardo Medina.  
Participantes : 12

#### **Control de Calidad de Equipos Especiales en Radiodiagnóstico (Taller)**

Fecha : 08 al 15 de agosto  
Dirigido a : Personal del IPEN  
Profesor : Pedro Rodríguez (España)  
Participantes : 11

#### **Seguridad Radiológica en Gammagrafia Industrial**

Fecha : 04 al 06 de septiembre  
Lugar : Ayacucho  
Profesor : Jorge Condori Ccari  
Participantes : 21

#### **Seguridad Radiológica en el uso de Medidores Nucleares (Densitómetros)**

Fecha : 11 al 13 de septiembre  
Profesores : Fabiola Amaya, Jorge Condori, Mario Mallaupoma y Eduardo Medina.  
Participantes : 25

#### **Radiofarmacia Hospitalaria**

Fecha : 16 de agosto al 14 de septiembre  
Profesores : Conrado Seminario, Manuel Castro, David Carrillo, Eleazar Aliaga, Anita Robles, Mario Morote, Rosanna Morales, María Velásquez, Carlos Morales, Cecilia Aguilar y Bertha Ramos.  
Participantes : 20

#### **Seguridad Radiológica en el Uso de Medidores Nucleares (Densímetros)**

Fecha : 15 de septiembre  
Dirigido a : Empresa Cia Antamina  
Lugar : Ancash  
Profesor : Jorge Condori Ccari  
Participantes : 8

#### **Publicaciones Científicas en Revistas Internacionales Indexadas (Seminario)**

Fecha : 28 de agosto  
Dirigido a : Personal del IPEN  
Ponentes : Eduardo Montoya, Walter Estrada, José Espinoza, Aurelio Arbildo  
Participantes : 38

#### **Protección Radiológica y Seguridad en Medicina Nuclear**

Fecha : 23 al 30 de septiembre  
Profesores : Fabiola Amaya, Miguel Ticllacuri, Genaro Rodríguez, Luis Defilippi y Eduardo Medina Gironzini.  
Participantes : 8

#### **Protección Radiológica en Radiología Dental**

Fecha : 12 y 19 octubre  
Profesores : Luis Defilippi y Eduardo Medina.  
Participantes : 6

#### **Protección Radiológica en Radiodiagnóstico Médico**

Fecha : 21 al 26 octubre  
Profesores : Miguel Ticllacuri, Luis Defilippi, Eduardo Medina.  
Participantes : 6

#### **Publicación de Artículos Científicos (Taller)**

Fecha : 28 al 31 octubre  
Profesores : Walter Estrada, José Espinoza, Aurelio Arbildo, Agustín Zúñiga, Isabel Montoya, Juan Rodríguez, Mario Ceroni, Julio Santiago.  
Participantes : 36

#### **Emergencias Radiológicas en el CN RACSO**

Fecha : 23 septiembre al 2 octubre  
Dirigido a : Personal PNP del CN RACSO  
Lugar : Centro Nuclear RACSO  
Profesores : Olgger Anaya, Genaro Rodríguez y Julio Villanueva  
Participantes : 31

**Formativo para optar Licenciamiento de personal en la realización de Informes de Seguridad.**

Fecha : 29 octubre al 21 noviembre  
Dirigido a : Personal de la Dir. Gral. de Instalaciones (CN RACSO)  
Lugar : Centro Nuclear RACSO  
Profesores : Agustín Zúñiga, José Castro, Magali Zapata, Rubén Bruna, Mariano Vela.  
Participantes : 14

**Seguridad Radiológica en Gammagrafía Industrial**

Fecha : 21 al 25 octubre  
Profesores : Miguel Ticllacuri, Jorge Condori, Genaro Rodríguez y Eduardo Medina Gironzini  
Participantes : 20

**Protección Radiológica en Radiología Dental**

Fecha : 09 y 16 noviembre  
Profesores : Luis Defilippi y Eduardo Medina.  
Participantes : 5

**Seguridad Radiológica en Gammagrafía Industrial**

Fecha : 11 al 16 noviembre  
Profesores : Jorge Condori y Eduardo Medina.  
Participantes : 8

**Seguridad y Protección Radiológica en Radiografía Industrial (Básico)**

Fecha : 14 y 15 de noviembre  
Dirigido a : Consorcio IPEN-INGECONTROL-BRASITEST  
Lugar : Ayacucho  
Profesores : Enoc Mamani y Orlando Vicuña  
Participantes : 12

**Protección Radiológica en Radiología Dental**

Fecha : 16 y 23 Noviembre  
Dirigido a : Personal de la UPCH (Odontología)  
Profesores : Luis Defilippi y Eduardo Medina.  
Participantes : 15

**Uso de Trazadores en la Evaluación de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales y Modelamiento**

Fecha : 25 y 26 noviembre  
Profesores : Patrick Brisset y Daniel Getto (Francia)  
Participantes : 86

**Seguridad Radiológica (Básico)**

Fecha : 16, 23 y 30 de noviembre  
Profesores : Fabiola Amaya, Miguel Ticllacuri y Genaro Rodríguez  
Participantes : 24

**Ultrasonido Industrial Nivel I**

Fecha : 25 noviembre al 02 diciembre  
Profesor : Héctor Villacorta  
Participantes : 20

**Protección Radiológica en Radiodiagnóstico Médico**

Fecha : 02 al 07 diciembre  
Profesores : Luis Defilippi y Eduardo Medina.  
Participantes : 11

**Seguridad Radiológica para Comercializar Material Radiactivo**

Fecha : 7 diciembre  
Profesor : Genaro Rodríguez  
Participantes : 5

**Protección Radiológica en Radiología Dental**

Fecha : 07 y 14 diciembre  
Profesores : Fabiola Amaya y Eduardo Medina.  
Participantes : 4

**Energía Nuclear y Protección Radiológica (Básico)**

Fecha : 09 al 13 diciembre  
Dirigido a : Postulantes a prácticas en el IPEN  
Profesores : Marco Munive, Claudia Aparicio, Enoc Mamani, Elder Celedonio, Genaro Rodríguez y Eduardo Medina.  
Participantes : 64

**Métodos Matemáticos**

Fecha : 20 septiembre al 07 diciembre  
Dirigido a : Pre Maestría en Física Médica  
Profesor : Fidel Jara  
Participantes : 12

**Electromagnetismo**

Fecha : 19 septiembre al 19 diciembre  
Dirigido a : Pre Maestría en Física Médica  
Profesor : Heriberto Sanchez  
Participantes : 12

**Mecánica Cuántica**

Fecha : 20 septiembre al 13 diciembre  
Dirigido a: Pre Maestría en Física Médica

Profesor : Jorge Urdanivia  
Participantes :12

### **Mecánica Clásica**

Fecha : 24 septiembre al 23 diciembre  
Dirigido a : Pre Maestría en Física Médica  
Profesor : Héctor Loro  
Participantes : 12

### **Reentrenamiento sobre Seguridad Radiológica en el uso de Medidores Nucleares (Densímetros)**

Fecha : 18 de diciembre  
Dirigido a : Empresa SESASA  
Lugar : El Alto. Talara  
Profesores : Eduardo Medina.  
Participantes : 4

## **C.2. Cursos de Post Grado**

### **MAESTRIA EN FÍSICA MÉDICA**

#### **Curso de Física de las Radiaciones**

Fecha : 26 septiembre 2001 - abril 2002  
Profesor : Modesto Montoya  
Participantes : 13

#### **Curso de Dosimetría de las Radiaciones**

Fecha : 25 de enero al 25 de octubre 2002  
Profesor : Modesto Montoya  
Participantes : 10

#### **Curso de Instrumentación Nuclear**

Fecha : 28 de noviembre 2001 al 3 de octubre 2002  
Profesores : Agustín Zúñiga y Oscar Baltuano  
Participantes : 12

#### **Curso de Física de la Radioterapia**

Fecha : 12 de marzo al 4 de junio 2002  
Profesor : Jaime Aguirre Ruíz  
Participantes : 10

#### **Curso de Introducción a la Física de Radiodiagnóstico**

Fecha : 14 de marzo al 5 de agosto 2002  
Profesor : Pedro Pacheco  
Participantes : 08

### **DIPLOMADO EN MEDICINA NUCLEAR**

#### **Curso de Medicina Nuclear**

Fecha : 05 de febrero al 25 de marzo 2002

Profesores : Danfer Huapaya, Saúl Falcón, Luis Monteverde, Rafael Doig y Nelson Alvarado  
Participantes : 22

### **MAESTRIA EN ENERGIA NUCLEAR**

#### **Curso de Física Nuclear**

Fecha : 23 de septiembre 2002  
Profesor : Modesto Montoya  
Participantes : 30

#### **Curso de Dosimetría de Radiaciones**

Fecha : 23 de septiembre 2002  
Profesor : Agustín Zúñiga  
Participantes : 30

#### **Curso de Matemáticas Especiales**

Fecha : 23 de septiembre (continua)  
Profesor : Fidel Jara  
Participantes : 30

## **C.3 Cursos de Proyectos ARCAL**

### **ARCAL LXVI**

#### **Curso Regional de Capacitación para Reguladores sobre Protección Radiológica y Seguridad en Medicina Nuclear**

Fecha : 03 al 07 de Junio 2002  
Profesores : José Quevedo (Cuba), Carlos Nollman (Argentina), Mario Mallaupoma y Eduardo Medina G. (Perú)  
Organizador : Eduardo Medina G.  
Participantes : 3 de Brasil, 2 de Chile, 2 de Cuba, 2 de México, 2 de Uruguay, 2 de Venezuela y 6 de Perú.

## **D. EVENTOS INTERNACIONALES**

**Taller de Marcación y Control de Calidad de Anticuerpos Monoclonales con <sup>99m</sup>Tc y Producción de kits de reactivos RLA/2/010 (ARCAL LII) "Preparación, control de calidad y validación de radiofarmacos basados en anticuerpos monoclonales"**  
4-15 febrero, Lima – Perú.

**Curso Regional de Capacitación sobre aplicaciones, ventajas y limitaciones de los Modelos Matemáticos en Hidrología.**  
4-15 de febrero, Piura – Perú.

**Capacitación en Grupo sobre Mantenimiento de Equipos de Rayos X.**  
RLA/4/017 (Arcal LII)

**“Control de calidad en la reparación y mantenimiento de la instrumentación utilizada en medicina nuclear”**

08 abril al 03 mayo, Lima – Perú.

**III Reunión del Organo de Coordinación Técnica del Acuerdo Regional de Cooperación para la Promoción de la Ciencia y la Tecnología Nuclear en América Latina y el Caribe**

13-17 mayo, Lima – Perú.

**Reunión de Coordinadores del Proyecto Gestión Sostenible de Recursos de Aguas Subterráneas (RLA/8/031)**

03-06 Junio, Lima – Perú.

**Participación en el Curso Regional OIEA sobre Protección y Seguridad Radiológica en Medicina Nuclear para Reguladores. RLA/9/043 (Arcal LXVI)**

**“Mejoramiento de la efectividad de la gestión reguladora” (Proyecto Modelo)**

03-07 Junio, Lima – Perú.

**Encuentro Científico Peruano 2002**

30 Julio – 02 Agosto, Lima – Perú.

Reunión Final del proyecto ARCAL XLI  
RLA/9/032

**“Aseguramiento de la Calidad de Laboratorios que brinden Servicios de Protección Radiológica” (Proyecto Modelo)**

08-12 Julio, Lima – Perú.

**Taller sobre Hidrogeoquímica y Contaminación de Acuíferos**

12-23 Agosto, Lima – Perú.

**Reunión de expertos para aprobación de guías de mantenimiento y control de calidad, preparación de informes sobre el funcionamiento de los centros regionales y revisión intermedia acerca del proyecto. RLA/4/017 (ARCAL LIII)**

14-18 Octubre, Lima – Perú.

Reunión final de coordinadores de proyecto  
RLA/8/030 (ARCAL LXIII)

**“Control de Calidad en la Reparación y Mantenimiento de la Instrumentación utilizada en Medicina Nuclear”**

21-26 Octubre, Lima – Perú.

Taller final de trabajo sobre gestión de envejecimiento. RLA/9/046 (ARCAL LXVIII)

**“Mejoramiento de la Seguridad de Reactores de Investigación”**

25-29 Noviembre, Lima – Perú.

**Reunión final y elaboración de documentos técnicos relacionados con el Proyecto Sistemas de Calidad para la Producción de Tejidos para Injertos Esterilizados por Irradiación**

RLA/7/009 (ARCAL LIX)

02-06 Diciembre, Lima – Perú.

**Seminario sobre concientización publica para la donación de órganos y tejidos**

07 Diciembre, Lima – Perú.

## **E. PROYECTOS OIEA BIENIO 2001 – 2002**

**Desarrollo de Recursos Humanos y apoyo a la Tecnología Nuclear**

PER/0/021

**Mejoramiento de un Laboratorio de Patrones Dosimétricos Secundarios**

PER/1/013

**Automatización y Control de Calidad de la Producción de Radioisótopos**

PER/4/022

**Introducción de Cultivos de Cebada u otros granos nativos**

PER/5/024

**Radioesterilización de comidas precocidas para Hospitales**

PER/5/026

**Técnicas Nucleares en Minería e Industria**

PER/8/011

## **F. PROYECTOS ARCAL**

**Preparación, Control de Calidad y validación de radiofármacos basados en anticuerpos monoclonales (Proyecto Modelo)**

RLA/2/010 (ARCAL LII)

**Control de calidad en la reparación y mantenimientos de la instrumentación utilizada en medicina nuclear.**

RLA/4/017 (ARCAL LIII)

**Mejoramiento de la Garantía de calidad en dosimetría clínica en radioterapia** (Proyecto Modelo)  
RLA/6/032 (ARCAL XXX)

**Estandarización de técnicas de nefrología nuclear** (Proyecto Modelo)  
RLA/6/037 (ARCAL XXXVI)

**Maestría en Física Médica**  
RLA/6/041 (ARCAL LIV)

**Diagnostico precoz de la infección por Helicobacter Pylori mediante la utilización de técnicas nucleares**  
RLA/6/042 (ARCAL LVI)

**Aseguramiento y control de calidad en estudios de mamografía**  
RLA/6/043 (ARCAL LV)

**Aplicaciones de la biología molecular al diagnóstico de enfermedades infecciosas**  
RLA/6/044 (ARCAL LVI)

**Mejoramiento de la calidad en radioterapia** (Proyecto Modelo)  
RLA/6/046 (ARCAL LVIII)

**Sistema de calidad para la producción de tejidos para injertos esterilizados por irradiación**  
RLA/7/009 (ARCAL LIX)

**Aplicaciones de biomonitores y técnicas nucleares relacionadas aplicadas a estudios de contaminación atmosférica**  
RLA/7/010 (ARCAL LX)

**Transferencia de tecnología de trazadores y sistemas de control nucleónico a sectores industriales de interés económico**  
RLA/8/028 (ARCAL LXIII)

**Armonización y optimización de procedimientos de la gestión y procedimientos operacionales en las plantas de irradiación industriales**  
RLA/8/030 (ARCAL XLI)

**Aseguramiento de la calidad de laboratorios que brinden servicios de protección radiológica** (Proyecto Modelo)  
RLA/9/032 (ARCAL XLI)

**Aplicación de las normas básicas de seguridad en a practica médica**  
RLA/9/035 (ARCAL XLIX)

**Armonización regulatoria y desarrollo de programas de gestión de calidad para el transporte seguro de materiales radiactivos**  
RLA/9/042 (ARCAL LXV)

**Mejoramiento de la efectividad de la gestión reguladora** (Proyecto Modelo)  
RLA/9/043 (ARCAL LXVI)

**Fortalecimiento y armonización de las capacidades nacionales para dar respuesta a emergencias radiológicas**  
RLA/9/045 (ARCAL LXVII)

**Mejoramiento de la seguridad de reactores de investigación**  
RLA/9/046 (ARCAL LXVIII)

## **G. PROYECTOS REGIONALES OIEA**

**Fortalecimiento de la infraestructura institucional del sector nuclear mediante la planificación estratégica**  
RLA/0/020

**Gestión de los combustibles gastado de reactores de investigación**  
RLA/4/018

**Gestión sostenible de aguas subterráneas**  
RLA/8/031

**Estudio de la contaminación del Lago Titicaca**  
RLA/8/034

## **H. CONTRATOS DE INVESTIGACIÓN EJECUTADOS**

- Uso de un anticuerpo Elisa en proteínas no estructurales FMD para el control y erradicación de enfermedades de animales.
- Mejoramiento de la producción de leche en la región de Cañete, Perú.
- Rolde las técnicas de radionucleidos en el manejo de hidronefrosis en recién nacidos en el Perú.
- Evaluación comparativa de modalidades de Teléterapia en el Perú



- Desarrollo de una base computarizada de datos para el manejo de información de ganadería
- Evaluación de la seguridad de instalaciones superficiales para el almacenamiento de desechos.
- Determinación de niveles de contaminación por plomo y Cadmio en mujeres embarazadas que viven en una zona mi minera del Perú.
- Desarrollo de una metodología para la producción y control de calidad de fuentes selladas en miniatura.
- Determinación de elementos traza y metales pesados en productos agrícolas cultivados a lo largo del río Rimac

## **I. CONFERENCIAS**

### **JUEVES CIENTÍFICOS EN EL IPEN**

1. **Tomografía por Emisión de Positrones.** Teresa Massardo. 17.01.02
2. **Mesa Redonda sobre Virtualidad.** Jorge Heraud, Aurelio Arbildo, Beau Flores, Jaime Avalos, Daniel Díaz, Carlos Sánchez, Edwin San Román, Francisco Rubio, Augusto Mellado, Nelson Manrique, Franz Calvo, Carlos Romero. 31.01.02
3. **Energía del futuro en Perú.** Ivan Llamas, Juan Avila, Manfred Horn, Rafael Espinoza. 14.02.02
4. **Mejoramiento genético de plantas para la resistencia a enfermedades.** Lucy Gilchrist. 21.02.02
5. **Experiencia Científico Empresarial.** Isabel Montoya. 28.02.02
6. **Mesa Redonda “Banco de Tejidos”.** Eulogia Kairiyama, Manuel Jacas Tornes, Alberto Bolgiani. 07.03.02
7. **Alteraciones del ADN ocasionadas por las radiaciones ionizantes.** Marco Espinoza. 14.03.02
8. **Fenómeno del niño.** Juan Tarazona. 21.03.02
9. **Biodiversidad del Genoma en Perú.** *Aplicaciones experiencias y propuestas desde el Instituto de Genética y Biología Molecular de la Universidad de San Martín de Porres.* Ricardo Fujita. 04.04.02
10. **Como y donde publicar los trabajos y la trascendencia de las publicaciones científica.** Jorge Linares. 18.04.02
11. **Aplicaciones de Trazadores en la Industria, Hidrología y Medio Ambiente.** Patrick Brisset, Daniel Getto. 25.04.02
12. **Situación de la Física Médica en América Latina.** Federico Gutt. 09.05.02
13. **Cooperación del Organismo Internacional de Energía Atómica con América Latina.** Paulo Barreto. 16.05.02
14. **Procesamiento de Alimentos, Perspectivas de la Biotecnología en América Latina.** Fausto Cisneros, Javier Verástegui. 23.05.02
15. **Tecnología de Irradiación Gamma.** Carlos del Valle. 30.05.02
16. **Mesa Redonda: Perspectivas de la Medicina Nuclear en América Latina.** Carlos Nollmann, José Quevedo, Ricardo Videla. 06.06.02
17. **Análisis Químicos y Geoquímicos para la Minería.** Alberto Aranda Verselli, María Jara. 13.06.02
18. **Problemática ambiental en el sector Energía y Minas.** Julio Bonell. 20.06.02
19. **Desarrollo de la Medicina Nuclear en el Hospital G. Almenara – ESSALUD.** Danfer Huapaya. 27.06.02
20. **Proyecto MESIAS: Mejoramiento del Sistema de Alcantarillado de la zona sur de Lima.** Carlos Barrera Ricci, Carmen Coropuma. 04.07.02
21. **El Programa de Protección Radiológica Ocupacional del OIEA. Vigilancia Radiológica Ambiental en**

- España.** Rodolfo Cruz Suárez, Lourdes Romero. 11.07.02
22. **Diferenciación de animales vacunados e infectados por virus de fiebre aftosa. Interferencia de vacunas.** Ana María Espinoza. 18.07.02
  23. **Necesidad de implementar un Programa de Garantía de Calidad en un Servicio de Diagnóstico por Imágenes.** Pedro Rodríguez. 08.08.02
  24. **Gestión del Conocimiento.** Jorge Condori Cari. 15.08.02
  25. **Uso de Biomonitores para estudios Ambientales.** Eduardo Cortes. 22.08.02
  26. **La Construcción de la Ciencia.** Víctor Latorre. 29.08.02
  27. **Desarrollo de la Radiofarmacia.** Conrado Seminario Arce. 05.09.02
  28. **Aspectos Regulatorios en el uso de Radiaciones Ionizantes.** Eduardo Medina. 12.09.02
  29. **Algunas propiedades ópticas de nanoestructuras semiconductoras.** Jorge Urdanivia. 19.09.02
  30. **Las Plantas Medicinales en Perú.** Santos Jaimes Serkovic. 26.09.02
  31. **El Desafío de la Innovación para competir. El rol de los Centros de Innovación Tecnológica.** Angel Hurtado. 03.10.02
  32. **Los Secretos del Microcosmos.** Modesto Montoya. 10.10.02
  33. **Biosensores basados en Chips.** Carlos Silva. 17.10.02
  34. **Cambio Climático: Necesidades de Investigación.** Eduardo Calvo. 24.10.02
  35. **Avances en nuevos materiales para aplicaciones energéticas: Germanio, Amorfo Hidrogenado y Compuestos de Ge.** Ivan Chambuleyron. 31.10.02
  36. **Monitoreo de emisiones de partículas.** Jessica Medina, Maria Munayco. 07.11.02
  37. **Investigación de Plantas Medicinales y Salud Humana.** Lidia Obregón Vilchez. 14.11.02
  38. **Programatic Activities of IAEA in Nuclear Medicine.** Ajit Padhy. 21.11.02
  39. **Técnicas de Trazadores en la Industria y Medio Ambiente.** Patrick Briset, Daniel Getto. 28.11.02
  40. **Proyectos de Cooperación Técnica del OIEA.** Alberto Montano. 05.12.02
  41. **Radiaciones No Ionizantes. Usos, riesgos y protección.** Pedro Valdivia, Marisa Quiñónez, Víctor Cruz. 12.12.02

## **J. TESIS**

Autor: Rojas P.

Tema: **Calculo de la Dosis Absorbida en un Medio Biológico Usando el Código de Simulación MCNP4B2**

Especialidad: Físico

Universidad: Universidad Nacional de Trujillo

Autor: Magneill M. Balboa Guerra; Nilsson Fustamante Fuentes

Tema: **Evaluación del comportamiento hidráulico de la laguna terciaria de la planta de tratamiento de aguas residuales de la UNI - UNITRAR, mediante el uso de trazadores radiactivos.**

Especialidad: Ingeniería Ambiental

Universidad: Universidad Nacional de Ingeniería.

Autor: Jorge Antonio Martinez Gastelu

Tema: **Determinación radioquímica del Sr-90 en muestras ambientales empleando para su evaluación la extracción del Y-90 con Tributil Fosfato (TBP).**

Especialidad: Ingeniería Química

Universidad: Universidad Nacional del Callao.

## **K. VISITAS DE EXPERTOS Y DE OTRAS PERSONALIDADES**

### **SALUD HUMANA**

*L. Massando*

**Preparación, control de calidad y validación de radiofármacos.**

Del 13 al 26 de Enero

*G. Pimentel*

**Preparación, control de calidad y validación de radiofármacos.**

Del 4 al 8 de febrero

*Henia Balter*

**Preparación, control de calidad y validación de radiofármacos.**

Del 11 al 15 de febrero

*A. Nazareno, M. Jacas, E. Kairiyama*

**Técnicas de irradiación y trasplantes de tejido.**

Del 4 al 8 de marzo

*Víctor Coronel*

**Conferencia sobre uso de imágenes médicas**

ECP. Del 30 de julio al 2 de agosto.

*Hernán Vera Ruíz*

**Conferencia sobre producción de radioisótopos y radiofármacos**

ECP 30 Julio al 2 de agosto.

*Ángela María Cerquera*

Conferencia sobre medicina nuclear ECP

30 julio al 2 de agosto.

*Ajit Padhy*

**Evaluación de actividades de medicina nuclear.**

19-23 de noviembre.

### **PROTECCIÓN RADIOLÓGICA Y AMBIENTAL**

*Maria Elizabeth Dias*

**Auditoria del proyecto sobre Laboratorios que brindan servicios de protección radiológica.**

18 Enero al 01 de febrero.

*Federico Gutt*

**Evaluación de laboratorios de patrones secundarios**

5-11 de mayo.

*Lourdes Romero*

**Aseguramiento de la calidad de laboratorios que brindan seguridad radiológica.**

8-12 de julio.

*Roberto Cruz*

**Aseguramiento de la calidad de laboratorios que brindan seguridad radiológica.**

8-12 de julio

*Pedro Rodríguez*

**Conferencia sobre Protección Radiológica ECP 30 de julio al 02 de agosto.**

*Eduardo Cortes Toro*

**Estudios de polución atmosférica**

Agosto

### **AGRICULTURA**

*Lucy Gilchrist*

**Mutantes de cebada resistentes a enfermedades.**

11-12 de febrero

### **HIDROLOGIA**

*O. Susuki*

**Estudio de información hidrogeológica y elaboración de modelo para acuíferos**

Marzo.

*Edmundo García Agudo*

**Manejo de recursos hídricos**

29 de abril al 24 de mayo.

*Laurence Gourcy*

**Gestión de los recursos de aguas subterráneas**

3-6 de junio.

*Edmundo García Agudo*

**Gestión de los recursos de aguas subterráneas**

3-6 de junio.

*Ricardo Irata*

**Gestión de los recursos de aguas subterráneas**

3-6 de junio.

*Olga Bermúdez*

**Gestión de los recursos de aguas subterráneas**

07-13 de Octubre.

*O. Sisuki*  
**Estudio de información hidrogeológica y elaboración de modelos para acuíferos**  
12-29 de octubre.

*Edmundo García Agudo*  
**Manejo de recursos hídricos**  
28 al 31 de octubre

*k. Rozanski*  
**Enriquecimiento para mediciones por Tritio y Carbono**  
25-26 de noviembre.

*Juan Carlos Gómez*  
**Gestión sostenible de aguas subterráneas.**  
24-30 de noviembre.

### SALUD ANIMAL

*Ian Gutt*  
**Uso de técnicas nucleares para el diagnóstico de enfermedades del ganado.**  
11-15 de abril.

### REACTORES NUCLEARES

*Jorge A. Quintana*  
**Calculo neutrónico del quemado en los elementos combustibles nucleares**  
9-11 de mayo.

*Rosamel Muñoz*  
**Formación de opinión pública en el campo nuclear**  
3-5 de noviembre.

### INDUSTRIA

*Patrick Brisset*  
**Uso de tecnologías de radiotrazadores en procesos industriales.**  
18-19 de noviembre.

*Daniel Getto*  
**Uso de tecnologías de radiotrazadores en procesos industriales.**  
18-19 de noviembre.

### COOPERACIÓN TECNICA

*Paul Barreto*  
**Participación III reunión de coordinación del OCTA de ARCAL**  
13-17 de mayo.

*German Piderit*  
**Participación III reunión de coordinación del OCTA de ARCAL**  
13-17 de mayo.

*José Antonio Lozada*  
**Evaluación programa de cooperación técnica OIEA**  
01-05 de julio

*José Antonio Lozada*  
**Evaluación plan estratégico institucional del IPEN y reunión final RLA/8/030**  
21-25 de octubre.

### ELECTRÓNICA

*Herbert Kauffmann*  
**Coordinación centros de mantenimiento electrónico designados por ARCAL**  
14-18 de octubre

### SALVAGUARDIAS

*Vladimir Fotin*  
**Aplicación de Salvaguardias del OIEA**  
25-28 de noviembre

*Emmanuel Gryntakis*  
**Aplicación de Salvaguardias del OIEA**  
25-28 de noviembre

## INDICE DE AUTORES

### A

Abugattas	156
Aguilar C.	153, 154, 155, 156, 158, 159
Aguirre A.	203
Agurto G.	160, 162
Alonso O.	153, 157
Anaya A.	205
Anaya O.	170
Aparicio C.	58
Arrieta R.	170
Avila J.	170

### B

Babiche I.	65
Balboa M.	117
Bauer J.	142
Bedregal P.	3, 8, 18
Benavente T.	207, 212, 216
Benavente V.	159
Bruna R.	45, 49, 52, 219, 221, 225

### C

Caballero J.	160, 162
Cano R.	153, 154, 155, 156, 158, 159
Carlos I.	154, 155, 156
Celedonio E.	207, 216
Chacón E.	119
Cisneros F.	155
Clido J.	184
Comallonga L.	142
Condori J.	117, 243
Cruz W.	77
Cunya E.	203
Cuya T.	37, 70, 73, 221

### D

Damian M.	108
Del Valle C.	214
Dyer R.	159

### E

Espinoza J.	142, 147
Espinoza M.	136, 142
Estrada W.	96, 101, 108, 184

### F

Flores R.	158
Fustamante N.	117

### G

Ginés E.	203
Gómez J.	35, 52, 58, 82, 87, 92, 219, 225
González S.	205, 235
González P.	157

### J

Jara R.	205
---------	-----

### K

Kabasakal L.	157
Kinas D.	243

### L

Lázaro G.	41, 52, 58, 87, 92, 229
León L.	153, 156
Llamas I.	73, 170
Lopez D.	154, 155, 156
López E.	205, 235
Ly M.	142

### M

Maunda K.	157
Maghella G.	117
Mamani E.	117
Manrique E.	81
Martínez J.	205, 235
Massardo T.	153, 157
Medina A.	96
Medina R.	37
Mendoza G.	154, 158, 159
Mendoza P.	8, 18
Miranda H.	58
Montez R.	136
Montoya E.	8, 18, 45, 119,
Montoya M.	13
Montoya Y.	142
Mora B.	212

Morales J. 158  
Morales R. 153, 154, 155, 156,  
157, 158, 159  
Morote M. 162

## N

Nieto M. 170  
Nieto J. 184

## O

Olivera P. 18, 25, 29  
Oliveros N. 136  
Osoreo J. 205, 235  
Otero M. 162

## P

Padhy A. 153, 157  
Palacios D. 45, 49  
Palomino R. 65  
Parreño F. 41, 52, 87, 92, 225  
Petzoldt I. 160, 162  
Ponce S. 184  
Prado A. 237  
Prado M. 131

## Q

Quintana M. 101, 136, 142

## R

Ravishankar U. 157  
Revilla A. 65  
Ricra E. 101  
Robles A. 160  
Rodríguez D. 192, 209

Rodríguez G. 77  
Rodríguez J. 96, 101, 184  
Rodríguez Y. 108  
Rojas E. 207  
Rojas G. 212  
Rojas J. 13, 81  
Rojas M. 158  
Rojas R. 192

## S

Saavedra P. 154, 156, 158, 159  
Saettone E. 13  
Salvatierra 158  
Santa Cruz R. 155  
Santiago J. 131  
Solis J. 87, 96, 108, 184

## T

Torres B. 8, 18  
Torres E. 81

215

## U

Ubillús M. 8, 18

## V

Valencia J. 167, 192, 196  
Vassel B. 142  
Vela M. 35, 87, 92  
Velarde R. 153, 154, 155  
Vigil C. 153, 155, 156

## Z

Zapata M. 52, 61, 219, 225  
Zhu H. 157



Informe Científico Tecnológico 2002 por Carlos Gayoso, Teobaldo Cuya, Anita Robles, Antonio Prado, Eds. se distribuye bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-  
NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).